



**ZAJEDNICA
ELEKTROPRIVREDNIH
ORGANIZACIJA
HRVATSKE**



**DALEKOVOD
ZAGREB**

TIPIZACIJA

DALEKOVODA 110 kV U SR HRVATSKOJ

ZAVOC SA. ISPOKI 90700
VNA
ORAN. MV-104
TER. 4530

ZVNE-6610

DALEKOVODA 110 kV U SR HRVATSKOJ

Naslov studije:
Naručitelj:

TIPIZACIJA 110 KV DALEKOVODA
ZAJEDNICA ELEKTROPRIVREDNIH ORGANIZACIJA
HRVATSKE

Ugovor br.:

34/1-84 OD 01.09.1984.g.

Izvršilac:

RO "DALEKOVOD" - ZAGREB

Suradnici izvršioca:

- "INSTITUT ZA ELEKTROPRIVREDU" - ZAGREB
- "REPUBLIČKI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD" ZAGREB
- Stručne grupe ZEOH-a

VODITELJ PROJEKTA:



(Dževad Muftić, dipl.inž.el.)

GENERALNI DIREKTOR
RO "DALEKOVOD"



(Vinko Ćurković, dipl.inž.el.)

ZAGREB, 12/86.

S A D R Ź A J

0. OPĆI DIO	i
0.1. PREDGOVOR	i
0.2. POPIS AUTORA I SURADNIKA	iv
0.2.1. Autori i suradnici izvršioca	iv
0.2.2. Članovi nadzorne grupe i suradnici naručioca	vi
0.3. ORGANIZACIJA REALIZACIJE STUDIJE - PROJEKTA	vii
1. U V O D	1
1.1. DOSADAŠNJA PRAKSA I PROBLEMATIKA IZGRADNJE DALEKOVODA 110 kV	1
1.1.1. Općenito o mrežama 110 kV vodova	1
1.1.2. Razvoj mreže 110 kV u SR Hrvatskoj	1
1.1.3. Prikaz problematike gradjenja nekih karakterističnih vodova	3
1.2. CILJEVI TIPIZACIJE DALEKOVODA 110 kV	11
1.3. TEHNIČKI PROPISI I STANDARDI	12
1.3.1. Osvrt na razradu i primjenu važećih propisa	12
1.3.2. Pregled osnovnih zakona, pravilnika i standarda kojih se treba pridržavati prilikom projektiranja visokonaponskih vodova	13
1.3.2.1. Zakoni	15
1.3.2.2. Propisi	16
1.3.2.3. Standardi	17
2. UTJECAJ OKOLIŠA NA PROJEKTIRANJE, GRADJENJE I ODRŽAVANJE DALEKOVODA U POGONU	18
2.1. OPĆENITO O ODNOSU DALEKOVODA I OKOLIŠA	18
2.2. IZBOR TRASE	19
2.3. KLIMATSKI UVJETI	26
2.3.1. Klimatski uvjeti za projektiranje prema zakonskoj regulativi	26
2.3.1.1. Temperatura	26
2.3.1.2. Dodatni teret	29
2.3.1.3. Vjetar	34

2.3.2. Mjerenje i obrada meteoroloških podataka	37
2.3.2.1. Temperatura	38
2.3.2.2. Dodatni teret	40
2.3.2.3. Vjetar	46
2.3.2.4. Aerozagadjenje	54
2.3.2.5. Atmosferska pražnjenja	58
2.4. UTJECAJ DALEKOVODA NA OKOLIŠ	60
2.4.1. Zauzimanje prostora	61
2.4.1.1. Problematika osiguranja koridora	61
2.4.1.2. Utjecaj približavanja prelaženja preko drugih objekata	65
2.4.1.3. Utjecaj na korištenje zemljišta	73
2.4.2. Vizualni utjecaji	78
2.4.2.1. Izbor trase	79
2.4.2.2. Izbor stupova	85
2.4.3. Električki efekti	90
2.4.4. Utjecaj gradjenja i održavanja	93
 3. ELEKTRIČKI I MEHANIČKI PARAMETRI DALEKOVODA 110 kV	94
3.1. OSNOVNI PARAMETRI MREŽE 110 KV	94
3.2. METODOLOGIJA IZBORA PRESJEKA VODIČA I ZAŠTITNE UŽADI ZA NADZEMNE VODOVE 110 KV	101
3.2.1. Osnovni kriteriji za tipizaciju vodiča	101
3.2.2. Osnovni kriteriji za tipizaciju zaštitne užadi	121
3.3. DOZVOLJENO STRUJNO OPTEREĆENJE VODIČA	124
3.3.1. Deterministički model određivanja dozvoljenih strujnih opterećenja vodiča	125
3.3.2. Probabilistički i real-time modeli određivanja dozvoljenih struja opterećenja vodiča	126
3.3.3. Tablični prikaz dozvoljenih strujnih opterećenja za predložene tipizirane presjeke vodiča	129
3.4. KONSTANTE VODA	133
3.4.1. Proračun konstanti - općenito	133
3.4.2. Direktne i nulte uzdužne impedancije i poprečne admitancije po jedinici duljine kod struja pogonske frekvencije	136
3.4.2.1. Jednostruki vod	136
3.4.2.2. Dvostruki vod, odnosno paralelni vodovi	137
3.4.3. Parametri neovisni o duljini voda	140
3.4.3.1. Valni otpor	140
3.4.3.2. Konstanta prodiranja	140

3.4.3.3. Valna brzina	141
3.4.3.4. Valna duljina	141
3.4.4. Parametri ovisni o duljini voda	141
3.4.4.1. Nadomjesna π i T-shema	141
3.4.4.2. Opće konstante prijenosnih jednadžbi	143
3.4.4.3. Impedancija praznog hoda i kratkog spoja	144
3.4.4.4. Formule za izračunavanje konstanti voda	144
3.4.5. Tablični pregled konstanti izgradjenih karakterističnih vodova 110 kV na području SR Hrvatske	146
3.4.6. Zaključak	153
3.5. ZAŠTITA OD PRENAPONA	154
3.5.1. Zaštitno uže	157
3.5.2. Uzemljenje stupova dalekovoda	160
3.5.3. Osnovni zaključci	166
3.6. IZOLACIJA VODA	167
3.6.1. Električki parametri za dimenzioniranje izolatorskih lanaca	168
3.6.1. Mehanički parametri dimenzioniranja izolatora ili izolatorskih nizova	169
3.7. OSNOVNI MEHANIČKI PARAMETRI VODA	170
3.7.1. Elektromehanički i mehanički faktori sigurnosti	170
3.7.1.1. Izolatorski lanci	171
3.7.1.2. Stezaljke i ostali dijelovi izolatorskih lanaca i opreme	172
3.7.2. Maksimalno radno naprezanje vodiča i zaštitnog užeta	173
3.7.3. Srednje godišnje naprezanje vodiča i zaštitnog užeta	175
3.7.4. Rasponi i zatezna polja	178
3.8. STRUJE KRATKOG SPOJA I NJIHOVA RASPODJELA	180
3.8.1. Općenito	180
3.8.2. Vrste kvara	185
3.8.3. Nadomjesne impedancije mreže	186
3.8.4. Proračun struja kratkog spoja	190
4. TIPIZACIJA ELEMENATA DALEKOVODA	195
4.1. STUPOVI	195
4.1.1. Izbor konstrukcije i oblika stupa za jednosistemske i dvosistemske dalekovode	195
4.1.1.1. Konstrukcija stupova	195
4.1.1.2. Materijal konstrukcije	196
4.1.1.3. Zaštita od korozije	196

4.1.1.4. Izbor oblika stupova	198
4.1.1.5. Vrste stupova	200
4.1.1.6. Osnovni dijelovi stupa	200
4.1.1.7. Primjena konstrukcije stupova na kosom terenu	202
4.1.1.8. Geometrijski oblik stupa	204
4.1.1.9. Orijentacija konzola na stupovima tipa "jela"	206
4.1.1.10. Zaključak	207
4.1.2. Dimenzioniranje glave stupova	208
4.1.2.1. Dimenzioniranje glave stupa prema postojećoj zakonskoj regulativi	208
4.1.2.1.1. Dimenzioniranje glave stupa s obzirom na propisane udaljenosti vodič-konstrukcija stupa	209
4.1.2.1.2. Dopušteni električki rasponi	222
4.1.2.1.3. Maksimalno dopušteni provjesi	229
4.1.2.1.4. Maksimalno dopušteni rasponi	232
4.1.2.2. Dimenzioniranje glave stupa s obzirom na stabilnost konstrukcije	245
4.1.3. Opterećenje stupa	247
4.1.3.1. Opterećenje stupa prema postojećoj zakonskoj regulativi	247
4.1.3.2. Opterećenje stupa sa stajališta iskoristivosti elemenata konstrukcije	265
4.1.4. Proračun stupa	267
4.1.5. Tipizacija stupova	285
4.1.5.1. Tipizacija stupova sa stajališta ekonomičnosti primjene	275
4.1.5.1.1. Nosivi stupovi	276
4.1.5.1.2. Zatezni stupovi	280
4.1.5.2. Tipizacija stupova sa stajališta izbora elemenata konstrukcije	285
4.2. TEMELJI	290
4.2.1. Klasifikacija karakteristika tla za proračun temelja	290
4.2.1.1. Uvod	290
4.2.1.2. Karakteristike tla	291
4.2.2. Izbor načina izrade i oblika temelja	294
4.2.3. Proračun temelja	296
4.2.3.1. Općenito	296
4.2.3.2. Proračun	298
4.2.3.3. Geomehanička ispitivanja	299
4.2.3.4. Metode proračuna temelja	300
4.2.3.5. Osnovni izrazi za proračun temelja	300
4.2.4. Tipizacija temelja	303
4.2.4.1. Uvod	303

4.2.4.2.	Geomehaničke karakteristike i proračun	303
4.2.4.3.	Izbor oblika i dimenzija temelja	
4.2.4.4.	Osnovni oblici temelja	304
4.3. VODIČI		313
4.3.1.	Najčešće do sada upotrebljavani vodiči	313
4.3.2.	Tipizacija presjeka vodiča	319
4.3.3.	Izbor maksimalnih radnih naprezanja vodiča	320
4.4. ZAŠTITNO UŽE		322
4.4.1.	Najčešće dosada upotrebljavani materijali i presjeci zaštitne užadi	322
4.4.2.	Prijedlog tipizacije zaštitne užadi	323
4.4.3.	Izbor maksimalnih radnih naprezanja zaštitnih užeta	325
4.5. MEHANIČKI PRORAČUN UŽETA		326
4.5.1.	Suvremeni proračun provjesa	327
4.5.2.	Proračun montažnih tablica	331
4.6. OSTALI PROBLEMI VEZANI ZA UŽAD DALEKOVODA		335
4.6.1.	Kompenzacija trajnog izduženja užeta	335
4.6.1.1.	Osnovno o neelastičnom izduženju	335
4.6.1.2.	Kompenzacija trajnog izduženja užeta u toku eksploatacije dalekovoda	338
4.6.1.3.	Montaža užeta	341
4.6.1.4.	Preporuke na bazi dosadašnjih iskustava	341
4.6.2.	Rastojnici i rastojnici-prigušivači za vodiče u snopu	342
4.6.3.	Zaštita vodiča i zaštitne užadi od mehaničkih oscilacija	343
4.6.3.1.	Eolske vibracije	343
4.6.3.2.	Raspored prigušivača u rasponu	346
4.6.3.3.	Vibracije u podrasponima	348
4.6.3.4.	Galopiranje	348
4.7. IZOLACIJA DALEKOVODA		349
4.7.1.	Izbor tipa izolatora	349
4.7.2.	Izbor ovjesne opreme za izolatorske lance	358
4.7.3.	Dimenzioniranje izolacije	360
4.7.3.1.	Električko dimenzioniranje izolatorskih lanaca	360
4.7.3.2.	Mehaničko dimenzioniranje izolatorskih lanaca	365
4.7.3.3.	Dimenzioniranje zračnih razmaka	365
4.7.4.	Mehaničko dimenzioniranje ovjesnog i spojnog materijala	367
4.7.5.	Izolatorski lanci	369
4.7.6.	Zavješanje izolatorskih lanaca na stup	369
4.8. OSTALA OVJESNA I SPOJNA OPREMA		371

4.8.1. Zavješanje zaštitnog užeta na stup	371
4.8.2. Spajanje vodiča i zaštitne užadi na dalekovodima	372
4.9. UZEMLJENJE STUPOVA	374
4.9.1. Mjerenje specifičnog otpora tla	374
4.9.2. Vrste uzemljivača	378
4.9.3. Dimenzioniranje uzemljivača	379
4.9.4. Tipska rješenja uzemljivača	383
4.9.5. Mjerenje otpora uzemljenja stupova	390
5. SISTEM IZRADE DOKUMENTACIJE I GRADJENJE DALEKOVODA	393
5.1. DOKUMENTACIJA ZA IZGRADNJU I ODRŽAVANJE	393
5.1.1. Idejni projekt	393
5.1.1.1. Sadržaj idejnog projekta	393
5.1.1.2. Opis izrade idejnog projekta	394
5.1.2. Investicioni program	396
5.1.3. Tehnička dokumentacija za dobivanje građevinske dozvole	398
5.1.3.1. Elektromontažni projekt	399
5.1.3.2. Građevinski projekt	400
5.1.3.3. Katastarske podloge	401
5.1.4. Tehnička dokumentacija za građenje dalekovoda	401
5.1.5. Dokumentacija za održavanje dalekovoda	402
5.2. OSIGURANJE OPREME I STUPOVA	404
5.2.1. Obrada podataka za osiguranje opreme i stupova	404
5.2.2. Osiguranje opreme i stupova sa stajališta izvodjača radova	404
5.3. ORGANIZACIJA GRADJENJA DALEKOVODA UZ PRIMJENU SUVREMENE TEHNOLOGIJE	406
5.3.1. Pripremni radovi	408
5.3.2. Organizacija građevinskih radova	413
5.3.3. Organizacija elektromontažnih radova	415
5.4. TROŠKOVNIK	417
5.5. PRIKAZ RELATIVNIH ODNOSA CIJENA U TROŠKOVNIKU	419
6. ODRŽAVANJE I EKSPLOATACIJA DALEKOVODA	425
6.1. OPĆENITO O ODRŽAVANJU I EKSPLOATACIJI DALEKOVODA	425

6.1.1. Organizatori i nosioci održavanja dalekovoda	425
6.1.2. Dosadašnja praksa u održavanju	426
6.1.3. Pristup održavanju u narednom periodu	427
6.2. PRAVILNIK O ODRŽAVANJU NADZEMNIH VODOVA 110 kV ZA POTREBE ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA HRVATSKE	428
6.2.1. Opći dio	428
6.2.1.1. Uvod	428
6.2.1.2. Definicije pojmova	428
6.2.1.3. Opseg primjene Pravilnika	432
6.2.1.4. Organizacija rada	433
6.2.1.5. Planiranje i priprema rada	433
6.2.1.6. Kontrola izvršenja radova	435
6.2.1.7. Dokumentacija o izvršenim radovima	436
6.2.2. Radovi i rokovi održavanja	436
6.3. MEHANIZACIJA I ALATI ZA ODRŽAVANJE DALEKOVODA	447
7. LITERATURA	452

0.OPĆIDIO

0.1.PREDGOVOR

Izradu Studije-projekta tipizacije 110 kV visokonaponskih vodova financirale su sljedeće organizacije:

1. Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske (ZEOH) - Zagreb
2. "Elektroslavonija" - Osijek
3. "Elektroprivreda" - Rijeka OOUR "Elektroprenos" - Opatija
4. "Elektroprivreda Dalmacije" - Split OOUR "Elektroprenos" - Split
5. "Elektroprivreda" - Zagreb OOUR "Elektroprenos" - Zagreb

kao naručio i

RO "Dalekovod", Zagreb

kao izvršilac.

Rad na ovom razvojnom projektu je nastavak intenzivnih aktivnosti koje se posljednjih godina provode u "Zajednici elektroprivrede Hrvatske" na planu pronalazjenja što racionalnijih organizacionih i tehničkih rješenja gradjenja elektroenergetskih objekata općenito. Radna organizacija "Dalekovod" je, u skladu sa svojom funkcijom u razvitku našeg elektroenergetskog sistema, posebno u dijelu koji se odnosi na gradjenje visokonaponskih nadzemnih vodova, prihvatila obavezu da kroz Studiju - projekt 110 kV vodova detaljnije elaborira rješenja koja se na današnjem stupnju razvoja u našim uvjetima smatraju najracionalnijim. Jasno je da je pri tome bilo neophodno barem naznačiti moguće, a u nekim aspektima i nužne pravce daljnjeg unapredjenja, jer ni jedno od ponudjenih rješenja ne treba smatrati najracionalnijim.

Da bismo u cijelosti s uspjehom odgovorili kompleksnom zadatku, bilo je nužno da se u realizaciji ove Studije-projekta okupi stručno najkompetentniji kadar za sve aspekte relevantne u procesu planiranja, gradjenja i eksploatacije nadzemnih vodova. To je ostvareno prije svega neposrednom suradnjom na obradi pojedinih poglavlja s "Institutom za Elektroprivredu" - Zagreb, "Republičkim hidrometeorološkim zavodom" - Zagreb, te stručnjacima sektora za razvoj ZEOH-a, prenosnih organizacija ZEOH-a, "Geoexperta" - Zagreb, Elektrotehničkog i Gradjevinskog fakulteta - Zagreb. Redovno je ova suradnja prerastala okvire formalno utvrdjenih međusobnih obaveza, u nastojanju da konačni rezultat bude što adekvatniji postavljenom cilju.

Rezultati Studije-projekta prezentirat će se u dvije grupe materijala:

I - Studija "Tipizacija 110 kV vodova" (1)

- Radna dokumentacija Studije-projekta

II - Statički proračuni i radionička dokumentacija tipskih stupova 110 kV vodova

- Proračuni i izvedbena dokumentacija tipskih temelja
- Skice tipskih rješenja izolacije i uzemljenja 110 kV vodova

Problematika tipizacije dalekovoda u mnogo čemu je specifična u odnosu na tipizaciju ostalih objekata elektroenergetskog sistema. Ta specifičnost ogleda se dijelom i u načinu prezentiranja ovog općeg, studijskog dijela materije. Kao što će se vidjeti, nastojalo se da se studijom kao osnovnom referencom za svaki pojedini segment problematike planiranja, projektiranja, gradjenja i eksploatacije 110 kV dalekovoda, daju jasne i precizne upute o primjeni najprihvatljivijeg postupka ili rješenja. U tom smislu studija ispunjava prazninu nastalu nedostatkom odgovarajuće referentne literature za gradjenje dalekovoda općenito. Nadalje, konkretna tipska rješenja opreme i tehnologije gradjenja koja su obradjena Studijom-projektom i koja u smislu odredbi Zakona o elektroprivredi postaju obaveznim za primjenu pri gradnji dalekovoda 110 kV u SR Hrvatskoj, odraz su stanja i realnih mogućnosti svih sudionika u procesu gradjenja dalekovoda u ovom momentu. Daljnji pomaci, daljnja unapredjenja koja se dijelom naznačuju i Studijom, bit će u značajnoj mjeri uvjetovani disciplinom i odgovornošću s kojom se budu primjenjivala ovdje sankcionirana rješenja za vodove napona 110 kV. Naime svako neargumentirano odstupanje ili zanemarivanje usvojene koncepcije imalo bi uz negativne posljedice formalno-zakonskog karaktera - još i vrlo brzo obezvređivanje cjelokupnih dugoročno projiciranih pozitivnih rezultata.

Zato završetak izrade Studije-projekta može označiti tek završetak prve faze jednog kontinuiranog procesa u kojem će se na konkretnim akcijama naći na zajedničkom zadatku ponovno svi sudionici naručitelja i izvršioca.

(1) Na sastanku Stručnog savjeta za ocjenu Studije, održanom 9.12.1986, usvojena je studija u ovdje prezentiranom opsegu i sadržaju. Ističući višestruku korist, a uvažavajući inženjersku materiju da materijal može biti vrlo upotrebljiv i kao priručnik ili udžbenik, donesena je odluka da se Studija štampa kao zasebna knjiga u izdanju "Dalekovoda" - Zagreb i ZEOH-a. Stručnu recenziju izvršili su dipl.inž. B.Markovčić i dipl.inž. K.Vagman, a jezičnu G.Vučinić,prof., na čemu im se u ime izdavača, imajući na umu posebno složenost posla, najtoplije zahvaljujemo.

Poštujući doprinos svakog pojedinca koji je neposredno sudjelovao u stručnoj obradi, pomogao u osiguranju materijalnih pretpostavki i organizaciji i sl, u okviru svojih objektivnih mogućnosti, funkcije koju obavlja ili opsega postavljenog zadatka ne želimo ovaj put isticati bilo čiju osobnu ulogu.

U ime RO "Dalekovod" zahvaljujemo svima, a posebno "Zajednici elektroprivrede Hrvatske" na ukazanom povjerenju dodjelom ovog zadatka i stalnom aktivnom podrškom u realizaciji.

0.2. POPIS AUTORA I SURADNIKA

0.2.1. Autori i suradnici izvršioca

RO "DALEKOVOD", Zagreb

Autori:

Dževad Muftić, dipl. inž.
Milan Marjanović, dipl. inž.

- koordinator izvršioca
- koordinator u fazi definiranja sadržaja i planiranja izrade Studije

Ante Adžija, dipl. inž.
Ante Bajić, dipl. tehn.
Antun Fišer, dipl. inž.
Predrag Helman, dipl. inž.
Velimir Ilijanić, dipl. inž.
Davorin Kremer, dipl. inž.
Željko Lakić, dipl. inž.
Gordan Mirošević, dipl. inž.
Predrag Pavlović, dipl. inž.
Đorđe Raduka, dipl. inž.
Bojan Smiljan, dipl. inž.

Suradnici:

Mirko Aralica, dipl. tehn.
Zvonimir Cerančević, dipl. tehn.
Ivan Grozdanić, inž.
Davor Horgas, dipl. inž.
Ferdinand Kanceljak, dipl. inž.
Branko Kolić, dipl. inž.
Stojan Lakić, dipl. inž.
Zlatko Medić, dipl. inž.
Mr. Mato Petrović, dipl. inž.
Dragoljub Žutić, dipl. inž.

"INSTITUT ZA ELEKTROPRIVREDU" ZAGREB

Autori:

Mr. Zdenko Tonković, dipl.inž.

Dr. Miroslav Jung, dipl.inž.

Mr. Davor Nevečerel, dipl.inž.

"REPUBLIČKI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD" Zagreb

Autori:

Dr. Dražen Poje, dipl.inž.

Mr. Mirjana Gajić-Čapka, dipl.inž.

Jadranka Novaković, dipl.inž.

Ksenija Zaninović, dipl.inž.

Suradnici:

Mr. Nada Pleško

Gordana Hrabak-Tumpa, dipl.inž.

"ELEKTROPRENOS" ZAGREB

Autor:

Zvonimir Firšt, dipl.inž.

"GEOEXPERT" Zagreb

Suradnik:

Branislav Škaro, dipl.inž.

0.2.2. Članovi Nadzorne grupe i Stručnog savjeta, stručni izvjestioci

"ZAJEDNICA ELEKTROPRIVREDNIH ORGANIZACIJA HRVATSKE" ZAGREB

- Ante Delonga,dipl.inž. - koordinator Nadzorne grupe i predsjednik
Stručnog savjeta
Nikola Bruketa,dipl.inž. - koordinator Sektora za razvoj ZEOH-a

Članovi Nadzorne grupe i Stručnog savjeta za ocjenu Studije

Dr. Zorko Cvetković,dipl.inž.
Ive-Vice Cukrov,dipl.inž.
Dobroslov Bélić,dipl.inž.

Drago Sablić,dipl.inž.

Ante Andukić,dipl.inž.
Josip Košćec,dipl.inž.
Janko Tor,dipl.inž.
Zvonimir Firšt,dipl.inž.
Franjo Vidaković,dipl.inž.
Ivan Đuranović,dipl.inž.
Drago Prpić,dipl.inž.
Franjo Škrtić,dipl.inž.
Ivo Šegvić,dipl.inž.
Mladen Šicel,dipl.inž.
Željko Koščak,dipl.inž.
Ante Jelčić,dipl.inž.

Stručni izvjestioci:

Boris Marković,dipl.inž.
Dr.Zorko Cvetković,dipl.inž.
Karlo Ožegović,dipl.inž.
Bruno Šaina,dipl.inž.
Eugen Sbutega,dipl.inž.
Anđelko Dujmović,dipl.inž.
(u ime radne grupe ESO)

0.3. ORGANIZACIJA REALIZACIJE STUDIJE-PROJEKTA

Organizacija realizacije Studije-projekta tipizacije 110 kV visokonaponskih nadzemnih vodova planirana je u dvije osnovne faze, a to su:

- izrada studijskog dijela
- izrada projektne dokumentacije

Za prvi dio, koji po prirodi zadatka uključuje veći broj neposrednih sudionika, izradjen je detaljan mrežni dijagram koji je poslužio kako za što bolje planiranje, tako i za praćenje realizacije Studije.

I prvodobni prijedlog plana realizacije, a i kasnija verifikacija izvršenja po pojedinim fazama, razmatrani su na zajedničkim sastancima Nadzorne i Radne grupe. Kompletna radna dokumentacija (mrežni planovi, zapisnici sa sastanaka Nadzorne i Radne grupe, dopisi i sl.) čini sastavni dio studijskog dijela i ona će se po završetku cjelokupnog posla u posebnom elaboratu predati naručiocu.

Mada su studijski i projektni dio u osnovi odvojene cjeline, njihova izrada nije se mogla organizirati i vremenski potpuno odvojeno iz prostog razloga što je za određene bitne zaključke i rezultate studijskog dijela bilo nužno ući i u projektiranje pojedinih tipskih komponenti. U tom smislu karakteristična je upravo tipizacija stupova 110 kV vodova. Bilo bi nemoguće konkretnije govoriti o problematici tipizacije stupova, pa napokon i usvojiti određeni osnovni izbor, a da se nije išlo i u projektiranje novih tipskih rješenja.

To je osnovni razlog zbog kojeg je došlo do izvjesnog preklapanja u vremenskom planu izrade studijskog i projektnog dijela, što je na kraju rezultiralo produljenjem rada izrade Studije i ubrzanim aktivnošću na izvedbenoj dokumentaciji.

Pored navedenoga, treba istaći da je jedna od normalnih posljedica realizacije ovako kompleksnog zadatka bila i određena korekcija ranije projektnim zadatkom precizno utvrđenog sadržaja. To je učinjeno u pojedinim segmentima studije dogovorom između Radne i Nadzorne grupe, a sve u cilju da se osnovna namjena Studije projekta ostvari u što potpunijem obliku. Tipičan primjer u tom smislu je analiza odabranih rješenja stupova suvremenim proračunom metodom konačnih elemenata, što inače ima dalekosežne posljedice na daljnju praksu projektiranja i ispitivanja stupova općenito.

Studija između ostalog definira okvirno sadržaj i opseg izvedbene dokumentacije. Detaljnija razrada sadržaja bit će učinjena u skladu s osnovnom idejom da se projektna dokumentacija pojedinih objekata ne opterećuje dokumentacijom već usvojenih tipskih rješenja opreme.

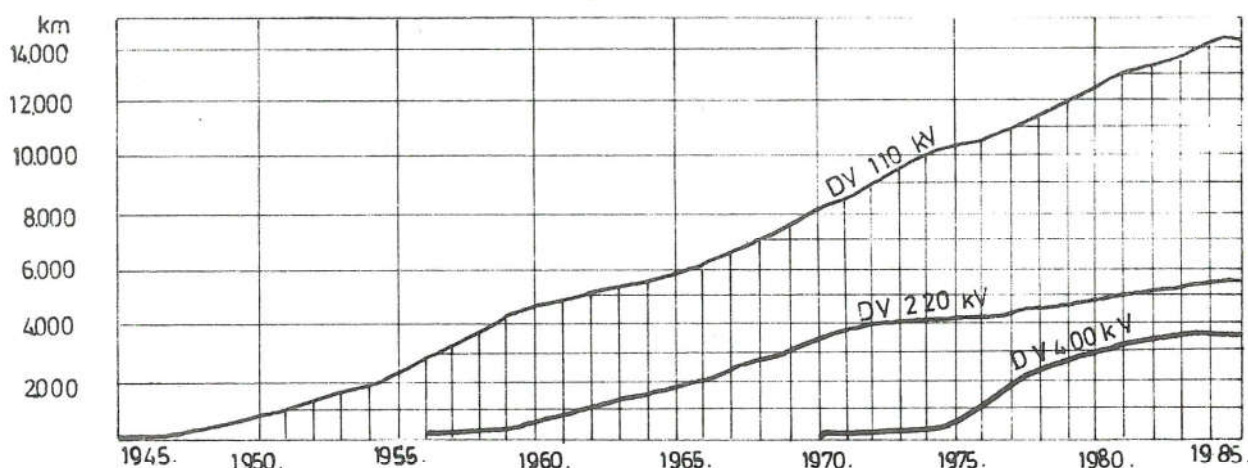
1. UVOD

1.1. DOSADAŠNJA PRAKSA I PROBLEMATIKA IZGRADNJE DALEKOVODA 110 kV

1.1.1. Općenito o mrežama 110 kV vodova

Mreža visokonaponskih nadzemnih vodova nazivnog napona 110 kV, kakvu danas imamo, rezultat je sada već 40-godišnjeg intenzivnog razvoja prijenosnog sistema jugoslavenske elektroprivrede.

Mada su u svijetu prvi vodovi naponskog nivoa reda veličine 110 kV izgradjeni još 1915. godine, a kod nas u razdoblju između dva rata, pravi početak razvoja mreže vodova 110 kV, kao što se vidi iz sl. 1.1 (L1.1), dolazi tek u razdoblju obnove i izgradnje, 1945-1955.



*Tok izgradnje prijenosne mreže Jugoslavije
slika 1.1.*

Sve do pojave prvih vodova 220 kV, sredinom 50-ih godina, mreža 110 kV predstavljala je osnovnu prijenosnu mrežu koja je ne samo povezivala većinu područja naše zemlje u jedinstven elektroenergetski sistem, jasno, na razini tadašnjih mogućnosti i zahtjeva privrednog razvoja, nego i jugoslavenski sistem s prijenosnim sistemima susjednih zemalja.

Izgradnja 220 kV, a kasnije i 400 kV mreže nije usporila razvoj mreže 110 kV, što se takodjer može lako uočiti iz sl. 1.1, nego joj je samo promijenila osnovnu funkciju. Budući da je sada elektroenergetski 400 kV prsten "Nikola Tesla" osnova jedinstvenoga jugoslavenskog prijenosnog sistema, a kako se 220 kV mreža ne namjerava dalje razvijati, 110 kV vodovi preuzimaju funkciju tzv. primarne distribucije te time njihov daljnji razvoj još više dobiva na značenju.

Ako se, u pogledu odnosa naponskih nivoa i njihove funkcije u elektro-energetskom sistemu naš razvoj usporedi s procesom u drugim razvijenijim zemljama (L1.4), mogu se zapaziti podudarnosti u svim bitnim elementima koncepcije planiranja.

Postepeno smanjivanje broja nazivnih napona prijenosa i distribucije, uz tendenciju povećanja naponskih nivoa primarne i sekundarne distribucije, ima vrlo čvrsto obrazloženje u ekonomici prijenosa i distribucije električne energije.

Mreža 110 kV ima u SR Hrvatskoj još uvijek primarno značenje u prijenosu električne energije između izvora i potrošača. S jedne strane više od polovice izvora priključeno je na 110 kV mrežu, a s druge strane između ove mreže i potrošača postoji razvijena srednjo naponska mreža. Od ukupno danas instaliranih 3.030 MW u udruženim hidroelektranama i termoelektranama na teritoriju SRH priključeno je na 110 kV 1.600 MW ili 53 %. U većini 110 kV potrošačkih čvor-išta transformacija je na 35 kV pa ovaj naponski nivo preuzima daljnji distributivni razvod energije do potrošača. Prijenosni karakter 110 kV mreže potencira i njena prostorna razvijenost. U perspektivi je za očekivati da će se ovakva uloga 110 kV mreže mijenjati. Izvori će se s obzirom na veće snage priključivati na 400 kV i 220 kV superponiranu mrežu, a sve više favorizirana direktna transformacija 110/20 kV i 110/10 kV približit će 110 kV napon distribuciji.

Prema "Statističkom godišnjaku Elektroprivrede SFRJ" za 1983. godinu razvijenost 110 kV mreže SRH u kontinuitetu u SFRJ pokazuje tabl.1.1.

Tablica 1.1.

Duljine vodova visokog napona u Jugoslaviji (u km)

Republika	1970.	1975.	1980.	1983.		
				110 kV	400 i 220 kV	%
Jugoslavija	8 290	10 650	12 968	14 283	9 175	61
Bosna i Hercegovina	1 261	1 625	2 419	2 555	2 099	55
Crna Gora	428	512	604	622	598	51
Hrvatska	2 069	2 893	3 344	3 534	1 767	67
Makedonija	708	872	926	1 461	420	78
Slovenija	976	1 187	1 558	1 153	692	62
Srbija	2 848	3 651	4 117	4 958	3 595	58

Prema podatku za 1983. godinu SRH je druga po udjelu 110 kV mreže u ukupnoj duljini prijenosne mreže, a prva po razvijenosti s obzirom na površinu, što može biti i posljedica geografskog oblika.

U tabeli 1.2. dana je površina Jugoslavije i republika te površina u km koja otpada na km mreže 110 kV.

Tablica 1.2.

Površina Jugoslavije i republika u odnosu na duljinu mreža 110 kV

Područje	Površina		TS 110 kV	
	(km ²)	10 ³ km ² /km		km/TS
Jugoslavija	255 804	55,8	429	33,3
Bosna i Hercegovina	51 129	50,0	98	26,1
Crna Gora	13 812	45,0	14	44,4
Hrvatska	56 538	62,5	78	45,3
Makedonija	27 713	56,8	35	41,7
Slovenija	20 251	56,9	61	18,9
Srbija	88 361	56,1	143	34,7

U istoj tablici dan je, prema istom izvoru, i broj 110 kV trafostanica, bez industrijskih i EVP, te relativna duljina 110 kV vodova između stanica, po čemu je SRH opet na prvom mjestu. Ova će se duljina u perspektivi sigurno skraćivati, no tako je i na drugim područjima.

1.1.2. Razvoj 110 kV mreže u SR Hrvatskoj

Detaljan opis razvoja 110 kV mreže u Hrvatskoj ima za cilj da u kontekstu opće problematike razvoja elektroenergetike Jugoslavije naznači one elemente koje će trebati imati na umu da bi se shvatili naponi koji se čine radi pronalaženja što racionalnijih rješenja gradnje.

Danas u SR Hrvatskoj imamo relativno dobro razgranatu mrežu nadzemnih vodova "od" 110 kV. Ukupna duljina vodova do kraja 1983. godine iznosila je prema "Godišnjaku Elektroprivrede Hrvatske" za 1983. godinu 3.534 km. Gotovo je cijela mreža izgrađena poslije drugoga svjetskog rata, osim jednog voda u Istri koji je podignut, dok je Istra još bila pod Italijom, za napon od 132 kV. Među ranije podignute vodove spada i vod od Brestanice do Rakitja koji je gradjen za vrijeme rata za napon od 110 kV, ali je bio u pogonu s nižim naponom.

Izgradnjom provizorne TS 110/30 kV Klara i produženjem voda Brestanica - Rakitje do TS Klara 1946. godine vod prelazi sa 80 kV, a zatim na napon za koji je izrađen, tj 110 kV.

Prvi su vodovi od 110 kV izrađeni u razdoblju obnove zemlje, kad je bilo najvažnije osposobiti postojeće objekte za pogon i izgraditi ono najnužnije, da se što prije omogući opskrba potrošača električnom energijom.

Definitivni plan elektrifikacije Jugoslavije izradjen je krajem 1946. godine. Premda ovaj plan nije bio plod opširnijih studija, jer za to tada nije bilo vremena, ipak je planom obuhvaćen razvoj elektroenergetskih izvora i visokonaponske mreže za razdoblje od pet godina. Njime je utvrđen prienosni napon 110 kV i dana je osnovna konfiguracija mreže Jugoslavije. Osnovne postavke tog plana ušle su u zakon o elektrifikaciji i industrijalizaciji zemlje, koji je objavljen u svibnju 1947. godine.

Nakon završene obnove vodova započelo se s izgradnjom mreže 110 kV prema planu elektrifikacije. Naravno, u početku je tempo izgradnje bio nešto sporiji, što je potpuno razumljivo ako se uzme u obzir da je u toku gradnje trebalo rješavati tehničku i administrativnu problematiku. Tako je to išlo sve negdje do 1957. godine kad je postignut prosječni tempo izgradnje od oko 120 km novih vodova godišnje, koji je uglavnom zadržan sve do 1982. godine.

Da bi se dobila što potpunija slika o razvoju mreže 110 kV prilaže se tablični pregled izgradjenih vodova od 1945. do 1982. godine. (tabl.1.3.).

Tablica 1.3.

Duljine izgrađenih vodova 110 kV

Godina	Duljine vodova(km)
1945.	0
1955.	523
1965.	1 574
1975.	2 769
1982.	3 590

(Napomena: Moguće razlike u statističkim podacima rezultat su različitog definiranja duljina vodova).

Od ukupne duljine izgradjenih vodova oko 93 % otpada na jednostruke, a preostalih 7 % na dvostruke.

Praksa i problematika izgradnje vodova u proteklih 40 godina stalno se mijenjala, a najviše se promjena zbilo u prvih desetak poratnih godina. To je vrijeme naročito obilovalo mnogim problemima koji su se javljali kod projektiranja i gradnje. Za rješavanje ove problematike u to vrijeme nije bilo ni vremena, a niti stručnog kadra koji bi u tadašnjim uvjetima pronalazio odgovarajuća rješenja uskladjena s ekonomskim mogućnostima društva.

S vremenom je postojeći kadar postupno stjecao iskustva u projektiranju i gradnji vodova pa se sve više pažnje poklanjalo i ekonomičnosti objekata.

Šarolikost izgrađenih vodova u to vrijeme, izvedenih na drvenim ili armiranobetonskim stupovima, dovoljno govori kolika su bila zalaganja projektanata u pronalaženju što povoljnijih tehničkih rješenja za stupove, s krajnjim ciljem da se dobije što ekonomičniji vod.

Do značajnijeg preokreta u izgradnji vodova došlo je 1952. godine, kad se počelo projektirati prve vodove na čeličnorešetkastim stupovima, što je u inozemstvu bila već uobičajena praksa.

Paralelno s izgradnjom vodova, kroz sve to vrijeme mnogo se uradilo na poboljšanju naših propisa za projektiranje i gradnju vodova. Dosad su nakon prvih privremenih propisa iz 1949. godine izdana još tri, a četvrti je pred objavljivanjem.

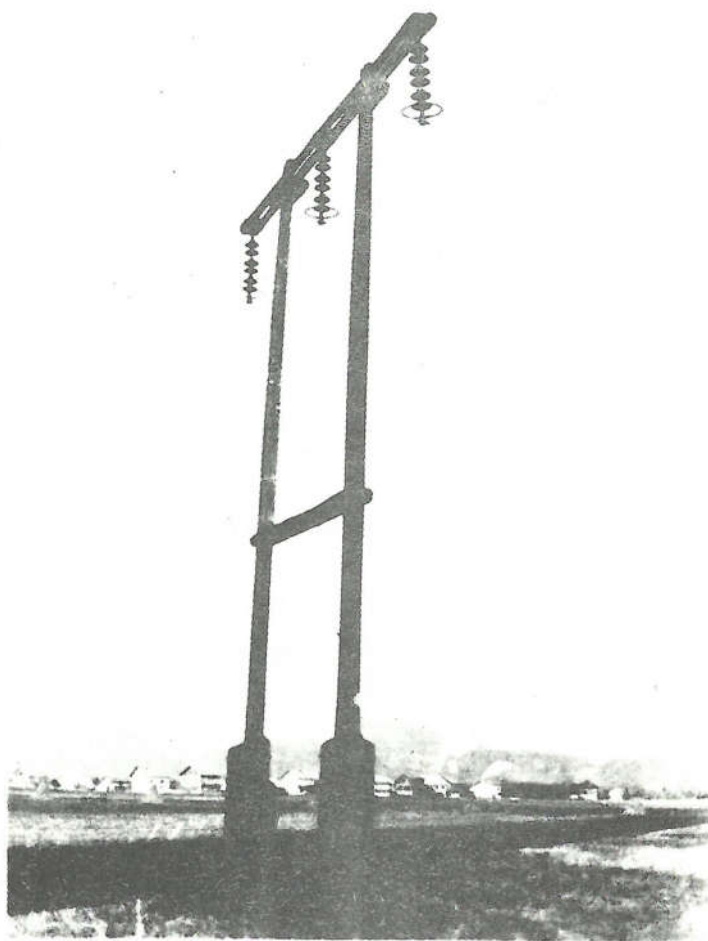
1.1.3. Prikaz problematike gradjenja nekih karakterističnih vodova

Da bi se dobio što bolji pregled razvoja tehnike gradjenja mreže 110 kV i shvatila problematika kod projektiranja i izgradnje vodova dan je kratak osvrt na neke vodove koji se međusobno razlikuju po izvedbi.

Naš prvi dalekovod od 110 kV u Hrvatskoj Brestanica - Klara izveden je na drvenim portalnim stupovima, i to dionica Brestanica - Rakitje za vrijeme rata, a nastavak Rakitje - Klara odmah poslije rata od drvene gradje koja je bila pripremljena još prije rata za dalekovod 110 kV Rakitje - Vinodol. Prva dionica izgrađena je od aluminijskih vodiča presjeka 120 mm^2 , kao jedini takav vod u Hrvatskoj, a drugi dio od alužel vodiča presjeka $150/25 \text{ mm}^2$. To je ujedno jedini vod u SR Hrvatskoj izveden na drvenim stupovima, koji djelomično još i danas postoji.

Drvo sa svojim mehaničkim svojstvima prikladno je za izradu stupova za manje presjeke vodiča, što odgovara za vodove napona do 35 kV. Veći presjeci alužel užeta, kao što je presjek $240/40 \text{ mm}^2$, za normalne prosječne raspone traže složene i komplicirane konstrukcije stupova. Loša impregnacija drvene gradje smanjila je trajnost drveta, niski portalni stupovi povećali su broj stupova u vodu, a time i potrošnju uvoznih izolatora i ovjesne opreme, pa je sve to utjecalo da se drvo odbaci kao neprikladan materijal za gradjenje vodova 110 kV. Jasno, to ne vrijedi za izvedbu raznih provizornih rješenja, pa i rješenja dalekovoda u iznimnim uvjetima, kao što su rat i elementarne nepogode.

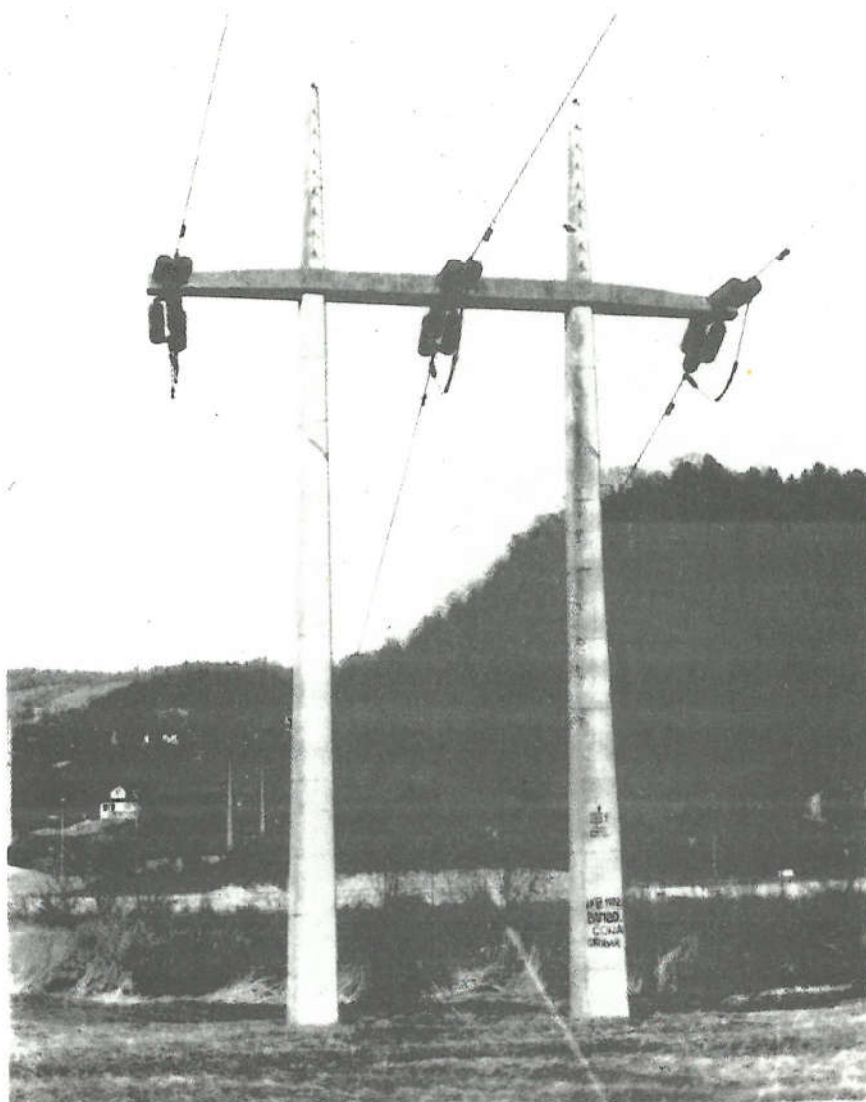
Budući da je primjena drveta bitno reducirana za dalekovodne stupove, a nove je vodove trebalo dalje graditi, valjalo je na brzinu odabrati novi materijal. U uži izbor ušli su standardni valjani čelični profili i armirani beton. Od čelika se moralo odustati jer je tada bio deficitiran, pa je tako preostao još samo armirani beton.



*Drveni nosivi stup portal 110 kV na vodu Klara-Brestanica
Slika 1.2.*

S portalnim armiranobetonskim stupovima tipa Šperac izgradjen je 1948. godine naš prvi vod u Dalmaciji, Kraljevac - Lozovac. Taj je vod dug oko 100 km i izgradjen je u kratkom vremenu od godinu dana. Kasnije su izgrađeni vodovi Vinodol - Rakitje i Maribor - Varaždin. Vod u Dalmaciji opremljen je bakrenim vodičima presjeka 95 mm^2 , a ostala dva alučel vodičima presjeka $240/40 \text{ mm}^2$, osim dionice voda u Gorskom kotaru gdje su upotrijebljeni brončani i bakreni vodiči presjeka 150 mm^2 . Vodovi s portalnim stupovima opremljeni su sa dva zaštitna čelična užeta presjeka 50 mm^2 , a vod u Dalmaciji bio je oko šest godina bez zaštitnih užeta i nije bio uzemljen, a ipak je i u takvom stanju bio u pogonu bez većih smetnji.

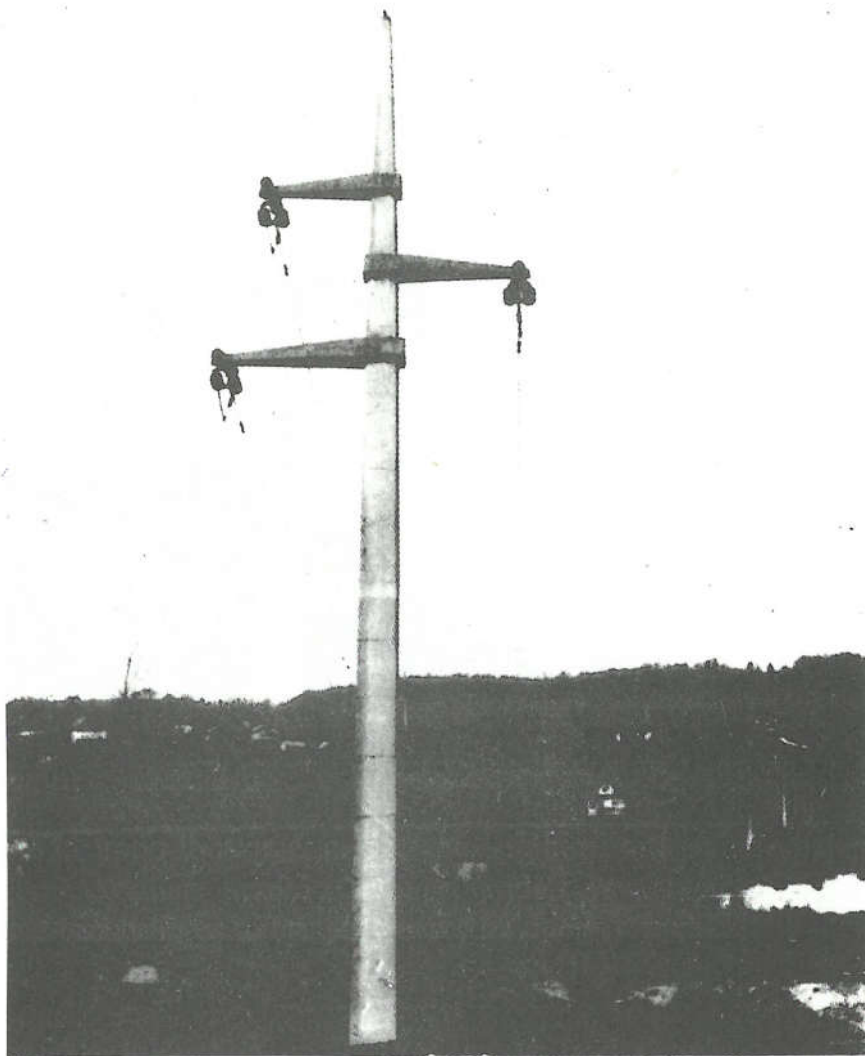
Loša je strana portalnih stupova što treba prevesti znatne količine građevinskog materijala do svakoga stupnog mjesta za izradu stupova i temelja, što troškove prijevoza čini visokim. Pokušalo se smanjiti te troškove smanjenjem količine betona po stupu, ali se u tome nije uspjelo. Zato su portalni stupovi 1952. godine zamijenjeni jednostrukim masivnim stupovima oblika "jela".



*Kutni armiranobetonski portalni stup tipa Šperac , 110 kV
Slika 1.3.*

S jednostrukim stupovima izgradjeno je u Hrvatskoj desetak vodova, a zadnji su gradjeni 1956. godine na ravnim terenima, gdje su takvi stupovi imali prednost pred ostalim. Ukupno je u Hrvatskoj do 1956. godine izgradjeno 565 km vodova s armiranobetonskim stupovima tipa Šperac. Otprilike polovica vodova opremljena je bakrenim vodičima presjeka 95 i 150 mm², a ostali alučeličnim vodičima presjeka 210/36 i 240/40 mm². Svi vodovi izgradjeni su s čeličnom zaštitnom užadi presjeka 35 i 50 mm², koja se u to vrijeme uvozila jer je domaća industrija još nije proizvodila.

Vodovi su izolirani tada raspoloživim izolatorima, a to su bili porculanski izolatori s punom jezgrom te štapni i kapasti izolatori, koji su se većim dijelom uvozili jer domaća proizvodnja još nije bila uhodana. Od spomenutih tipova izolatora pretežno su se upotrebljavali kapasti izolatori tipa K-3.



Zatezni armiranobetonski stup tipa Šperac "jela", 110 kV

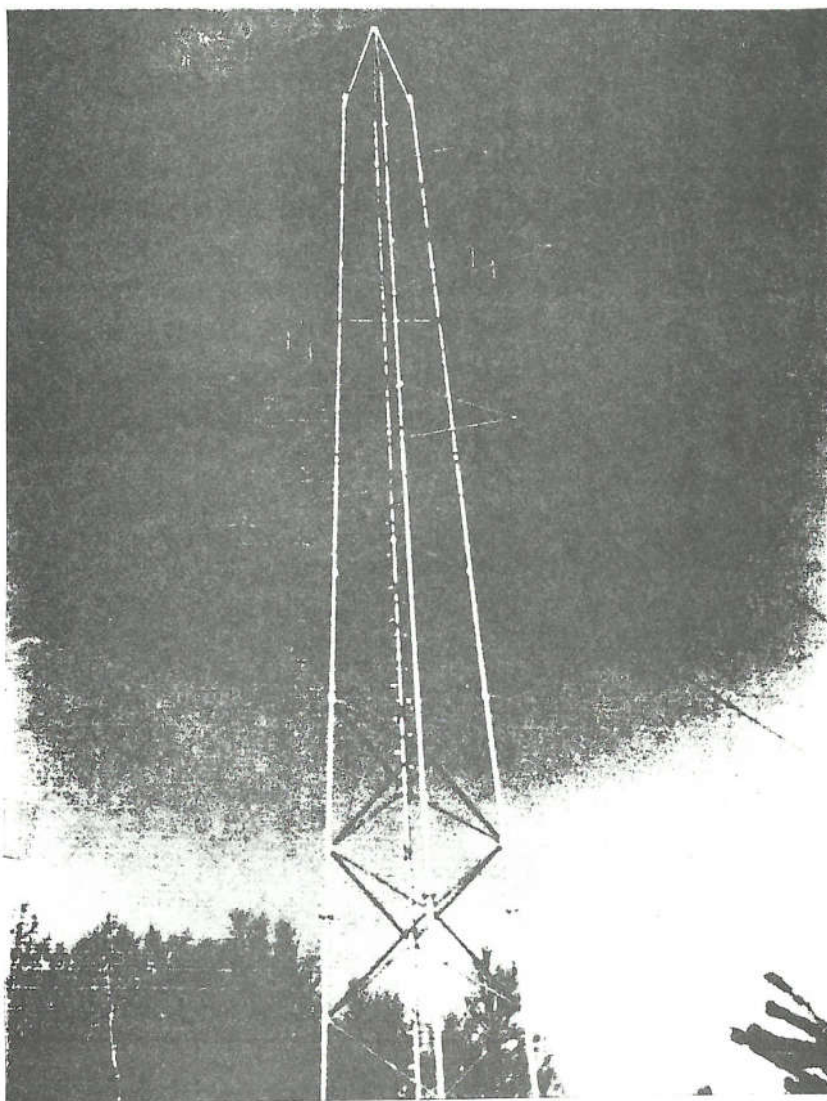
Slika 1.4.

Najčešće se upotrebljavao ovjesni materijal domaće proizvodnje tipa Hofmann, a manje su se količine materijala tipa Volpato uvozile. Za spajanje vodiča u rasponima voda upotrebljavane su zarezne spojnice, dok su za spajanje zaštitnih užeta korištene konične spojnice. Alučel vodiči štićeni su od vibracija prigušivačima tipa Stockbridge, koji su se proizvodili u našoj zemlji.

Sve što je dosad rečeno o opremi vodova odnosi se na vodove izgrađene do 1956. godine. To je ujedno godina kad su se prestali graditi vodovi na armiranobetonskim stupovima i počeli se isključivo izvoditi na čeličnoretkastim stupovima.

Prvi vod u SR Hrvatskoj na čeličnoretkastim stupovima izveden je od uvoznih bešavnih cijevi tipa Motor-Columbus, čiji su pojasnici ispunjeni betonom. Počeo se graditi 1952. godine od HE Vinodol do TS Matulji. To je relativno kratak vod, predviđen za dvije trojke bakrenih vodiča presjeka 150 mm^2 , u području

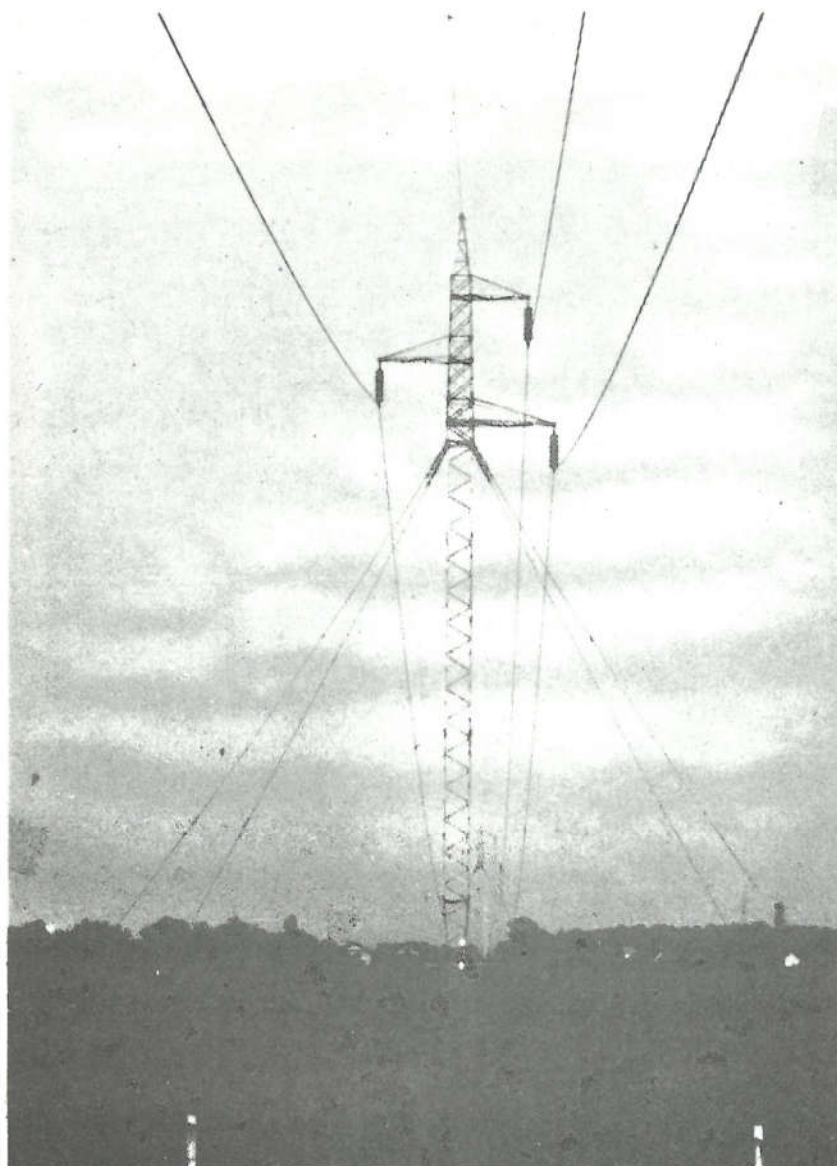
poznatom po vrlo jakim vjetrovima, pa se upravo zato pokazalo da za to područje ne zadovoljavaju armiranobetonski stupovi. Jedna trojka vodiča montirana je odmah prilikom gradnje, a druga nikada nije ni montirana. Vod se pokazao kao dobro tehničko rješenje s uštedama na čeliku do 60 % u odnosu na vodove na čeličnoretkastim stupovima od čeličnih profila ili, kako se to često kaže, klasičnim stupovima.



*Čeličnoretkasti cijevni kutni stup Motor-Columbus, 110 kV
Slika 1.5.*

Unatoč tolikim uštedama na čeliku izgrađen je još samo jedan takav vod s domaćim cijevima, opremljen alučel vodičima presjeka 240/40, na dionici Karlovac - Gojak novog dalekovoda Rakitje - Vinodol. Naime, pokazalo se da postignute uštede na čeliku nisu mnoge pokriti razliku u cijeni u odnosu na cijenu klasične konstrukcije stupova. To je upravo bio razlog da je zadnja dionica spomenutog voda Gojak - Vinodol izgrađena na klasičnim čeličnoretkastim stupovima, s rasporedom vodiča u trokut.

Cijevni stup Motor-Columbus bio je poticaj za naše projektante da i oni pokušaju pronaći modernija rješenja čelične konstrukcije koja bi bila lakša od klasične.



Čeličnorešetkasti nosivi stup tip Dalekovod - "igla", 110 kV

Slika 1.6.

Godine 1957. izgradjen je naš prvi dvostruki dalekovod 110 kV Jajce - Zagreb, duljne 195 km, na čeličnorešetkasim stupovima tipa Energoinvest s prenapregnutim dijagonalama oblika Y, koji se naknadno može pregraditi u jednostruki 220 kV dalekovod. Iste godine izgradjeni su i jednostruki vodovi s prenapregnutim dijagonalama s rasporedom vodiča u trokut. Ovim stupovima postizale su se uštede na čeliku i do 25 % u usporedbi s klasičnim stupovima, ali ta ušteda nema toliko utjecaja na ukupnu cijenu voda zbog skuplje izrade. Osim toga, ti su stupovi pokazali svoje loše strane u pogonu pa se zato danas više ne upotrebljavaju u gradnji dalekovoda.

Sličnu sudbinu doživio je čeličnorešetkasti nosivi stup tipa Dalekovod, koji je izveden kao usidreni antenski stup s rasporedom vodiča u trokut, a upotrijebljen je samo 1962. godine na dalekovodu Sisak - Medjurić. Zatezni stupovi na tom dalekovodu klasične su izvedbe.

Danas se vodovi 110 kV isključivo grade na klasičnim rešetkastim stupovima oblika "jela" za jednostruke vodove i oblika "bačva" za dvostruke. Manji broj vodova izgrađen je na stupu oblika "Dunav". Ovakve su konstrukcije raširene i u svijetu, a pokazale su se, kao i kod nas vrlo uspjelima.

Do sada su se vodovi najčešće opremali alužel vodičima presjeka 150/25 i 240/40 mm², od čega 37 % otpada na prvi presjek, 46 % na drugi, a preostalih 9 % na sve ostale presjeke, što ukupno čini 92 % izgrađenih vodova s aluželječnim vodičima. Ostatak od 8 % otpada na vodove s bakrenim vodičima.

Zaštita vodova od atmosferskih prenapona čeličnom zaštitnom užadi postepeno se napuštala, tako da se u novije vrijeme vodovi štite vodljivom AlMg1/Fe užadi presjeka 95/55 mm².

Izolacija vodova poslije 1956. godine uglavnom se provodila domaćim porculanskim kapastim izolatorima. Zbog lošeg iskustva s porculanskim izolatorima u pogonu, jedno kraće vrijeme većina je vodova izolirana francuskim staklenim izolatorima, dok se danas vodovi izoliraju domaćim staklenim izolatorima. Izolatorski lanci opremljeni su zaštitnom armaturom u obliku rogova od kovanog čelika.

Domaća proizvodnja ovjesnog i spojnog materijala također se postepeno usavršavala i modernizirala, pa se može reći da imamo kompletan suvremeni materijal koji je konkurentan po kvaliteti i cijeni na svjetskom tržištu.

1.2. CILJEVI TIPIZACIJE DALEKOVODA 110 kV

Neprestani rast potrošnje električne energije zahtijeva sve veću proizvodnju energije, a ova pak sve veću mrežu prijenosnih vodova da tu energiju prenese do potrošačkih centara, gdje se ona dalje distribuira potrošačima. Za izgradnju prijenosne mreže naše društvo troši vrlo velika novčana sredstva, pa je zato razumljiva zainteresiranost društva kako se ta sredstva troše i što se za njih dobiva. Taj interes društva najbolje se ogleda u Zakonu o elektroprivredi i Samoupravnom sporazumu između Republičke zajednice potrošača i Zajednice elektroprivrede prema kojem su elektroprivredne organizacije udruženog rada dužne upotrebljavati tipska rješenja objekata i standardiziranu opremu radi brže i djelotvornije izgradnje objekata te jednostavnijeg i jeftinijeg održavanja objekata u pogonu. To obavezuje sve sudionike u izgradnji vodova da racionalno troše povjerena im sredstva.

Pri projektiranju, gradjenju i održavanju vodova u pogonu postoji opsežna tehnička problematika koju valja rješavati. Svrha je ove studije i projekta da se поближе upozna i svestrano razmotri cjelokupna tehnička problematika svih faza izgradnje vodova i njihovog održavanja u pogonu te da se zauzmi jasni stavovi i predlože rješenja koja su tehnički i ekonomski prihvatljiva. Kad se prihvate ova rješenja, koja će biti tipizirana za sve vodove izvedene na čeličnoredkastim stupovima u Hrvatskoj, mnogo će se olakšati, ubrzati i pojeftiniti projektiranje, gradnja i održavanje vodova u pogonu, što je u krajnjoj liniji i cilj ove tipizacije.

Tipizaciju vodova 110 kV treba u izvjesnom smislu shvatiti kao nastavak i logičnu cjelinu tipizacije prijenosnih objekata napona 110 kV započetu izradom projekta tipske trafostanice 110/X kV. Pritom treba imati na umu specifičnost nadzemnog voda kao infrastrukturnog objekta na čije konačno rješenje bitno utječu opći i tehnički uvjeti okoline u kojoj se gradi. Zato ovdje i sam pojam "tipizacije" treba shvatiti u širem smislu. Ne možemo tipizirati dalekovod kao cjelovit konstruktivni sustav, ali možemo tipizirati sve elemente od kojih se sastoji, možemo sistematizirati određene postupke planiranja, razrade idejne i izvedbene dokumentacije, možemo utvrditi jednoobraznu koncepciju obrade svih uvjeta, posebno klimatskih, koji bitno utječu na ekonomičnost i pouzdanost voda u pogonu, možemo sankcionirati i afirmirati sva pozitivna iskustva do kojih se u tehnici gradjenja dalekovoda do danas došlo kod nas i u svijetu.

Upravo tim ciljevima posvećena je i ova studija. Namjera je da se u svim bitnim elementima planiranja, projektiranja, gradjenja i održavanja dalekovoda utvrde ona načela i ona tehnička rješenja koja u ovom momentu naša praksa potvrđuje kao najracionalnija, uz nužan osvrt na tendencije daljnjeg razvoja, prije svega uvidom u suvremenu praksu u svijetu.

1.3. TEHNIČKI PROPISI I STANDARDI

1.3.1. Osvrt na razradu i primjenu važećih propisa

Prije osvrta na sadašnje propise za izgradnju nadzemnih vodova dan je kraći prikaz svih propisa koji su im prethodili. Na taj način dobit će se bolji uvid kako su pojedini propisi nastajali i što se sve u njima kroz to vrijeme mijenjalo.

Konačnim planom elektrifikacije zemlje, koji je razradjen krajem 1946. godine, dana je osnovna konfiguracija prijenosne mreže 110 kV. Kad se pristupilo ostvarenju plana, pojavile su se mnoge poteškoće, a jedna od većih bila je nepostojanje naših propisa za projektiranje i gradjenje dalekovoda. Prije rata kod nas su vodovi projektirani prema njemačkim propisima, što je bilo obavezno za sve objekte, a poslije rata otpala je primjena njemačkih propisa, iz potpuno razumljivih razloga, pa smo tako ostali bez propisa.

Bez obzira na stanje s propisima, nove vodove trebalo je projektirati i graditi, a projektirali su ih projektanti koji su poznavali samo njemačke propise, i to na taj način da su na svoju ruku povećavali stupanj sigurnosti tamo gdje im se činio malim. Takva praksa više se nije mogla podržavati pa je tadašnja Glavna uprava savezne elektroprivrede 1947. godine izdala "Smjernice za gradnju dalekovoda 110 kV", koje su služile kao određene direktive, nisu bile zvanične, pa prema tome ni obavezne za projektante i izvodjače.

Osnivanjem Elektrobiroa Ministarstva elektroprivrede sa zadatkom projektiranja dalekovoda 110 kV postavio se ozbiljan zahtjev za izdavanje jugoslavenskih propisa za projektiranje i gradnju dalekovoda 110 kV. Ovaj zahtjev ubrzao je formiranje posebne komisije koja je izradila prijedlog Smjernice za dalekovode i dala ga na javnu raspravu. Tehnički savjet pri Ministarstvu elektroprivrede uz manje izmjene usvojio je predloženi tekst i objavio ga u prilogu časopisa Elektroprivreda 1. lipnja 1949. kao "Privremene propise za projektiranje i gradnje dalekovoda 110 kV".

U Rješenju o privremenim propisima naglašeno je da se izdaju prema ukazanoj potrebi, da im je zadatak da projektantima i izvodjačima daju najbitnije elemente za rad na projektiranju i gradnji vodova, da pridonesu jednoobraznosti, solidnosti i racionalnosti rada, primjereno tadašnjim potrebama i prilikama, oslanjajući se pritom na tada već stečena iskustva. Pri izradi propisa komisija je osim naših iskustava koristila i tadašnje inozemne propise, od kojih valja spomenuti: sovjetske, čehoslovačke, švicarske, njemačke i prijedlog novih austrijskih propisa.

Uz sva nastojanja komisije da privremeni propisi budu što potpuniji, propisi nisu obuhvatili sve ono što je trebalo. Sve što je dano, u velikoj je mjeri nepotpuno i u skraćenoj formi. Poglavlje o dimenzioniranju stupova i temelja uopće nije ni dotaknuto nego su posebno, iste godine, izdani "Privremeni tehnički propisi za armirnobetonske stupove za dalekovode", koji su se u to vrijeme pretežno upotrebljavali za gradnju vodova, a sljedeće godine objavljeni su "Tehnički propisi za fundiranje stupova električnih vodova".

Za mehaničko dimenzioniranje dalekovoda neobično je važno imati što pouzdanije meteorološke podatke o brzini vjeta i zaledjivanju, a tih podataka za većinu područja gdje su gradjeni vodovi nije bilo. Privremeni propisi riješili su problem pritiska vjeta na taj način da su preuzete odredbe Privremenih tehničkih propisa Ministarstva gradjevine iz 1948. godine, prema kojima je Jugoslavija podijeljena u tri vjetrovne zone i prema toj podjeli dimenzionirani su vodovi. Ta je podjela vrlo gruba i rijetko je odgovarala stvarnom stanju, pa je 1952. godine Stručni savjet Elektroprivrede Hrvatske izmijenio i dopunio privremene propise tako da je ukinuo podjelu na vjetrovne zone i omogućio korištenje stvarnih ili procijenjenih podataka meteorološke službe. Zahvaljujući sve užoj suradnji Zajednice elektroprivrede Hrvatske s meteorološkom službom, povećao se broj mjesta mjerenja brzine vjeta anemometrima. Za skupljanje podataka o zaledjivanju u

suradnji s meteorološkom službom postavljeni su 1954. godine pokusni rasponi na prijevojima Male kapele, u Gorskom kotaru, kod željezničke stanice Zrmanja i iznad Senja. Tako su ostvareni prvi preduvjeti za solidniju obradu meteoroloških podataka, a time i realnije dimenzioniranje vodova u Hrvatskoj.

Daljnja razrada i dopuna tehničkih propisa povjerena je Tehničkom odboru br. 11 Jugoslavenskog elektrotehničkog komiteta (JEK), koji djeluje kao ogranak Međunarodne elektrotehničke komisije (IEC) sa sjedištem u Ženevi.

Prošlo je punih 11 godina od izdavanja privremenih propisa do donošenja prvih jugoslavenskih propisa pod nazivom "Tehnički propisi za izgradnju nadzemnih vodova jake struje". Ovim propisima uređivala se izgradnja nadzemnih vodova jake struje, koji služe za prijenos i razvod električne energije te gradnju kućnih priključaka. Iz ove opće odrebe za tehničke propise vidi se da se primjenjuju za znatno šire područje vodova od privremenih propisa koji su bili ograničeni samo na dalekovode 110 kV.

Tek što su tehnički propisi bili objavljeni, mnoge elektroprivredne organizacije postavile su zahtjev Zajednici jugoslavenske elektroprivrede da se izvrši dopuna propisa, a naročito je bilo mnogo primjedbi na poglavlje o uzemljenju. Da bi se ubrzala izmjena i dopuna propisa, formirana je grupa koja je razradila novi prijedlog propisa. Nakon normalne procedure predviđene za izdavanje propisa, izašli su 1967. godine "Tehnički propisi za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova". Za što bolje razumijevanje propisa Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera Jugoslavije izdao je 1970. godine "Tehničke propise za gradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova s komentarom".

Da bi se moglo pristupiti statičkim proračunima stupova i projektiranju vodova mreže 400 kV, trebalo je početkom 70-ih godina što hitnije izvršiti dopunu propisa za napon 400 kV. Izrada prijedloga propisa povjerena je Studijskom komitetu za nadzemne vodove Jugoslavenskog komiteta međunarodne konferencije za velike električne mreže - CIGRE. Nakon normalne procedure, objavljeni su 1973. godine treći propisi, koji su još uvijek na snazi, pod nazivom "Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova". Prema tom pravilniku projektirana je osnovna elektroprijenosna mreža 400 kV Jugoslavije "Nikola Tesla". S obzirom na važnost ove superponirane mreže posebna komisija ZJE izradila je još i dopunske smjernice.

Što se tiče bitnijih izmjena u sadašnjim propisima u odnosu na prethodne, valja naglasiti da su provedene u tri poglavlja: "Raspored vodiča i zaštitne užadi", "Uzemljenje" i "Prijelazi vodova i njihovo približavanje raznim objektima".

U prvom poglavlju dopunjeni su sigurnosni razmaci novim podacima za nazivni napon 400 kV pa je time omogućeno električno dimenzioniranje glava stupova za taj napon.

U drugom poglavlju ublaženi su uvjeti za sigurnost ljudi, koji se odnose na kruto uzemljene mreže.

U trećem poglavlju dana je vrijednost za koju treba povećati sigurnosne visine i sigurnosne udaljenosti za vodove do 110 kV, kako bi se dobile vrijednosti za napon 400 kV.

Nakon sedam godina Zajednica jugoslavenske elektroprivrede izdala je 1980. godine "Komentar Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova", s oznakom GSE 44/80.

Uočena iskustva, posebno tokom izgradnje 400 kV mreže, a i značajne novosti koje su došle iz svjetske prakse preko stručnih organizacija CIGRE i IEC, nametnuli su vrlo brzo novu reviziju i ove verzije propisa. Nosilac cjelokupne aktivnosti i ovog je puta bio Studijski komitet 22 (Nadzemni vodovi) JUKO CIGRE. Bitne izmjene, posebno u pogledu uvjeta dimenzioniranja sigurnosnih razmaka u glavi stupa te dimenzioniranja izolacije za zagađenu atmosferu, rezultirale su relativno dugim periodom izrade novog prijedloga propisa. Mađa je konačna verzija utvrđena tokom 1983. godine, daljnji problemi administrativne prirode odgodili su izdavanje novih propisa za kraj 1987. godine.

1.3.2. Pregled osnovnih zakona, pravilnika i standarda kojih se treba pridržavati prilikom projektiranja visokonaponskih vodova

1.3.2.1. Zakoni

- Zakon o izgradnji objekata (NN SRH, br. 52/81)
- Zakon o elektroprivredi (NN SRH, br. 6/83)
- Zakon o zaštiti prirode (NN SRH, br. 54/76)
- Zakon o zaštiti spomenika kulture (NN SRH, br. 7/76)
- Zakon o cestama (NN SRH, br. 29/84)
- Zakon o vodama (NN SRH, br. 32/84)
- Zakon o šumama (NN SRH, br. 54/83)
- Zakon o zaštiti na radu (NN SRH, br. 19/83)
- Zakon o zaštiti od požara (NN SRH, br. 50/77)
- Zakon o općenarodnoj obrani (Sl. list SFRJ, br. 21/82)
- Zakon o zračnoj plovidbi (Sl. list SFRJ, br. 23/78)
- Zakon o osnovama sigurnosti u željezničkom prometu (Sl. list SFRJ, br. 62/77)
- Zakon o osnovama sistema veza (Sl. list SFRJ, br. 24/74)
- Zakon o standardizaciji (Sl. list SFRJ, br. 38/77)
- Zakon o mjernim jedinicama i mjerilima (Sl. list SFRJ, br. 9/84)
- Zakon o prostornom planiranju i uređivanju prostora (NN SRH, br. 54/80)

1.3.2.2. Propisi

- Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova (Sl. list SFRJ, br. 51/73)
- Pravilnik o objektima koji su od važnosti za Republiku (NN SRH, br. 45/82)
- Pravilnik o posebnim uvjetima za izgradnju objekata i uređaja u zaštitnom pojasu željezničke pruge (NN SRH, br. 19/76)
- Odluka o određivanju objekata pri čijem se projektiranju, izgradnji, rekonstrukciji, odnosno ukidanju, demontiranju i stavljanju van upotrebe mora izvršiti prilagođavanje potrebama općenarodne obrane (Sl. list SFRJ, br. 35/83)
- Pravilnik o načinu i uvjetima određivanja zaštitnih zona u blizini radioprijemnih i radioodašiljačkih centara, te većih radiodifuznih stanica (Sl. list SFRJ, br. 4/83)
- Pravilnik o određivanju objekata za koje se obavlja kontrola tehničke dokumentacije (NN SRH, br. 36/83)
- Pravilnik o tehničkim normativima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V (Sl. list SFRJ, br. 4/74 i izmjene u Sl. listu SFRJ, br. 13/78)
- Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu elektroenergetskih postrojenja od prenapona (Sl. list SFRJ, br. 7/71 i izmjene od br. 44/76)
- Popis o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja (Sl. list SFRJ, br. 19/68)
- Pravilnik o zaštiti na radu pri korištenju električne energije (Sl. list SFRJ, br. 9/87)
- Pravilnik o tehničkim normativima za nosive čelične konstrukcije (Sl. list SFRJ, br. 61/86)
- Pravilnik o tehničkim propisima za tolerancije mjera i oblika kod nosivih čeličnih konstrukcija (Sl. list SFRJ, br. 41/64)
- Pravilnik o jugoslavenskim standardima za nosive čelične konstrukcije (Sl. list SFRJ, br. 17/87)
- Pravilnik o zaštiti na radu u građevinarstvu (Sl. list SFRJ, br. 42/68)
- Pravilnik o tehničkim mjerama i uvjetima za montažu čeličnih konstrukcija (Sl. list SFRJ, br. 29/70)
- Pravilnik o tehničkim mjerama i uvjetima za zaštitu čelične konstrukcije od korozije (Sl. list SFRJ, br. 32/72)
- Pravilnik o tehničkim propisima za pregled i ispitivanje nosivih čeličnih konstrukcija (Sl. list SFRJ, br. 6/65)
- Pravilnik o tehničkim mjerama i uvjetima za beton i armirani beton (Sl. list SFRJ, br. 11/87)
- Pravilnik o jugoslavenskim standardima za nosive čelične konstrukcije (Sl. list SFRJ, br. 9/80)
- Pravilnik o tehničkim normativima za projektiranje i izvedbu radova na temeljenju građevinskih objekata (Sl. list SFRJ, br. 34/74)
- Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima (Sl. list SFRJ, br. 31/81, 49/82, 29/83)

- Pravilnik o tehničkim mjerama i uvjetima za izvodjenje istraživačkih radova pri izgradnji velikih objekata (Sl. list SFRJ, br. 3/70)

1.3.2.3. Standardi

- Standardni naponi električnih mreža (JUS N.A 2.001)
- Koordinacija izolacije u visokonaponskim postrojenjima (JUS N.B0.030)
- Smjernice za koordinaciju izolacije u visokonaponskim postrojenjima (JUS N.B0 031)
- Alučelična užad za nadzemne vodove (JUS N.C1.351)
- E-ALMgl užad za nadzemne vodove (JUS N.C1.551)
- Čelična užad za nadzemne vodove (JUS N.C1.702)
- Elektroenergetski nadzemni vodovi. Izolatori za napone iznad 1 kV. Propisi za ispitivanje i preuzimanje (JUS N.F1.011)
- Izolatori za nadzemne vodove. Kapasti izolator K 170/280 (JUS N.F1.111)
- Izolatori za nadzemne vodove. Kapasti izolatori K 146/255 (JUS N.F1.112)
- Opći konstrukcioni čelici. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku (JUS C.B0.500)
- Čelični jednakokraki ugaonici sa zaobljenim rubovima - vruće valjani. Oblik i mjere (JUS C.B3.101)
- Čelični U-nosači - vruće valjani. Oblik i mjere (JUS C.B3.141)
- Vijci sa šesterostranom glavom za čelične konstrukcije. Oblik i mjere (JUS M.B1.068)
- Mehanička ispitivanja metala. Statička ispitivanja. Zatezanje i pritiskivanje. Definicije (JUS C.A4.001)
- Mehanička ispitivanja metala. Dinamička ispitivanja. Ispitivanja zamaranjem. Opća načela (JUS C.A4.035)
- Cement. Portland-cement. Portland-cementi s dodacima. Metalurški cementi. Pucolanski cementi. Definicije, klasifikacija, tehnički uvjeti (JUS B.C1.011)
- Valjana čelična žica za opću upotrebu i posebnu namjenu. Tehnički uvjeti za izradu i isporuku (JUS.C.BO.501)
- Ispitivanje betona. Epruvete (betonska tijela). Oblik mjere i dopuštena odstupanja (JUS.U.M1.004)
- Beton. Odredjivanje čvrstoće betonskih tijela pri pritisku izradjenih od svježeg betona (JUS U.M1 020)

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET
 ZAVOD ZA VISOKI NAPON I
 ENERGETIKU
 Z A G R E B — UNSKA ULICA 3
 Telefon: 514-811, 515-411

2. UTJECAJ OKOLIŠA NA PROJEKTIRANJE, GRAĐENJE I ODRŽAVANJE DALEKOVODA U POGONU

2.1. OPĆENITO O ODNOSU DALEKOVODA I OKOLIŠA

Jedna od bitnih karakteristika dalekovoda kao građevinskog objekta jest izrazito naglašen utjecaj različitih parametara i uvjeta okoliša na konačna rješenja, kako smještaja u određeni prostor, tako i izbora pojedinih komponenti konstruktivnog sustava.

Kakva će biti trasa dalekovoda ovisi prije svega o uvjetima koje nameću prijelazi preko i pokraj drugih objekata, konfiguracija tla, specifični zahtjevi različitih javnih institucija i sl. Uvjeti mehaničkog dimenzioniranja, pa time i izbor odgovarajućih rješenja stupova, temelja, konfiguracije raspona i sl. ovisit će o klimatskim uvjetima, geomehaničkim karakteristikama tla, uvjetima posebnih mjera zaštite na prijelazu i približavanju pojedinim objektima itd.

Međutim i sam dalekovod utječe u određenom smislu na okoliš u kojem se podiže, mijenjajući namjenu kultura na samoj trasi voda, mijenjajući izgled određenog prostora i unosenjem određenih, novih uvjeta korištenja tog prostora.

Davno je uočena ova međujovisnost odnosa dalekovoda i okoliša kroz koji prolazi pa je to pitanje, posebno sa sve većom industrijalizacijom, a i nuždom efikasnije zaštite čovjekove sredine, postalo predmetom vrlo ozbiljnih i kompleksnih studija u cijelom svijetu. To je npr. ponukalo i međunarodnu organizaciju CIGRE da organizira i poseban simpozij posvećen odnosu dalekovoda i okoliša /L2.1/.

Može se slobodno reći da se racionalnost izvedbe, pa i napredak koji je u dosadašnjem razvoju kod nas i u svijetu ostvaren, značajnim dijelom ogleda u efikasnosti rješenja odnosa dalekovoda i okoliša.

U razmatranju ovoga složenog pitanja moramo poći prije svega od specifičnih prilika razvoja tehnike gradjenja dalekovoda u našim uvjetima, od naših dosadašnjih iskustava i objektivnih mogućnosti unapređenja.

Napose, kada je riječ o utjecaju dalekovoda na okoliš (točka 2.4 ovog poglavlja) upute i prijedlozi određenih rješenja u skladu su s najnovijim nacrtom preporuka radne grupe WG 22-02 međunarodne organizacije CIGRE (L2.7) razmatranim na sastancima 1984. i 1985. u Parizu i Badenu, ali s jasno naznačenim odnosom naše prakse prema tim rješenjima. Na žalost, nisu rijetki slučajevi da se problem

utjecaja dalekovoda na okoliš promatra isključivo kroz pitanje tzv. vizualnog utjecaja, dakle isključivo u relacijama subjektivne percepcije dalekovoda u određenom prostoru. Cilj ovog poglavlja je između ostalog da ukaže na puno dublji i značajniji sadržaj pitanja odnosa dalekovoda i okoliša, ne zanemarujući pri tom ni one efekte koje u određenom smislu možemo smatrati perifernima.

2.2. IZBOR TRASE

Planom razvoja elektroenergetske mreže utvrđuje se potreba planiranja, izbora, osiguranja i izvedbe trasa visokonaponskih vodova.

Prilikom razradjivanja urbanističkih planova pojedinih područja i regija u pravilu se vrši i planiranje trasa elektroenergetskih vodova. Najčešće prijedlog trasa daju elektroprivredne organizacije dotične regije te se u okviru usuglašavanja s ostalim objektima određuje generalna trasa dalekovoda. Međutim, često se zbog neusaglašenosti svih sudionika u izradi planova, naknadnih potreba izgradnje dalekovoda u urbaniziranim i prigradskim naseljima, ili na područjima gdje ne postoje urbanistički planovi ukazuje potreba izbora trase dalekovoda.

Ipak, najčešće se na potrebu izbora trase ukazuje planom povezivanja odgovarajućih izvora električne energije (HE, TE, NE) s nekom postojećom ili budućom transformatorskom stanicom, planom postojeće ili buduće transformatorske stanice te izmjene i rekonstrukcije uvjetovane novonastalim prilikama ili potrebama na terenu.

Izbor trase u osnovi započinje obradom područja između početne i krajnje točke budućeg dalekovoda, koristeći raspoložive topografske karte makro područja buduće trase. U tom smislu potrebno je napomenuti da su unazad desetak godina u principu korištene karte mjerila 1:50 000 ili čak 1:100 000, dok su u posljednje vrijeme za veća područja SR Hrvatske izradjene specijalne karte, mjerila 1:25 000 i 1:5 000 koje se upotrebljavaju kao osnovne državne karte. Za pojedina gradska i prigradska područja postoje i karte povoljnijeg mjerila (1:2 000, 1:1 000, 1:500 i 1:200) te se u granicama raspoloživosti i upotrebljavaju.

Da bi se na vrijeme osigurali i ažurno održavali za praktične potrebe investitora i projektanata kompleti (atlas) upotrebljivih karata 1:25 000, praksa je u novije vrijeme da ovaj posao u ime investitora i u svoje ime obavlja projektna organizacija.

U pojedinim slučajevima, ako su dostupne, koriste se pri lokacijama trasa i aerofotogrametrijske snimke terena prikladnog mjerila (npr. 1:15 000). S obzirom na vrlo visoke investicijske troškove izgradnje i održavanja dalekovoda, dobro odabrana trasa može u znatnoj mjeri utjecati na njihove iznose, te pri izboru trase treba posvetiti maksimalnu pažnju, ne štedeći vrijeme na istraživanje trase jer se dobro odabrana trasa kasnije višestruko isplati.

Nije na odmet napomenuti da se u pojedinim slučajevima, naročito ako se radi o duljim trasama i nepristupačnijem terenu, višestruko isplati primijeniti nadlijetanje područja helikopterom, jer se u tom slučaju u relativno kratkom vremenu može pregledati vrlo široko područje, skupiti mnogo važnih informacija i s kasnijim pregledom karakterističnih mikrolokacija odrediti kvalitetnu trasu.

Prema raspoloživim informacijama troškovi korištenja helikoptera iznosili su oko 50 000 din/h (helikopteri SUP-a i JNA, prosječna cijena za 1983. godinu).

U daljnjem razmatranju valja se osvrnuti na najvažnije uvjete koji utječu na izbor trase.

Početna i krajnja točka dalekovoda s eventualnim raspletom vodova i generalnim smjerom trase razmatraju se u prvim kontaktima između predstavnika investitora i projektanta, a po potrebi konzultiraju se i ostale zainteresirane organizacije i ustanove.

Kod obrade područja kojim će prolaziti budući dalekovod projektanti i investitori trebaju obavezno posebnu pažnju posvetiti sljedećim karakteristikama promatranog terena:

- a) duljina trase
- b) postojeće ceste i pristupni putovi
- c) konfiguracija terena
- d) klimatski uvjeti
- e) geomehanički i hidrološki uvjeti
- f) kulture kojima je zemljište pokriveno
- g) naseljenost promatranog područja
- h) postojeći i planirani objekti.

a) Duljina trase

Dalekovod mora biti što je moguće kraći, jer je to skupa investicija. Teoretski bi to bio pravac koji spaja početnu i krajnju točku. Jasno je da je to neizvedivo, pa trasu treba položiti tako da se zadovolje svi ostali uvjeti.

b) Ceste i pristupni putovi

Trasu u pravilu treba položiti tako da bude lako pristupačna u bilo koje godišnje doba. Time se dobiva jeftinija i brža izgradnja, lakše održavanje i sigurniji pogon budućeg dalekovoda. Stoga pri odabiranju generalnog smjera treba nastojati voditi trasu, koliko god to prilike dozvoljavaju, uz glavne komunikacije i dobre pristupne putove.

c) Konfiguracija terena

Treba nastojati koristiti ravnije, a time i pristupačnije terene, što je jednako značajno za kontinentalne kao i za primorsko - dalmatinske krške terene. Izbjegavanjem istaknutih vrhova i znatnijih nadvišenja dobiva se sigurniji vod.

d) Klimatski uvjeti

Meteorološki podaci su po svojoj važnosti vrlo značajni pri odabiranju trase i kasnijem projektiranju dalekovoda. Područja kroz koja prolaze vodovi, a to naročito vrijedi za magistralne vodove zbog njihove duljine, mogu se s klimatskog gledišta jako razlikovati. Zbog toga je potrebno prikupiti podatke o brzinama i vrsti vjetrova te o učestalosti pojava zaledjivanja i veličini ledenog ovjesa. O realnim meteorološkim podacima ovisi ispravan izbor trase te uskladenost troškova izgradnje i sigurnosti projektiranog dalekovoda (mehaničko dimenzioniranje voda).

Gdje god je to moguće koriste se iskustva s već postojećih dalekovoda i vodova elektrovez, pa novu trasu treba nastojati položiti tim područjima.

e) Geomehanički i hidrološki uvjeti

Pri generalnom određivanju trase, a na osnovi geoloških karata područja buduće trase dalekovoda, utvrđuje se izvedivost trase s obzirom na evidentiranu strukturu tla, močvarna područja, podvodna zemljišta, naplavine, klizišta i sl. Ako se tom prilikom ustanovi da postoji sumnja u stabilnost i izvedivost trase po zamišljenoj generalnoj trasi, već tada, kao i prilikom mikrolokacije trase, potrebno je uključiti u rad odgovarajućeg stručnjaka iz područja geomehanike ili geologije.

f) Kulture kojima je pokriveno zemljište

Vodovi, a posebno oni viših napona i većih duljina, prolaze područjima koja su pod različitim kulturama. Sa stanovišta izgradnje i održavanja dalekovoda najinteresantija su šumska područja, velika poljoprivredna dobra sa svojim oranicama, plantažnim voćnjacima i vinogradima te površine privatnih poljoprivrednika pokrivene vrednijim kulturama (voćnjaci, vinogradi i sl.). Šumske površine prikazane na topografskim kartama u većini slučajeva odgovaraju stvarnom stanju na terenu (uzgoj šuma traje dugi niz godina), pa je ponekad moguće na karti odabrati trasu tako da se te površine izbjegnu ili ih se predje na užim dijelovima. No ima nemalo slučajeva gdje su šumske površine rasporedjene tako da bi njihovo obilaženje prouzrokovalo znatno produženje trase, pa se svjesno trasa polaže preko tih površina. U većini slučajeva ovako položena trasa izaziva velik otpor šumskih gospodarstava i iziskuje znatna novčana sredstva za šumske odštete kao i kasnije troškove održavanja šumskih koridora i šumskog reda.

U praksi se šumski prosjeci izvode tako da su njihove širine jednake dvostrukoj visini stabala uvećanoj za širinu stupa, što ovisno o visini stabala i karakteristikama dalekovoda, iznose između 10 i 80 m.

Posebno je pitanje šuma osjetljivo u primorsko dalmatinskom pojasu gdje je svako stablo zapravo neprocjenjive vrijednosti.

Veliki kompleksi poljoprivrednih površina industrijsko-poljoprivrednih kombinata predstavljaju daljnju poteškoću pri izboru trase na topografskoj karti. Položaji njihovih površina nisu točno poznati, dosta se brzo razvijaju i po veličini i po načinu obrade. Ti se kompleksi obrađuju strojevima, a vrlo često se prihranjuju i zaštićuju prskanjem iz aviona. Da bi to, kako poljoprivrednici kažu, "aviotretiranje zemljišta" bilo efikasno, avioni moraju letjeti na vrlo malim visinama, ispod 10 m pa je stoga razumljivo zbog čega je prisustvo dalekovoda kao visoke i opasne zapreke na takvim površinama nepoželjno. Sami stupovi otežavaju i mehaničku obradu zemljišta.

Usput spomenimo da se obradive površine preko kojih prelaze već postojeći dalekovodi ipak zaprašuju, dakako uz povećan oprez i teškoće. Budući da se pri tom upotrebljavaju razna kemijska sredstva interesantno je ispitati njihovo djelovanje na vodove.

Već su spomenute poljoprivredne površine u privatnom vlasništvu pokrivene vrednijim kulturama (vinogradi, voćnjaci). Njih je u ovoj fazi rada teže predvidjeti. Tu jedino preostaje da se trasu odmakne dalje od seoskih okućnica jer se na njima skoro uvijek nalaze voćnjaci. Na primorsko-dalmatinskim terepima poseban su problem maslinici i površine obrasle bademima, višnjama i trešnjama te vinogradi.

Ovisno o veličini, kvaliteti i starosti voćnjaka te mogućem tehničkom rješenju potrebno je trasu izvesti tako da štete po mogućnosti budu minimalne.

g) Naseljenost promatranog područja

Polaganje trase kroz naseljena područja treba u pravilu izbjegavati. U slučaju da nema drugoga tehničkog i ekonomskog rješenja potrebno je posvetiti punu pažnju mikrolokaciji trase, sve detalje uskladiti s nadležnim urbanističkim organima i na vrijeme riješiti imovinsko pravne odnose.

h) Postojeći i planirani objekti

Trasu dalekovoda, kao i kasnije mikrolokacije stupova i detalje prijelaza već postojećih te planom predviđenih objekata za koje postoji odgovarajuće rješenje, treba uskladiti s važećim "Pravilnikom o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova" (Sl. list SFRJ, br. 51/73), kao i s posebnim zahtjevima nadležnih ustanova i organizacija.

U VIII. poglavlju spomenutog pravilnika obrađeni su odnosi dalekovoda i pojedinih objekata, tj. zadani su detalji prijelaza vodova i njihovog približavanja raznim objektima.

Uzimajući u obzir sve dosad rečeno, treba ipak nastojati da na trasi bude što manje jakih lomova i kratkih pravaca jer to poskupljuje vod. Treba također nastojati da se duljine pravaca usklade s dozvoljenim maksimalnim duljinama zateznih polja, koja u pravilu ne treba da iznose više od 8 km.

Uvažavajući uvjete prijelaza i približavanja postojećim i planiranim objektima investitor uz projektanta pokušava odabrati optimalnu trasu. Trasa se prethodno orijentaciono ucrtava na raspoloživu topografsku kartu a zatim se odgovarajućim prijevoznim sredstvom vrši prvi obilazak trase.

Svrha je takvog obilaska da se provjere sve pretpostavke uzete pri razmatranju i ucrtavanju trase na topografskoj karti te da se obilaskom odabranog terena steknu nova saznanja o prilikama i detaljima na tom području, koji bi bili interesantni pri projektiranju, izgradnji i eksploataciji budućeg dalekovoda.

Snimanje trase obično započinje na početnoj točki dalekovoda gdje se utvrdi mjesto vodnog polja postojeće ili novo predviđenoga, i gdje će se mikrolocirati prvi stup, vodeći računa o raspletu vodova. Odgovarajućim prijevoznim sredstvom, kako bi mogli što bolje pregledati odabrani teren, prati se zacrtana trasa. Tom prilikom pažnju treba usmjeriti na sve interesantne detalje koji nisu mogli biti zapaženi pri odabiranju trase na topografskoj karti, a to znači: u kakvom su stanju ceste i putovi u blizini trase, idu li uz te ceste linije elektrovezova paralelno s našom trasom i na kojoj su udaljenosti.

Usput se registrira vrsta telekomunikacijskih linija (je li to visokofrekventna linija ili pretplatnička, koliko ima žica, kakvi su kutovi križanja).

Ako su telekomunikacijske linije u zonama utjecaja ili je kut križanja nepovoljan, manji od 45° , razmatra se eventualno mogućnost izmicanja TT linija ili izmjene pravca trase.

Dobivajući uvidajem položaj telekomunikacijskih linija u odnosu na predviđenu trasu projektant treba da približnim proračunom ustanovi iznos smetnje, a ako je poznata i očekivana struja jedopolnoga kratkog spoja vrlo jednostavno se korištenjem nomograma međuinuktiviteta, specifičnog otpora tla i udaljenosti trase dalekovoda od telekomunikacijske linije može odrediti i iznos opasnosti od magnetskog polja dalekovoda. Ako trasa dalekovoda nije određena nekim drugim uvjetima može se već tom prilikom izvršiti korekcija trase u cilju smanjenja utjecaja budućeg dalekovoda na telekomunikacijske linije.

Prateći trasu budućeg dalekovoda evidentira se prisustvo novih naselja, putova, kanala. Nadalje, promatra se na kakve kulture nailazi odabrana trasa i ima li šumskih površina. Ako ih ima tada ih treba registrirati, pa ako odabrana trasa prelazi preko njih razmatra se mogućnost usklađivanja odnosa trase i šuma.

Rekli smo da se zbog brže i ekonomičnije izgradnje te kasnijeg nadzora i održavanja trasa dalekovoda nastoji položiti što bliže dobrim cestama i putovima. Budući da su naselja, sela i zaseoci upravo na tim saobraćajnicama i njima su povezana, trasu na topografskoj karti treba nastojati položiti slobodnim prostorom, zaobilazeći koliko je to moguće naseljena mjesta. To uvijek nije moguće i zato se prilikom obilaska terena provjerava ima li dovoljno slobodnog prostora za prolaz budućeg dalekovoda kroz naselje na koje se trasom nailazi.

Potrebna širina slobodnog prostora za 110 kV dalekovoda ovisi o obliku i vrsti stupova. Ona se kreće od oko 15 do 25 m (misli se na širinu stupa uvećanu za po 5 m sa svake strane stupa, što je u skladu s članom 114. navedenog Pravilnika koji takav slučaj prolaza između zgrada u naselju ne smatra prijelazom preko zgrade). Ako takav slobodan prostor ne postoji, treba se odlučiti, ili obići zapreku (naseljeno mjesto) i time izlomiti i produžiti trasu, ili ići preko postojećih objekata unaprijed svjesni mogućih komplikacija (imovinsko pravni odnosi, smetnje itd.). I jedna i druga varijanta poskupljuju troškove izgradnje.

U toku snimanja terena pažnju valja usmjeriti i na već postojeće dalekovode pa odmah na licu mjesta načelno treba raspraviti i sagledati probleme križanja promatrane trase s postojećim dalekovodom.

Ako trasa prelazi veće rijeke, mjesto predividenog prijelaza treba pregledati što je moguće detaljnije. Gotovo redovito na tim prijelazima rijeke nisu regulirane, a inundaciono područje zna biti vrlo široko. Zbog toga se i trud uložen u pronalazjenje najpovoljnijeg prijelaza uvijek isplati (skupa temeljenja u inundaciji, visoki stupovi zbog plovnosti, otežana montaža i sl.).

Naftonosna polja, rudarska područja, veća stovarišta kamenog i zemljanog materijala, vinogradarske i voćarske površine, uređaji za bežične komunikacije (radiotelevizijske, vojne, poštanske), intenzivna izgradnja i proširenje naselja naročito u blizini većih mjesta, izgradnja vikend-naselja u primorskom pojasu i na otocima, maslinici i nove šumske površine sve češće prisiljavaju da trasu projektiranu na topografskoj karti treba znatno korigirati prema stvarnom stanju na terenu. Kako vrijeme odmiče, te su korekcije sve veće. Razumljivo je da se ove izmjene odnose na pojedine dionice zacrtane trase, ne dirajući njen generalni smjer.

Prilikom obilaska dijelova trase položenih u područjima s težim klimatskih uvjetima (značajniji vjetrovi i pojave zaleđivanja) dobro je prikupiti informacije od mjesnog stanovništva, jer će ti podaci korisno poslužiti i u ovoj fazi rada (even-

tualne korekcije pojedinih pravaca), a i kasnije pri projektiranju kao nadopuna službenih meteoeroloških podataka.

Iz dosad rečenoga vidi se da je prvo snimanje terena opsežan, naporan i važan posao. Stoga ga treba obaviti temeljito i bez žurbe.

Iskustvo je dalje pokazalo da svaki ponovni obilazak trase rezultira novim saznanjima, a što je više tih saznanja trasa će biti bolje odabrana pa će kasnije prilikom traženja uvjerenja o uvjetima uređenja prostora biti manje iznenađenja i zapreka.

Zato je "štednja" na izlascima na teren zapravo gubljenje i vremena i novca. Dobro je, a to redovito treba i činiti, da se već kod prvog obilaska terena uspostave kontakti s ustanovama i drugim organizacijama koji bi mogle biti zainteresirane u tom poslu (općinske skupštine, šumska gospodarstva, industrijsko-poljoprivredni kombinati, vodoprivredne zajednice, urbanistički zavodi). Rezultati tih kontakata uvijek korisno posluže pri usklađivanju trase i donošenju prijedloga trase.

Smatramo korisnim spomenuti potrebu sastavljanja zapisnika o lokaciji trase u kojima su navedeni odgovarajući detalji i podloge za kasnije projektiranje, budući da se iz topografskih karata s ucrtanim prijedlogom trase mnogi detalji ne mogu sagledati.

Konačni izbor trase predstavlja redovno kompromisno rješenje između različitih, često puta oprečnih, parcijalnih interesa, pri čemu projektant mora imati na umu širi društveni interes. Mora se također voditi računa i o činjenici da u ovom poslu projektant zastupa interese elektroprivrede, što između ostalog znači obavezu da se svim sudionicima u izboru optimalne trase ukaže na svrhu, važnost i društvenu opravdanost izgradnje određenog voda.

Locirana trasa dalekovoda u stvari predstavlja prijedlog i podlogu na osnovi koje u skladu sa Zakonom o izgradnji objekata (Narodne novine SRH, br. 528/80) nadležni općinski organ treba da izda uvjerenje o uvjetima uređenja prostora, a odgovarajući savezni organi (Savezni komitet za saobraćaj i veze, Republički sekretariat za narodnu obranu) treba da izdaju svoje suglasnosti.

Tek kada su prikupljeni navedeni uvjeti i suglasnosti može se pristupiti terenskim radovima na trasi, odnosno može se reći da je odabrana trasa dalekovoda. Često puta, a u pravilu bi trebalo da se uvijek tako radi, bilo bi potrebno ne određivati i tražiti suglasnosti odnosno uvjete za trasu nego za koridor voda, budući da se pod trasom podrazumijeva linija koju je prilikom kasnijih terenskih radova na snimanju trase vrlo teško ostvariti. Više o koridoru voda navedeno je u točki 2.4.1.1.

Izložena procedura izbora trase predstavlja uobičajeni postupak u jugoslavenskim uvjetima, a karakterizira ga odsustvo mogućnosti konkretnije valorizacije varijantnih rješenja, što je inače tendencija, pa i praksa u razvijenijim zemljama. Takvi postupci optimizacije trase zasnivaju se na, u biti, vrlo jednostavnom načinu obrade šireg područja moguće trase voda u kome se svaka kultura tla, svaki objekt ponderira određenim stupnjevima težine, odnosno vrednuje se cijena prijelaza dalekovoda preko svih čestica u tom prostoru. Pretpostavka za takvu objektivizaciju postupka optimizacije izbora trase voda je stabilan i jednoznačan pristup rješavanju pitanja izbora trase i mogućnost valorizacije svakog odnosa dalekovoda i okoliša.

2.3. KLIMATSKI UVJETI

2.3.1. Klimatski uvjeti za projektiranje prema zakonskoj regulativi

Propisi za projektiranje visokonaponskih vodova definiraju minimalne klimatske uvjete koji treba da budu zadovoljeni pri projektiranju.

U tom smislu određeno je sljedeće:

2.3.1.1. Temperatura

Temperature propisane Pravilnikom služe za mehaničke proračune vodiča i zaštitnih užadi, i to su kako slijedi:

- | | |
|---|--------|
| a) minimalna | - 20°C |
| b) maksimalna | + 40°C |
| c) temperatura pri kojoj je dodatni teret na vodu | - 5°C |

a) Minimalna temperatura

Prema podacima Hidrometeorološkog zavoda SRH zabilježen je apsolutni minimum od - 34,2°C (17. veljače 1956, Gračac), dok je u većini krajeva SRH minimalna temperatura oko -20°C, a na priobalnom području i viša (oko -10°C). Ako se uzme u obzir da za najčešće primjenjivani vodič 110 kV mreže (Al/Č uža 240/40 JUS.N.C1.351), uobičajene raspone i dodatne terete horizontalne komponente naprezanja kod -20°C iznose oko 20-70 % od iznosa maksimalnih radnih napreza- nja, a budući da uobičajeni rasponi na 110 kV vodovima u pravilu znatno veći od kritičnih raspona, to se propisivanjem temperature od -20°C za minimalnu temperaturu ostvaruje dovoljna mehanička sigurnost užadi i kod izuzetno niskih temperatura.

b) Maksimalna temperatura

Kao što je već navedeno propisana maksimalna temperatura za proračune užadi iznosi $+40^{\circ}\text{C}$. Iako propisi ne navode decidirano o kojoj se temperaturi radi, nema nikakve sumnje da je to temperatura užadi, jer se jedino u tom slučaju mogu korektno izvršiti mehanička dimenzioniranja i montaža užadi.

Treba napomenuti da propisi posebnim članom dopuštaju da se vodiči zbog zagrijavanja strujom smiju zagrijati do 80°C te da se pri tom računa s temperaturom okoliša od 40°C . Netom navedeno na neki je način u koliziji s maksimalnom temperaturom vodiča od $+40^{\circ}\text{C}$, s obzirom da se pri višim temperaturama postižu i veći provjesi, a time bi u određenim uvjetima mogli doći u pitanje sigurnosni razmaci između vodiča u rasponu i obližnjih objekata.

Maksimalni iznosi provjesa vodiča nastupit će ovisno o vrsti vodiča i naprezanja kod maksimalnih računskih temperatura ili kod temperature -5°C s normalnim dodatnim teretom.

Kritične temperature za najčešće primjenjivane vodiče na 110 kV mreži, ovisno o maksimalnom radnom naprezanju i dodatnom teretu, navedene su u tabl.2.1.

Tablica 2.1.

Kritične temperature najčešće primjenjivanih vodiča

U ž e	Naprezanje (N/mm^2)	Faktor dodatnog tereta	Kritična temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
Al/Č 240/40	95	1,0	25
	95	2,5	39
	95	4,0	45
	50	1,0	11
	50	4,0	22
Al/Č 150/25	95	1,0	31
	95	1,6	38
	95	4,0	49
	50	1,0	14
	50	4,0	24

Kod užadi gdje su maksimalne temperature vodiča veće od kritičnih, maksimalni provjesi na vodu bit će pri maksimalnim temperatura. Ako se uzme u obzir da su normalni dodatni tereti na većini vodova u SR Hrvatskoj od 1,0 do 2,5 0.18-d kg/m to ukazuje da su u normalnim klimatskim prilikama maksimalni provjesi pri maksimalnim temperaturama.

U slučaju vodova koji su jako opterećeni, temperatura vodiča iznosi 80°C (temperatura okoliša i nadtemperatura zbog zagrijavanja strujom), povećanje provjesa vodiča od 40°C do 80°C za uobičajene vodiče i raspon od 300 m (za naprezanja 95 i 75 N/mm²), odnosno 100 m (za naprezanja 50 N/mm²) prikazano je u tabl.2.2.

Iz navedenog pregleda evidentno je da su provjesi kod +80°C u odnosu na + 40° C osjetno veći. Apsolutne razlike su to veće što je veći presjek i naprezanje. Medjutim, propisima je ipak određena maksimalna temperatura do + 40°C, jer se smatra da kod ispravno izgrađenog voda i uz korektno izvedenu montažu postoji vrlo mala vjerojatnost da će se istodobno dogoditi najnepovoljniji uvjeti koji bi mogli dovesti u pitanje osiguranje minimalnih sigurnosnih razmaka, odnosno da istodobno dode do:

- vrlo visokog strujnog opterećenja voda
- temperature okoliša +40°C
- uvjeta bez i malo vjetra
- križanja s objektom na mjestu najnepovoljnijeg provjesa.

Tablica 2.2.

Povećanje provjesa užeta pri temperaturi od 40 do 80°C

U Ž E	Raspon (m)	Naprezanje (N/mm ²)	Faktor dodatnog tereta	Povećanje provjesa (m)
Al/Č 240/40	300	95	1,0	1,45
		95	1,6	1,25
		75	1,0	1,2
	100	75	1,6	1,0
		50	1,0	0,7
		50	1,6	0,6
Al/Č 150/25	300	95	1,0	1,30
		95	1,6	1,0
		75	1,0	1,5
	100	75	1,6	0,8
		50	1,0	0,6
		50	1,6	0,5

U postojećoj praksi projektiranja dalekovoda na većini vodova u SR Hrvatskoj računato je s maksimalnim temperaturama od $+40^{\circ}\text{C}$, dok se na pojedinim objektima, prije svega u Primorju i Dalmaciji, i to na kraćim vodovima koji su povezivali izvore s glavnim elektroenergetskim čvorištima na tim područjima ili pak jake potrošače, računalo s temperaturama do $+80^{\circ}\text{C}$. Za slučajeve računanja s višim temperaturama od $+40^{\circ}\text{C}$ posebno bi se projektnim zadatkom određivala potrebna temperatura.

Smatra se da je takva praksa sasvim ispravna, jer iskustva kojima se raspolaže ukazuju da u slučaju korektne izvedbe voda posebnih problema vezanih uz ovu problematiku nije bilo.

Samo za usporedbu navodi se da se maksimalna temperatura od $+40^{\circ}\text{C}$ primjenjuje u Njemačkoj, Nizozemskoj, Belgiji, Švicarskoj, Poljskoj, dok u Vel. Britaniji iznosi $+50^{\circ}\text{C}$.

c) Temperatura dodatnog tereta

Za temperaturu dodatnog tereta od inja, snijega ili leda propisima je navedena temperatura od -5°C . Na toj temperaturi smatra se da nastupaju pretpostavljeni normalni i izuzetni dodatni tereti.

2.3.1.2. Dodatni teret

Kod mehaničkih proračuna užadi pretpostavlja se da su na užadi dodatni tereti od inja, snijega ili leda koji uzrokuju dodatno vertikalno opterećenje.

Propisi razlikuju normalni i izuzetni dodatni teret užadi. Normalni dodatni teret služi pri mehaničkim proračunima za određivanje maksimalnih radnih naprezanja, ako se radi o rasponima koji su veći od kritičnih, dok izuzetni služi za kontrole izuzetnih naprezanja užadi. U osnovi oba se dodatna tereta utvrđuju prema prilikama na trasi.

Za projektiranje nadzemnih vodova propisima su preporučeni sljedeći iznosi dodatnih tereta:

a) Normalni dodatni teret

Potrebno je računati s najvećim dodatnim teretom koji se na promatranoj trasi ili karakterističnom dijelu trase pojavljuje prosječno svakih 5 godina, s tim da njegova masa nije manja od:

$$g = 0,18\sqrt{d} \quad [\text{kg/m}],$$

pri čemu je d promjer užeta (mm).

Pri dimenzioniranju vodova većina elemenata dimenzionira se u odgovarajućem odnosu prema maksimalnom radnom naprezanju, koje je ustvari normalno dopušteno naprezanje, a ne smije se prekoračiti uz normalne uvjete, tj kod -5°C s normalnim dodatnim teretom i -20°C bez dodatnog tereta.

Navedeno maksimalno radno naprezanje ovisno o veličini raspona ili idealnog raspona promatranog zateznog polja bit će kod -20°C za raspone koji su manji od kritičnoga, odnosno kod -5°C s normalnim dodatnim teretom za raspone veće od kritičnoga. Pregled kritičnih raspona za najčešće primjenjivanu užad na 110 kV vodovima prikazan je u tablici 2.3.

Budući da su rasponi na 110 kV vodovima u pravilu veći od izračunatih kritičnih raspona (izuzetak čine pojedini priključni rasponi i pojedini kratki rasponi između dva zatezna stupa) maksimalna radna naprezanja nastupaju kod -5°C s normalnim dodatnim teretom.

Za procjenu izbora dodatnog tereta u pravilu se koriste podaci prikupljeni od hidrometeorološke službe, a s obzirom na specifičnost mehaničkih dimenzioniranja nadzemnih vodova neobično su važna za izbor odgovarajućega dodatnog tereta i iskustva stečena eksploatacijom postojećih susjednih nadzemnih elektroenergetskih vodova i telekomunikacijskih linija. Budući da su projektirane trase visokonaponskih vodova, naročito 110 kV i viših napona, izvan naseljenih područja, za izbor ispravnog dodatnog tereta bitne su i informacije stanovnika uz trasu, podaci o oštećenjima na drveću i sl.

S obzirom na specifičnost klimatskih područja u SFRJ, propisima su navedeni iznosi normalnih dodatnih tereta s kojima u pravilu treba računati:

1,0 g
1,6 g
2,5 g
4,0 g

Tablica 2.3.

Pregled kritičnih raspona

U Ž E	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Faktor dodatnog tereta	Kritični raspon (m)
Al/Č 240/40	95	1.0	144
	95	1.6	105
	75	1.0	113
	75	1.6	83
	50	1.0	76
	50	1.6	55
Al/Č 150/25	95	1.0	112
	95	1.6	80
	75	1.0	89
	75	1.6	63
	50	1.0	59
	50	1.6	42
AlMg1E/Č 95/55	140	1.0	129
	140	1.6	92
	110	1.0	101
	110	1.6	72
	80	1.0	73
	80	1.6	50

Može se konstatirati da su u SR Hrvaskoj u proteklom periodu vodovi po pojedinim trasama ili dionicama trasa dimenzionirani za navedene dodatne terete, pa čak na pojedinim dionicama u Gorskom kotoru dimenzioniranja su izvršena za normalne dodatne terete 6,0 g.

Smatra se potrebnim napomenuti da u SR Hrvatskoj ne postoji odgovarajuća mreža hidrometeoroloških stanica koje bi mogle pružiti referentne podatke za izbor dodatnih tereta. U posljednjih nekoliko godina Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske i Elektroprenos - Opatija postavili su na trasi budućeg DV 400 kV Melina - Zagreb, dionica Melina - Vrbovsko tri meteorološke stanice, čiji bi rezultati mjerenja, paralelno s izvedenim profilnim mjerenjima duž trase pomoću pokretne meteorološke stanice (mjerenja u odgovarajućim periodima nepovoljnih vremenskih prilika), trebali dati pouzdane klimatske parametre za dimenzioniranje dalekovoda.

Smatra se nužnim proširiti mrežu meteoroloških stanica na odgovarajućim lokacijama budućih trasa dalekovoda za koje se ne raspolaže odgovarajućim parametrima.

b) Izuzetni dodatni teret

Izbor izuzetnih dodatnih tereta u pravilu je vezan s izborom normalnoga dodatnog tereta. Prema našim propisima iznos izuzetnoga dodatnog tereta treba da se dobije na osnovi dodatnog tereta koji se na promatranoj trasi pojavljuje prosječno svakih 20 godina. Budući da ne postoje odgovarajući podaci propisi su ostavili mogućnost izbora izuzetnoga dodatnog tereta, vežući ga za iznos normalnoga dodatnog tereta, odnosno izuzetni dodatni teret ne smije biti manji od dvostruke vrijednosti normalnog dodatnog tereta.

Za uobičajenu užad 110 kV vodova u tablici 2.4. navodimo pregled nekih izuzetnih dodatnih tereta kod dvostrukih vrijednosti normalnih dodatnih tereta u usporedbi s dodatnim teretima od pritiska vjetra na nezaleđjenu užad.

Tablica 2.4

Usporedba izuzetnih dodatnih tereta od leda i vjetra

Uže	Faktor normalnog dodatnog tereta	Pritisak vjetra (N/m^2)	Uže s izuzetnim dodatnim teretom od	
			leda (N/m)	vjetra (N/m)
Al/Č 240/40	1,0	1 100	26,71	26,03
	1,0	1 300	26,71	30,13
	1,6	1 300	36,83	30,13
	1,6	1 500	36,83	34,30
Al/Č 150/25	1,0	1 100	20,93	19,76
	1,0	1 300	20,93	23,04
	1,6	1 300	29,87	23,04
	1,6	1 500	29,87	26,35
AlMg1E/Č	1,0	1 100	21,48	18,97
	1,0	1 300	21,48	21,97
	1,6	1 300	30,12	21,97
	1,6	1 500	30,12	25,02

Iz prikazanih usporedbi izuzetnih dodatnih tereta od leda i pritiska vjetra na nezaleđjenu užad vidi se da su izuzetni dodatni tereti od pritiska vjetra na nezaleđjenu užad mjerodavni kod manjih normalnih dodatnih tereta i slučajeva pritiska vjetra od $1\,300\text{ N/m}^2$ i viših.

c) Djelovanje vjetra na zaleđjenu užad

Važećim propisima nisu tretirani uvjeti opterećenja kombiniranim djelovanjem

vjetra na zaledjenu užad. Propisi određuju da se za područja gdje su rezultante od pritiska vjetra na nezaledjenu užad veće od težine užad s izuzutnim teretom treba za izuzetni dodatni teret uzimati veći iznos.

Medjutim, dosadašnja iskustva u eksploataciji, posebno vezana za havarije većih razmjera, nedvosmisleno ukazuju na činjenicu da postoji određena koincidencija pojava vjetra i zaledjivanja s kojom se na pojedinim područjima, u svrhu postizanja adekvatne mehaničke sigurnosti voda, mora računati.

U nedostatku bilo kakvih pouzdanih podataka za pojedine vodove kontrola opterećenja stupova radila se tako da se 70 %-tno vjetrovno opterećenje računalo na površinu vodiča pretpostavljeno normalno dodatno opterećenje ledom. Mora se istaći da se i u široj, međunarodnoj, praksi gradnje dalekovoda projektanti susreću s problemom neadekvatnih podataka i mjerenja na ispitnim stanicama ili vodovima, iako bi se na osnovi točnijih podataka pouzdanije mogli utvrditi parametri istodobnog djelovanja leda i vjetra na dalekovode. Zbog toga je u okviru šire akcije na definiranju svih relevantnih uvjeta mehaničkog opterećenja dalekovoda Međunarodna elektrotehnička komisija (IEC) predložila pojednostavnjenu statističku metodu baziranu na nezavisnom promatranju triju osnovnih parametara:

- težina leda na užadi
- oblik ledenog omotača
- brzina vjetra

Kombinacija tih parametara utvrđuje se tako da se uvijek odabere mala vjerojatnost jednog i velika vjerojatnost pojave ostalih dvaju parametara.

Podloga za utvrđivanje tih odnosa je odnos prisutnih perioda male i velike vjerojatnosti prema prijedlogu navedenom u tabl. 2.5.

Tablica 2.5.

Vjerojatnost prekoračenja opterećenja

	Klasa sigur- nosti	Povratni period godine	Vjerojatnost prekoračenja opterećenja za period eksploatacije voda (približno 50 godina)
Mala vjerojatnost za maksimalnu vrijednost jedne varijable	1	50	65 %
	2	150	30 %
	3	500	10 %
Velika vjerojatnost za maksimalnu vrijednost jedne varijable	1	3	100 %
	2		
	3		

Detalji načina utvrđivanja iznosa pojedinih parametara dani su u IEC dokumentu 11-36; dio 3 - opterećenja vjetrom i ledom. Naznačene klase sigurnosti jednake su kao i u ostalim dokumentima IEC-a vezanim za mehanička opterećenja dalekovoda i treba da se dovedu u vezu s mjestom i ulogom određenog voda u elektroenergetskom sistemu.

Povratni periodi za odgovarajuće klase sigurnosti ne mogu se dovesti u direktnu vezu s konvencionalnim postupkom određivanja opterećenja ledom i vjetrom.

Postupak koji predlaže IEC za kombinirano djelovanje leda i vjetra može se objasniti primjerom u kome se pretpostavlja da smo za led odabrali upravo maksimalnu pretpostavljenu projektnu vrijednost, npr. za povratni period od 50 godina, a za vjetar vrijednost koja odgovara trogodišnjem povratnom periodu.

Parametar oblika ledenog omotača ovdje je u stvari određen koeficijentom djelovanja vjetra na vodiče. Uzima se vrijednost koja odgovara prosječnim, a ne iznimnim, najnepovoljnijim uvjetima zaledjivanja. Prema preporukama IEC-a faktor oblika za iznimne uvjete bio bi za 40 % veći nego za prosječne.

2.3.1.3. Vjetar

Pritisak vjetra na elemente nadzemnog voda računa se kao umnožak površine promatranog elementa, tlaka vjetra, koeficijenta djelovanja vjetra za konkretni element i sinusa djelujućeg kuta, odnosno:

$$P = A \cdot p \cdot c \cdot \sin \alpha \quad [N],$$

gdje je

A	-	površina (m ²)
p	-	tlak vjetra (N/m ²)
c	-	koeficijent djelovanja vjetra
α	-	kut pod kojim vjetar djeluje na promatrani element (°)

Kod određivanja površine objekta računa se sa stvarnom nezaledjenom površinom izloženom vjetru. Za cilindrične objekte uzima se projekcija nezaledjene površine, a za rešetkaste konstrukcije samo površina okrenuta vjetru.

Utvrđivanje brzine vjetra odnosno odgovarajućeg tlaka određuje se za promatranu trasu ili dionicu trase prema tlaku vjetra koji se pojavljuje prosječno svakih 5 godina, a za vodove napona 400 kV i u duljem periodu.

Kao i pri izboru dodatnih tereta podatke o brzini vjetra odnosno tlakovima vjetra prikuplja hidrometeorološka služba i daje na korištenje investitorima ili projektantima u obradenoj formi (preporuka tlaka vjetra) ili kao statistički pregled brzina vjetra u pojedinim razdobljima (godine, mjeseci).

Tlak vjetra (N/m^2) na osnovi referentne brzine vjetra za promatrano područje određuje se prema:

$$p = \frac{v^2}{1.6} \quad [\text{N/m}^2]$$

gdje je v - brzina vjetra (m/s)

Najčešći je slučaj da se za trase, naročito one na terenima gdje su intenzivni vjetrovi, ne raspolaže referentnim podacima o brzinama vjetra, jer na trasi budućega nadzemnog voda ili u njezinoj blizini ne postoje meteorološke stanice. Za takve vodove investitori i projektanti, u suglasnosti s meteorološkim stručnjacima, procjenjuju potrebne parametre.

Propisima se određuju tlakovi vjetra za osnovnu visinsku zonu koja obuhvaća prostor od tla do 40 m iznad zemlje. Kod toga je za užad mjerodavna visina točke ovješnja, a za ostale elemente dalekovoda njihov stvarni položaj iznad tla. Pregled propisanih tlakova vjetra dan je u tabl. 2.6.

Minimalan iznos tlaka vjetra prema važećim propisima za osnovnu visinsku zonu iznosi 600 N/m^2 , odnosno za vodove čija je ukupna visina do 15 m iznad tla dozvoljava se dimenzioniranje za tlak vjetra od 500 N/m^2 .

Propisima je određen red standardnih tlakova vjetra koji za visinsku zonu 0-40 m iznose:

600, 750, 900, 1 100 i 1 300 (N/m^2).

Ovisno o visini nadzemnog voda iznad tla propisi određuju odgovarajuće tlakove vjetra uvažavajući navedene uvjete za vodove unutar zone 0-15 m, kao i tlakove vjetra za dimenzioniranje dijelova vodova koji se nalaze u zoni 40-80 m.

Tablica 2.6.

Propisani tlak vjetra

Visinska zona voda	Tlak vjetra (N/m^2)				
osnovna visinska zona 0-40 m iznad zemlje	600	750	900	1 100	1 300
dijelovi voda u zoni između 40 i 80 m iznad zemlje	750	900	1 100	1 300	1 500
vod do 15 m iznad zemlje	500	600	750	900	1 100

Kod prijelaza dubokih dolina propisima je napomenuto da treba uzeti u obzir posebne uvjete strujanja zraka koja bi mogla ugroziti vod, odnosno osjetno smanjiti njegovu pogonsku sigurnost.

U praksi se najčešće ne raspolaže rezultatima mjerenja u takvim udolinama, već se najčešće za takva evidentirana mjesta prilikom dimenzioniranja voda odabire za stupanj viši tlak vjetra.

Pri dimenzioniranju elemenata nadzemnih vodova opterećenja od vjetra na promatrani element dobivaju se korištenjem odgovarajućeg koeficijenta djelovanja vjetra koji uzima u obzir učinak vjetra na tlak i usisavanje.

Koeficijenti djelovanja za pojedine elemente nadzemnog voda iznose:

a) Stupovi

- četverokutni presjek	1,4
- šesterokutni ili osmerokutni presjek	1,0
- okrugli	0,7
- dvostruki, četverokutnog presjeka za vjetar u smjeru ravnine koja prolazi kroz obje osi stupa (ako je razmak osi manji od dvostruke strane presjeka)	2,0
- dvostruki, okruglog presjeka za vjetar u smjeru ravnine koja prolazi kroz osi stupova (ako je razmak osi manji od dvostrukoga)	
- za četverokutne od cijevi	2,0
- za trokutne rešetkaste stupove od profilnog čelika	2,8

b) Užad

- za vodiče i zaštitnu užad	1,0
-----------------------------	-----

Napominjemo da se kod proračuna užadi uvijek za koeficijent djelovanja uzima $c=1,0$, a smjer i djelovanje vjetra okomito na užad. Poznato je da je koeficijent ovisan o promjeru užadi, brzini vjetra i rasponu, te je stvarni koeficijent za užad većeg promjera nešto manji od 1,0. Budući da smjer vjetra i jednolikost vjetra po rasponu nisu konstantni upravo se kod važnijih vodova izborom navedenih uvjeta postiže povećana pogonska sigurnost.

2.3.2. Mjerenje i obrada meteoroloških podataka

Klimatske karakteristike Hrvatske razmatrane su na osnovi Koppenove klasifikacije klime.

Veći dio Hrvatske ima umjereno toplu kišnu klimu sa srednjom temperaturom najhladnijeg mjeseca između -3°C i $+18^{\circ}\text{C}$ i barem četiri mjeseca u godini s temperaturom iznad 10°C . Samo se snježna šumska klima planinskih dijelova Like i Gorskog kotara (iznad 1 200 m nadmorske visine) s temperaturom najhladnijeg mjeseca ispod -3°C djelomično razlikuje od ove slike. Međutim, zbog utjecaja mora postoje značajne razlike kako u temperaturnim tako i u oborinskim karakteristikama pojedinih dijelova Hrvatske. Priobalni dijelovi Hrvatske (Istra, obala s otocima i Dalmatinska zagora) imaju blagu zimu i vruće ljeto sa srednjom temperaturom najtoplijeg mjeseca višom od 22°C dok ostala područja udaljenija od mora (Lika, Gorski kotar i sjeverna Hrvatska) imaju hladniju zimu i svježije ljeto u kojem se srednja mjesečna temperatura ne diže iznad 22°C .

Maritimni utjecaj vrlo je važan i u oborinskom režimu. Osnovna karakteristika klime srednjega i južnog Jadrana sa Zagorom te jugoistočnog dijela Like su suha ljeta s barem tri puta manje oborina od najkišnijeg zimskog mjeseca. S izuzetkom južnog Jadrana, sva područja imaju dva oborinska maksimuma, glavni jesenski i sekundarni proljetni. U ostalim dijelovima Hrvatske (Istra, sjeverni Jadran, sjeverna Hrvatska i veći dio Like i Gorskog kotara) oborine su jednoliko raspodijeljene tokom čitave godine sa dva maksimuma u prijelaznim godišnjim dobima. Za razliku od ostalih dijelova Hrvatske, u sjevernoj Hrvatskoj (sjeverno od Karlovca) hladni dio godine prima manje količine oborina od toploga, što je karakteristika kontinentalne klime.

Potrebno je napomenuti da u visokim predjelima Like i Gorskog kotara, ali i u planinskom dijelu neposredno uz obalu (Dinaridi), koji imaju najviše oborina u hladnom dijelu godine, zbog niskih temperatura često pada snijeg koji predstavlja određenu opasnost za dalekovode. Iako u kontinentalnom dijelu zimi ima manje oborina, one su često u obliku snijega ili pothladjene kiše koja se u dodiru s predmetima uz niske temperature ledi.

Za projektiranje nadzemnih vodova, uz spomenute osnovne meteorološke podatke (temperatura i dodatni teret), potrebno je poznavati još i vjetar, aerozagadjenja i atmosferska pražnjenja na području kojim prolazi dalekovod.

Obrada navedenih podataka dana je u nastavku ovog poglavlja.

2.3.2.1. Temperatura

Temperatura kao jedan od podataka koji se koristi kod mehaničkih dimenzioniranja nadzemnih vodova mjeri se u SR Hrvatskoj u klimatološkim i sinoptičkim stanicama.

U klimatološkim stanicama mjerenja temperature zraka vrše se u pravilu tri puta dnevno (u 7 h, 14 h i 21 h) dok se u sinoptičkim stanicama pomoću termografskih instrumenata vrši konstantna registracija temperature.

Instrumenti su smješteni u posebnim meteorološkim kućicama, zaštićeni od direktnog sunčevog zračenja, ali je pri tom omogućeno slobodno strujanje zraka kroz kućicu. U meteorološkim stanicama za mjerenje temperature upotrebljavaju se živini termometri, a jednom dnevno (u 7 h) očitavaju se najniža i najviša temperatura u posljednja 24 sata pomoću ekstremnih termometara (minimalnog i maksimalnog) koji su također smješteni u kućici. Minimalna temperatura mjeri se i na visini od 5 cm iznad tla. Iako mjerna mjesta temperature nisu na mjestima većine elemenata dalekovoda (užadi, oprema i veći dio stupa) te kako je temperatura užadi nadzemnih vodova, a ne temperatura zraka mjerodavna za mehanička dimenzioniranja, a na nju pored temperature zraka utječu i drugi faktori (konstruktivne i termičke karakteristike užadi, strujno opterećenje, položaj užadi, direktna izloženost suncu, prisustvo vjetra, itd), mjerenje temperature zraka na uobičajeni način za većinu mehaničkih dimenzioniranja nadzemnih vodova predstavlja samo pokazatelj za izbor odgovarajućih temperatura.

Zbog toga navodimo neke od karakterističnih temperaturnih pokazatelja u SR Hrvatskoj.

Raspon srednjih godišnjih temperatura u SR Hrvatskoj dosta je velik i kreće se od 2 do 16°C. Temperatura zraka s visinom se smanjuje, pa se i najniže srednje godišnje temperature u SR Hrvatskoj (2 do 4°C) javljaju u planinskim područjima Like i Gorskog kotara. Najtoplije je priobalno područje sa srednjim godišnjim temperaturama oko 12°C do 14°C na zapadnoj i dijelu istočne obale Istre i s nešto višim srednjim godišnjim temperaturama (14 do 16°C) na sjevernom i srednjem Jadranu. Prosječnu godišnju temperaturu iznad 16°C imaju samo uska obalna područja južnog Jadrana. Čitava sjeverna Hrvatska ima godišnju temperaturu između 12 i 14°C. Srednje godišnje temperature za neka mjesta u SR Hrvatskoj navedena su u tabl.2.7.

Pregled srednjih godišnjih temperatura

M j e s t o	Nadmorska visina (m)	Srednja godišnja temperatura (°C)
Parg	863	7,0
Skrad	675	8,5
Gospić	564	8,4
Pazin	291	11,3
Pula	30	14,1
Senj	26	14,7
Split-Marjan	122	16,0
Dubrovnik	52	16,2
Mali Lošinj	15	15,3
Rab	20	15,3
Hvar	20	16,4
Zavižan	159	3,4
Puntijarka	988	6,2

Na području SR Hrvatske samo u izuzetnim prilikama temperatura zraka poprima vrijednost veću od 40°C. Najviša apsolutna temperatura zraka u promatranom 30-godišnjem periodu zabilježena je u Karlovcu (5.7.1950.g.), $t = 42,4^{\circ}\text{C}$. Istog je dana zabilježena maksimalna temperatura u Zagrebu $t = 40,3^{\circ}\text{C}$, u Kninu $t = 40,5^{\circ}\text{C}$, a u Slavonskom Brodu dan kasnije $t = 40,2^{\circ}\text{C}$. Na priobalnom području apsolutni maksimumi temperature su ispod $t = 40^{\circ}\text{C}$ i iznose od 36 do 38°C.

Budući da su niske temperature (ispod 0°C) važan parametar za stvaranje uvjeta pogodnih za zaledjivanje, posebno ćemo analizirati razdiobu takvih temperatura na području SR Hrvatske.

Srednje minimalne mjesečne temperature najhladnijeg mjeseca, siječnja, više su od 0°C samo u krajevima uz obalu, dok su u unutrašnjosti niže od 0°C. U obalom se području ni minimalna srednja temperatura u prosjeku ne spušta ispod 0°C dok se u nižim predjelima kontinentalnog dijela SR Hrvatske srednja minimalna temperatura zraka ispod 0°C može očekivati od prosinca do ožujka, a u planinskim područjima i duže.

Stvarne temperature zraka mogu znatno odstupati od prosjeka. Tako o prosječnom broju hladnih dana, kada se temperatura spušta ispod 0°C, govore podaci da se takvi dani mogu očekivati čak i uz obalu, češće u Istri i na sjevernom Jadranu (i do 40 hladnih dana godišnje u Poreču), a vrlo rijetko na južnom

Jadranu (oko 2 - 4 hladna dana godišnje u Dubrovniku i na otocima). U unutrašnjosti su hladni dani daleko češći i godišnje ih ima oko 80 - 100, a u planinama i više (oko 155 dana na Zavižanu na Velebitu).

Prekoračenje minimalne temperature (-20°C) predviđene propisima za dimenzioniranje nadzemnih vodova često je na području SR Hrvatske.

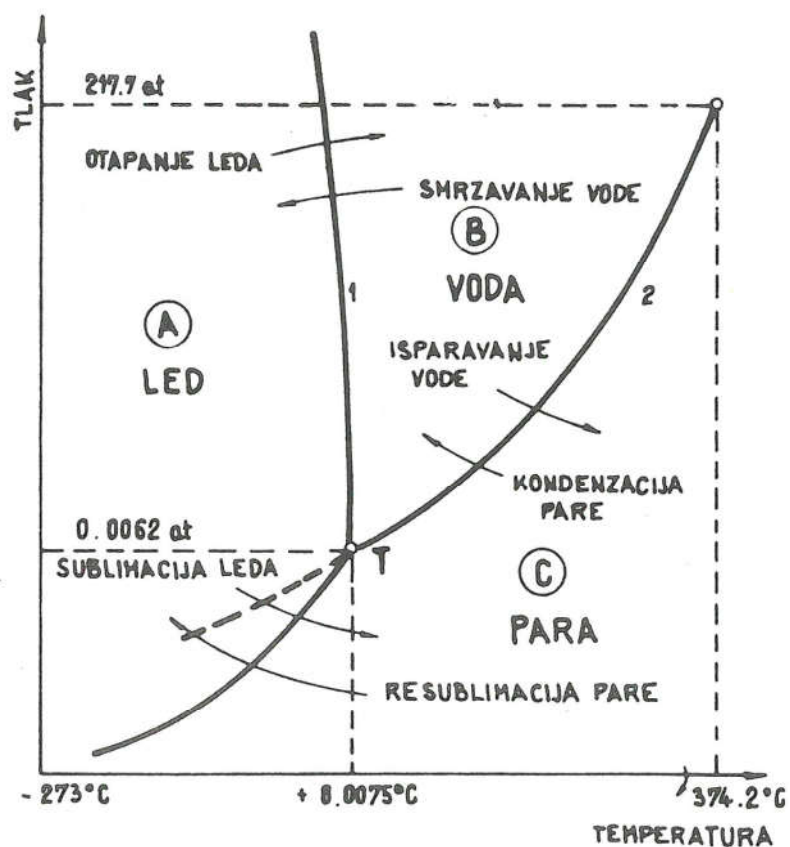
Prije svega vezano je uz područje kotlina u unutrašnjosti. U promatranom je periodu minimum zabilježen u Gračacu 17. 2. 1956. g. Iznosio je $t = -34,2^{\circ}\text{C}$. Istog dana Gospić je imao najnižu temperaturu zraka $t = -35,5^{\circ}\text{C}$, Ogulin $t = -28,5^{\circ}\text{C}$, Topusko $-30,1^{\circ}\text{C}$, a južnije područje Sinja $t = -24,2^{\circ}\text{C}$. Na priobalnom području niža temperatura zraka od $t = -10^{\circ}\text{C}$ može se očekivati jedino na sjevernom Jadranu.

2.3.2.2. Dodatni teret

Iako i tlak vjetra predstavlja dodatni teret na elemente nadzemnog voda u smislu pravilnika za dimenzioniranje nadzemnih vodova, ovom točkom obuhvatili smo samo dodatni teret bez vjetra.

Vertikalno dodatno opterećenje od leda, snijega iliinja, u hidrometeorološkoj terminologiji hidrometeorita, nastaje na elementima nadzemnog voda taloženjem i pothladjivanjem. Budući da se voda u prirodi javlja u tri različita agregatna stanja; i to u plinovitom (para), tekućem (voda) i krutom (led), vrsta zaledjivanja ovisi o tome iz kojeg agregatnog stanja (vode ili pare) nastaje led. Osnovni parametri koji određuju prirodu procesa prijelaza iz jednoga agregatnog stanja u drugo su pritisak (p) i temperatura (t). Iz dijagrama na slici 2.1. vidi se prijelaz i nastajanje pojedinih stanja vode.

Kao što se može vidjeti iz dijagrama, taloženje predstavlja oblik smrzavanja vode smanjivanjem temperature, dok je direktan prijelaz iz pare u led, resublimacija pare, moguć samo u uvjetima sniženoga atmosferskog tlaka. U prirodi agregatna stanja nisu tako strogo odijeljena (u pari uvijek postoje kapljice vode, a na površini vode je stalan proces isparavanja) pa prethodni dijagram možemo uzeti samo kao osnovnu ilustraciju fizikalnih uvjeta zaledjivanja. Postoji više podvrsta navedenih oblika taloženja i one su podijeljene prema osnovnim fizikalnim karakteristikama (tabl.2.8.).



*Dijagram stanja vode
Slika 2.1.*

Tablica 2.8.

Fizikalne osobine leda

Vrsta leda	Masa (kg/dm ³)	Adhezija	IZGLED		Kohezija
			boja	oblik	
staklasti	0,9	jaka	proziran	cilindričan	jaka
mokri snijeg	0,4-0,6	srednja	bijel	cilindričan	jaka
jaki mraz	0,7-0,9	jaka	neproziran do prozi- ran	ekscentričan, pramenovi u vjetru	vrlo jaka
blag mraz	0,4-0,6	srednja	bijel	ekscentričan, pramenovi u vjetru	slaba do srednja

Nastajanje dodatnog tereta popraćeno je odgovarajućim meteorološkim parametrima čije su osnovne karakteristike prikazane u tabl. 2.9.

Tablica 2.9.

Meteorološki parametri koji prate stvaranje leda

Vrsta leda	Temperatura zraka t (°C)	Brzina vjetra v (m/s)	Veličina kapljice	Sadr. tekuć.	Tipično trajanje
staklasti	$-4 < t < 0$	$0 < v < 10$	velika	-	satima
mokri snijeg	$-1 < t < 2$	$0 < v < 10$	pahuljice	-	satima
jaki mraz	$-10 < t < -1$	$10 < v$	srednja	srednji do velik	danima
slabi mraz	$-20 < t < -1$	$v < 10$	mala	nizak	danima

Mjerenje i motrenje navedenih hidrometeorita obavlja se u SR Hrvatskoj samo na stanicama redovne meteorološke mreže (obične i glavne meteorološke stanice) Republičkog hidrometeorološkog zavoda SR Hrvatske, što ni u kom slučaju ne zadovoljava potrebe elektroprivrede SR Hrvatske pri projektiranju dalekovoda.

Mreža meteoroloških stanica sastoji se od tri kategorije stanica na kojima je način motrenja i mjerenja ovih pojava identičan. Motrenje pojave snijega,inja i leda odvija se tokom danjeg dijela dana, dok su podaci iz noćnog dijela dana nepotpuni jer u tom razdoblju motritelji prema međunarodnim propisima nisu obavezni motriti. Motrenje ovih pojava obuhvaća bilježenje oblika, jačine i trajanja pojave.

Mjerenje visine snježnog pokrivača na tlu obavlja se unutar ili izvan meteorološkog kruga pomoću snjegomjera (stalnog ili pokretnog) svakog dana u 8 sati, bez obzira na vrstu snježnih oborina od kojih je nastao snježni pokrivač. Ako ima snježnih nanosa mjere se pomoću pokretnog snjegomjera visine 2 - 3 najviša nanosa poslije mjerenja visine snježnog pokrivača.

Visina novog snijega napadalog u posljednja 24 sata mjeri se također u 7 sati pokretnim snjegomjerom iznad daske utisnute u snijeg toliko da njena gornja površina bude nešto malo ispod površine okolnog snijega na kraju prethodnog mjerenja.

Budući da je za potrebe projektiranja i održavanja objekata dalekovoda potrebno poznavanje opterećenja od snijega, kao jednog od parametara snježnih prilika, u čije izračunavanje ulazi uz visinu snježnog pokrivača i gustoća snijega, napomenimo da se ova veličina mjeri samo na ograničenom broju lokacija u SR Hrvatskoj.

Zaledjivanje je jedan od primarnih meteoroloških fenomena koji je značajan za oštećenja dalekovoda. Ono je rezultat međudjelovanja istodobnih temperaturnih, oborinskih i vjetrovnih prilika na specijalno lociranim objektima, pa se stoga za potrebe dalekovoda trebaju obavljati specijalna mjerenja ove veličine na posebno konstruiranim mjernim objektima. Organiziranje takvih mjerenja nužno je na specijalnoj mreži točaka, prije svega na trasama postojećih i planiranih dalekovoda.

Sliku prosječnih klimatskih snježnih prilika u SR Hrvatskoj moguće je dati na temelju raspoloživih podataka meteorološke mreže SR Hrvatske koja, međutim, ne daje detaljnu sliku užih lokaliteta potrebnih za projektiranje dalekovoda.

U hladno doba godine oborine imaju uglavnom trajni karakter i to, kiša ili uz niske temperature snijeg. U prosjeku je prvi dan sa snijegom u nizinskim krajevima sjeverne Hrvatske sredinom prosinca, dok ga na višim nadmorskim visinama Medvednice, požeških gora i planina Hrvatskog zagorja možemo očekivati već sredinom studenog. Najranije počinje padati u planinskim krajevima središnje Hrvatske, i to u Gorskom kotaru i Lici sredinom listopada odnosno početkom studenog. Snijeg je na priobalju rijetka pojava. U Istri, Primorju i Dalmaciji srednji datum prvog dana sa snježnim pokrivačem je sredina siječnja ili početak veljače. U uskom pojasu uz obalu uglavnom se snježni pokrivač ne stvara, iako ima dana s padanjem snijega.

U prosjeku posljednji dan sa snježnim pokrivačem u nizini sjeverne Hrvatske je sredinom ožujka. Na višim nadmorskim visinama zadržava se duže. U Gorskom kotaru i Lici može se očekivati prosječno do početka svibnja, a na vrhuncima i do sredine tog mjeseca. U područjima duž obale, u zaledju, snježni pokrivač uglavnom nestaje oko sredine ožujka.

Naravno da se između ovih datuma snježni pokrivač pojavljuje i topi u više navrata i da se ovisno o tome njegova visina mijenja. Međutim, snijeg se može javiti i ranije, a da se ne zadrži na tlu.

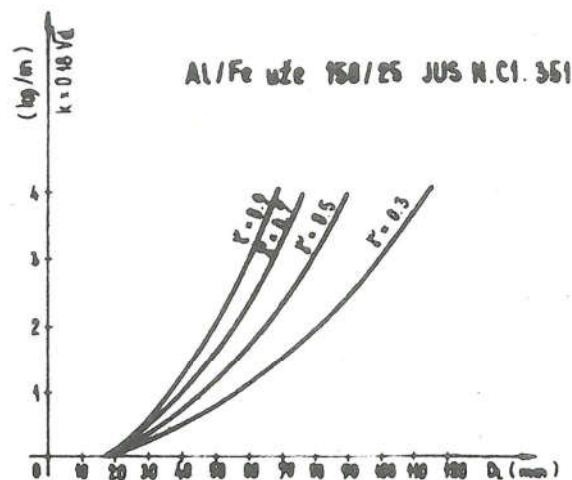
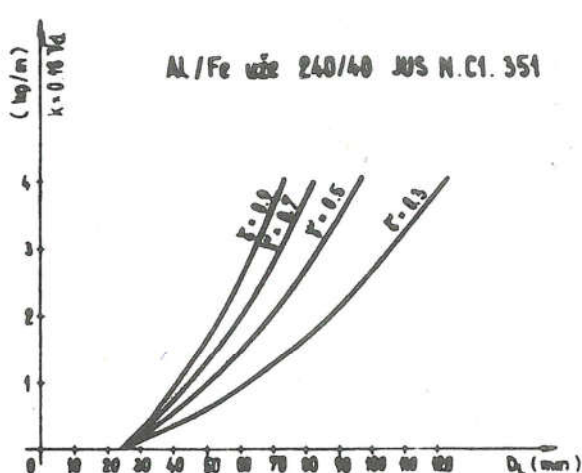
Učestalost javljanja snježnog pokrivača debljeg od 1 cm kreće se u SR Hrvatskoj od 0 dana na samom priobalju Jadrana do prosječno 150 dana godišnje na vršnim predjelima Gorskog kotara i Velebita. Ovakva razdioba uvjetovana je čestinom i izdašnošću padanja snijega te temperaturom zraka na pojedinim područjima SR Hrvatske. U tom pogledu dinarsko planinsko područje ima najpovoljnije uvjete, pa je tu i najveći broj dana sa snježnim pokrivačem iznad 1 cm.

Promatrajući godišnji hod broja dana sa snježnim pokrivačem iznad 1 cm, zbog gore navedenih uvjeta padanja snijega i njegovog zadržavanja na tlu, uočava se najčešće javljanje snijega u siječnju u kontinentalnim predjelima (12 - 30 dana), dok je sa sjevernom Jadranu javlja krajem siječnja i u veljači kad je najhladnije. U svakom slučaju snijeg se brzo topi te se na tlu ne može zadržati dulje od jedan ili dva dana.

Prosječna maksimalna visina snijega na području SR Hrvatske kreće se u sljedećem rasponu: manje od 10 cm na zapadnoj obali Istre i vanjskim otocima Hrvatskog primorja do preko 200 cm na visokim planinskim predjelima Dinarida. Maksimalna visina snježnog pokrivača općenito raste od mora prema kopnu. U ravničarskom području sjeverne Hrvatske u prosjeku poprima vrijednost od oko 50 cm u nižim predjelima, raste s nadmorskom visinom i na planinama toga kraja dostiže visinu od oko 80 cm. Na području SR Hrvatske u meteorološkim stanicama ne provode se operativna mjerenja ovjesa leda na vodičima. Na meteorološkim stanicama (glavnim, običnim kišomjernim) motre se atmosferske pojave s obzirom na pojavu nastanka i prestanka te prema intenzitetu. Intenzitet može biti: 0 (slab), 1 (umjeren), 2 (jak).

U SR Hrvatskoj postoji vrlo malo konkretnih izmjerenih podataka o dodatnom teretu. Kvalitetna mjerenja i referentni podaci u pogledu kompletnih meteoroloških parametara za dimenzioniranje nadzemnog voda provedena su na ispitnom vodu DV 220 kV Split-Brinje (materijali publicirani u "Energiji" 1962. g., br. 3-4). U posljednje vrijeme, od 1983. g. vrše se meteorološka mjerenja za potrebe projektiranja budućeg DV 400 kV Melina-Zagreb, dionica Melina-Vrbovsko. Mjerenja se vrše na tri karakteristična mjesta (Zlobin, Stara Sušica, Jablan), a prikupljaju se podaci o ovjesu leda i brzini vjetra. Mjerenje ledenog ovjesa vrši se na visini od oko 2 m iznad tla. Mjerne žice za skupljanje leda postavljene su u dva međusobno okomita pravca. Pored ovih fiksnih mjernih točaka paralelno se u periodima nepovoljnih vremenskih prilika pomoću mobilne meteorološke stanice, u vozilu vrše profilna mjerenja uz trasu dalekovoda, gdje se uz mjerenje vjetra vrše i zapažanja o zaledjivanju.

Kako je u točki 2.3.1. navedeno, propisi za projektiranje nadzemnih vodova određuju standardne iznose dodatnih tereta, s time da je minimalan iznos normalnoga dodatnog tereta $0.18 \cdot d$ kg/m. Za područja s intenzivnim zaledjenjima računa se s višekratnicima 1,6 2,5 4,0. Da bi se dobio uvid u veličinu zaledjenog užeta, ukupni promjer zaledjenog užeta, na slici 2.2. prikazana je ovisnost dodatnog tereta o masi dodatnog tereta za alučelične vodiče nazivnih presjeka 150/25 i 240/40 mm².



NAPOMENA δ (kg/dm³)—masa leda

Promjer zaledjenog vodiča u ovisnosti o normalnom dodatnom teretu
Slika 2.2.

Po pitanju dodatnog tereta odgovarajuće preporuke za izbor i dimenzioniranje nadzemnih vodova izradio je Tehnički komitet 11 IEC-a, prema kojem iznos dodatnog tereta treba da bude u ovisnosti o klasi sigurnosti voda. Prvoj klasi sigurnosti odgovara povratni period od 50 godina, drugoj 150 godina, a trećoj 500 godina.

Odredjivanje dodatnog tereta prema preporukama IEC-a može biti trojako:

a) Kod raspolaganja s podacima o maksimalnim godišnjim opterećenjima u najmanje 10-godišnjem nizu mjerenja određuje se srednja vrijednost g_c i standardna devijacija σ_g

$$0,5 g_c < \sigma_g < 0,7 g_c$$

b) kada ne postoje statistički podaci već samo iznos maksimalnog dodatnog tereta na promatranoj dionici voda u određenom vremenskom periodu, uzima se srednja vrijednost

$$g = 0,45 g_{\max}$$

$$\sigma_g = 0,50 g$$

- c) kada postoje motrenja i mjerenja ovjesa leda u ovisnosti o meteorološkim parametrima, mjerenje dodatnog tereta može se obaviti direktnim mjerenjem veličine ovjesa na žicama različitog promjera i na više visina ili mjerenjem vlačne sile dodatnog tereta (dinamometar, kalibrirane karike).

Kao što je već navedeno, u SR Hrvatskoj su do sad izvršena samo pojedinačna mjerenja na osnovi kojih se za šira područja preporuke IEC-a ne mogu primijeniti.

2.3.2.3. Vjetar

a) *Općenito*

Utvrdjivanje vjetrovnog opterećenja na bilo koji od elemenata nadzemnog voda (stup, užad, izolatorski lanac) zasniva se na dugogodišnjem mjerenju i statističkoj obradi brzine i smjera vjetra na određenom području.

Vjetar je prirodna pojava koju karakterizira stalna promjena smjera i brzine. Za potrebe projektiranja nadzemnih vodova razmatra se isključivo horizontalno zračno strujanje, i to do visine od nekoliko desetaka metara.

U nedostatku podataka koji bi pouzdano mogli prikazati klimatske prilike na trasi voda, koriste se iskustva u eksploataciji postojećih energetskih i telekomunikacionih instalacija na promatranom području, informacije s terena koje mogu pomoći u realnoj ocjeni maksimalnih brzina, stručne ocjene hidrometeoroloških službi i sl. U praksi redovito postoji veći ili manji raskorak između potreba koje postoje u pogledu poznavanja klimatskih uvjeta na trasi voda i raspoloživih podataka. Raskorak je rezultat činjenice da meteorološke stanice, a njihova osnovna namjena je daleko šira nego što su potrebe prikupljanja podataka za elektroprivredu, ne pokrivaju određeno područje tako gusto da mogu dati vjerodostojne podatke za bilo koji odabrani smjer trase voda. Osim toga, elektroprivreda redovno nije u mogućnosti organizirati prikupljanje meteoroloških podataka za svoje potrebe u svim smjerovima koji se pokazuju interesantnim u razvoju jednoga elektroenergetskog sistema. Rješenje se redovito traži u kompromisu kojim se koriste, koliko god je to moguće, podaci iz meteoroloških stanica koje su najbliže trasi voda, organiziraju se posebna mjerenja (reduciranog opsega) za potrebe elektroprivrede ili se, naprosto, radi procjena na osnovi različitih raspoloživih izvora.

Opseg i način mjerenja vjetra ovisi u principu o vrsti meteorološke stanice. Postoje tri vrste meteoroloških stanica. Prvu čine padalinske stanice koje su najbrojnije i najbolje pokrivaju određena geografska područja. Na njima se promatranje pojave vjetra svodi samo na registriranje efekata jakog vjetra. Osmatrač registrira učinak vjetra na okoliš (drveće, površina vode, oštećenja na

okolnim objektima) i bilježi ocjenu jačine vjetra po tzv. Beaufortovoj skali.

U tabl.2.10. dan je pregled efekata i popratnih pojava u prirodi za prvih dvanaest stupnjeva Beaufortove ljestvice. Nastali efekti u prirodi promatraju se za usvojenu visinu od 10 m iznad tla, i to iznad ravnog i otvorenog zemljišta. Iako postoji točna korelacija između brzine vjetra i učinka što ga stvara u prirodi, evidentno je da je vrlo teško jednoznačno utvrditi kojim vjetrovima odgovara pojedina popratna pojava u prirodi. Za slučaj da se radi o orkanskom vjetru vrlo teško je odrediti o kakvom se vjetru radi, iako za to područje postoji Beaufortova skala (13 : 37 : 41,4 m/s, 14 : 41,5 - 46,1 m/s, 15 : 46,2 - 50,9 m/s, 16 - 51 - 56 m/s, 17 : 56,1 : 61,2 m/s).

Druga vrsta su klimatološke stanice koje su malobrojne, ali su raspoređene tako da pokrivaju različite mikroklimatske zone. Na njima se osmatranja obavljaju redovito tri puta dnevno pomoću Wildovog vjetrokaza ili vizualno. Na klimatološkim stanicama ocjena jačine vjetra također se daje u Beaufortovoj skali. Wildovim vjetrokazom registrira se jačina vjetra do osmog stupnja Beaufortove ljestvice, a iznad toga ocjena se daje vizualno kao i na padalinskim stanicama.

Treća vrsta su glavne ili sinoptičke meteorološke stanice koje, između ostalog, kontinuirano mjere pravac i brzinu vjetra. Rezultati mjerenja su podloga statističkim obradama različite namjene, pa tako i za potrebe projektiranja visokonaponskih nadzemnih vodova. Postoji više različitih instrumenata za mjerenje vjetra, anemometara, ovisno o sadržaju programa mjerenja. U načelu, mjeri se obavezno trenutna vrijednost brzine vjetra, srednja vrijednost za određeni vremenski period i smjer djelovanja.

Mjerenja na sinoptičkim meteorološkim stanicama daju najpotpuniju informaciju o vjerojatnosti pojave vjetra određenog intenziteta i smjera, a uz to, budući da se direktno mjeri odgovarajućim instrumentima, lišena su mogućih grešaka koje neminovno čini osmatrač u padalinskim i klimatološkim stanicama.

U nastojanju da se proširi mreža stanica u kojima se pojava vjetra prati mjerenjima pomoću instrumenata, posebno na pojedinim važnim koridorima i čvornim točkama prijenosnih mreža (vidjeti: Dodatni teret), anemometri se postavljaju i izvan postojeće mreže meteoroloških stanica.

Ova mjerenja, koja za potrebe elektroprivrede organiziraju hidrometeorološke službe, provode se ili instrumentima standardne izvedbe s potpunim opsegom mjerenja, ili se, zbog visoke cijene takvih instrumenata, a i složenosti kasnije statističke obrade, koriste jednostavnije konstrukcije s reduciranim opsegom mjerenja.

Navodimo da je u SR Sloveniji, u krugu TS 400/110 kV Divača montiran anemograf, te da se kontinuirano vrši registriranje smjera vjetra, srednjih 10-minutnih brzina i maksimalnih trenutnih brzina.

Tablica 2.10.

Beaufortovi stupnjevi, odgovarajuće brzine vjetra i popratne pojave

Stupanj Beauforta	Naziv vjetra	Odgovarajuća brzina vjetra	OPIS POJAVA
		m/s	Na kopnu
0	tisina	0-0,2	Tiho; dim se diže uspravno uvis.
1	lak povjetarac	0,3-1,5	Pravac vjetra se zapaža po kretanju dima, a ne po vjetrokazu.
2	povjetarac	1,6-3,3	Vjetar se osjeća na licu, lišće treperi, vjetrokaz se pokreće.
3	slab vjetar	3,4-5,4	Lišće i grančice stalno se klata; razvijaju se lake zastave.
4	umjeren vjetar	5,5-7,9	Vjetar podiže prašinu i listove papira, pokreće male grane.
5	umj. jak vjetar	8,0-10,7	Tanja lisnata stabla počinju se ljuljati; obrazuju se mali valovi s krijestama na kopnenim vodama.
6	jak vjetar	10,8-13,8	Pokreću se velike grane; čuje se zujanje telegrafskih žica; otežana upotreba kisobrana.
7	vrlo jak vjetar	13,9-17,1	Drveće se ljulja; hodanje uz vjetar je otežano.
8	olujni vjetar	17,2-20,7	Vjetar lomi grane na drveću; hodanje protiv vjetra je u principu nemoguće.
9	oluja	20,8-24,4	Nastaju laka oštećenja na zgradama (otkidanje oluka, rušenje dionjaka i skidanje crijepa).
10	žestoka oluja	24,5-28,4	Rijetko se javlja u unutrašnjosti; čupa drveće iz zemlje; nastaju velike štete na zgradama.
11	orkanska oluja	28,5-32,6	Vrlo rijetka pojava, praćena razaranjima velikih razmjera.
12	orkan	32,7-36,9	

b) *Obrada u skladu s "Pravilnikom za izgradnju nadzemnih vodova"*

Prema važećim propisima za dimenzioniranje nadzemnih vodova mjerodavni tlak vjetra računa se prema maksimalnoj brzini vjetra (m/s) koja se na području trase pojavljuje prosječno svakih pet godina, a za vodove 400 kV i u dužem periodu.

Na sljedećem primjeru za meteorološku stanicu Split-aerodrom, a na osnovi podataka iz perioda od 1966. do 1981. g., izvršena je obrada podataka i za traženu 5-godišnju maksimalnu brzinu vjetra određeni su brzina vjetra i tlak vjetra.

U tabl.2.11. nalaze se podaci o maksimalnim brzinama vjetra svrstani po padajućem nizu, s tim da je uz njih izračunata i vjerojatnost po sljedećoj jednadžbi:

$$p = \frac{m - 0,5}{n}$$

pri čemu je: m - redni broj podataka
n - ukupni broj podataka

Tablica 2.11.

Niz maksimalnih brzina vjetra s postotkom vjerojatnosti za meteorološku stanicu Split-aerodrom za period 1966.-1981.

Redni broj	1	2	3	4	5	6	7	8
v (m/s)	41,0	37,4	36,7	36,6	36,5	35,1	33,7	31,9
p (%)	3,1	9,4	15,6	21,9	28,1	34,4	40,6	46,9

Redni broj	9	10	11	12	13	14	15	16
v (m/s)	29,5	29,3	29,0	26,8	25,7	24,8	24,5	24,0
p (%)	53,1	59,4	65,6	71,9	78,1	84,4	90,6	96,0

Budući da se radi o godini kao jedinici mjere, odnosno o maksimalnoj brzini vjetra koji će se pojaviti prosječno svakih 5 godina, to znači da se traži vjerojatnost od $p = 1/5 = 20\%$, odnosno da se u promatranom periodu postiže 80%-tna sigurnost.

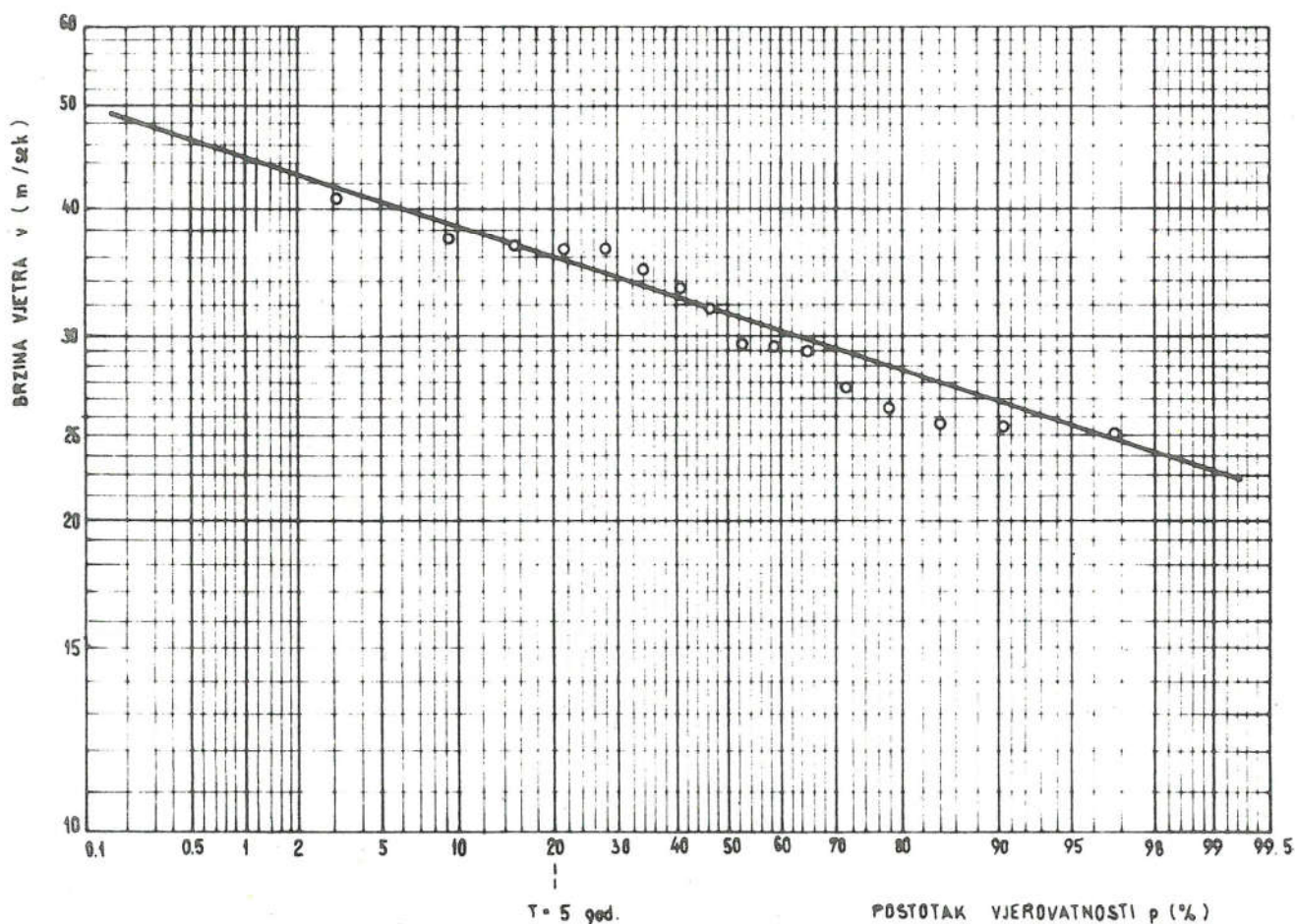
Za ucrtavanje krivulje vjerojatnosti koristi se papir vjerojatnosti na kome apscisa predstavlja Laplace-Ganssov integral, a ordinata logaritamsku fnkciju.

Raspodjela vjerojatnosti brzina vjetra prikazana je na slici 2.3.

Na osnovi očitane brzine vjetra za $p = 20 \%$ (5-godišnji prosjek), $v = 36 \text{ m/s}$.

Ne ulazeći u analizu ostalih faktora koji bi mogli utjecati na izbor tlaka vjetra mjerodavnog za dimenzioniranje elemenata nadzemnog voda, za izračunatu vrijednost tlaka vjetra, a prema propisima preporučenom nizu tlakova vjetrova (tabl.2.6.), odabrao bi se tlak vjetra od 900 N/m^2 na osnovnu visinsku zonu od 0 do 40 m iznad tla.

Dakle, postupak obrade je jednostavan, ali može se uočiti da je ograničen isključivo na statistiku godišnjih maksimuma brzine vjetra pa se zato i naziva metodom apsolutnih maksimuma. Ostali podaci o brzinama vjetra registrirani tokom određene godine ne utječu na konačni rezultat - maksimalni vjetra s povratnim periodom od najmanje 5 godina.



Raspodjela vjerojatnosti brzine vjetra (Split-aerodrom)
Slika 2.3.

c) Pregled ostalih obrada

Drugi pristup sastoji se u određivanju integralne vjerojatnosti izračunate maksimalne brzine vjetra. Ovdje se dakle određuje vjerojatnost pojave maksimalne brzine u određenom vremenu eksploatacije. Primjeri ovakvih obrada su metode Gumbela, Fishera i Tippita i dr.

Bitna razlika metoda integralne vjerojatnosti u odnosu na prethodno opisanu metodu apsolutnih maksimuma jest u tome da se ovdje statističkom obradom nastoji odrediti najprihvatljivija krivulja raspodjele maksimalnih brzina vjetra, uzimajući u obzir mjerene vrijednosti koje reprezentiraju maksimume za period koji je kraći od jedne godine, na primjer za mjesec dana.

Obradom maksimalnih mjesečnih vrijednosti brzine vjetra za period koji ne bi trebao biti manji od 10 godina, postiže se zadovoljavaju za pouzdanost u definiranju parametara krivulje vjerojatnosti.

Iz tako utvrđene krivulje vjerojatnosti određuje se integralna vjerojatnost pojave maksimalnog vjetra za period od 5, 10, 15 ili više godina.

Postupci određivanja integralne vjerojatnosti danas su i u svijetu prihvaćeni kao osnova metodologije utvrđivanja referentne vrijednosti brzine vjetra za projektiranje visokonaponskih nadzemnih vodova.

Jasno je da opravdanost primjene metoda integralne vjerojatnosti ponajviše ovisi o vrsti, opsegu i kvaliteti raspoloživih podataka o brzinama vjetra tokom određenog perioda eksploatacije. U tom smislu treba razmatrati i pitanje samog postupka obrade rezultata mjerenja. Istina je da se u novije vrijeme, vezano uz primjenu u projektiranju dalekovoda u svijetu najviše afirmirala raspodjela po Gumbelu, pa tu metodu u obradama koristi i Republički hidrometeorološki zavod SRH, za što je razvio odgovarajuće programe za elektroničko računalo.

Valja napomenuti da je Tehnički komitet 11 IEC-a izradio nacrt preporuke i za opterećenja nadzemnih vodova od vjetra. Nacrt je dostavljen nacionalnim komitetima CIGRE na usuglašavanje i odobrenje. Još nije izrađen integralni tekst usvojenih preporuka, međutim zbog neobične interesantnosti materije i činjenice da će se u narednom periodu u okviru raspoloživih podataka svakako težiti obradi na predloženi način, navest ćemo najosnovije podatke. Konkretno, radi se o interpretaciji meteoroloških podataka dobivenih mjerenjem.

Obrade se odnose na nadzemne vodove raspone od 200 do 800 m, visine stupa do 60 m i nadmorske visine do 1 300 m. Kod proračuna uzima se u obzir hrapavost terena.

Meteorološka brzina vjetra definirana je kao prosječna brzina vjetra u 10-minutnom periodu na visini 10 m iznad tla na relativno otvorenim terenu i u promatranom periodu od 10 odnosno 20 godina. Meteorološki podaci koji su uzeti u razmatranje treba da budu sa stanice koja se nalazi u neposrednoj blizini nadzemnog voda. Za slučajeve u kojima ne postoje podaci o izmjeranim prosječnim 10-minutnim brzinama vjetra dane su preporuke za proračun referentnih brzina u funkciji raspoloživih podataka i hrapavosti terena.

Izbor referentnog vjetra za dimenzioniranje elemenata nadzemnog voda određuje se ovisno o predviđenoj klasi sigurnosti i standardnim devijacijama najvećih brzina u odnosu na prosječne brzine vjetra.

Proračun pritiska vjetra na užad, izolatorske lance i stupove po IEC preporukama vrši se preko udarnog faktora koji uzima u obzir turbulenciju vjetra i dinamički utjecaj na promatrani element.

d) Utjecaj visine objekata iznad tla na brzinu vjetra

Važećim propisima za dimenzioniranje nadzemnih vodova kako je navedeno u točki 2.3.1. ove studije, odgovarajući tlakovi vjetra određeni su za visinske zone 0 - 40 m i 40 - 80 m iznad tla, s mogućnošću primjene manjeg tlaka vjetra ako se radi o nadzemnom vodu čija je ukupna visina manja od 15 m.

Konkretna mjerenja promjene brzine vjetra u ovisnosti o visini iznad tla za različite konfiguracije terena i za potrebe dimenzioniranja nadzemnih vodova u SR Hrvatskoj nisu izvršena.

Poznato je da na brzinu u prizemnim slojevima atmosfere velik utjecaj ima hrapavost površine, turbulentnost i svojstvo zračne mase. Za nadzemne vodove čije su realne visine u pravilu do oko 40 - 50 m iznad tla slobodno se može reći da je po visini svojstvo zračne mase istovrsno i da su temperaturne razlike male a time i turbulencija zraka, ali najbitniji faktor koji utječe na brzinu vjetra je hrapavost površine tla odnosno promatrani reljef trase.

Ako se navedeno uzme u obzir može se pomoću eksponencijalne empirijske jednadžbe dobiti raspodjela brzine vjetra po visini:

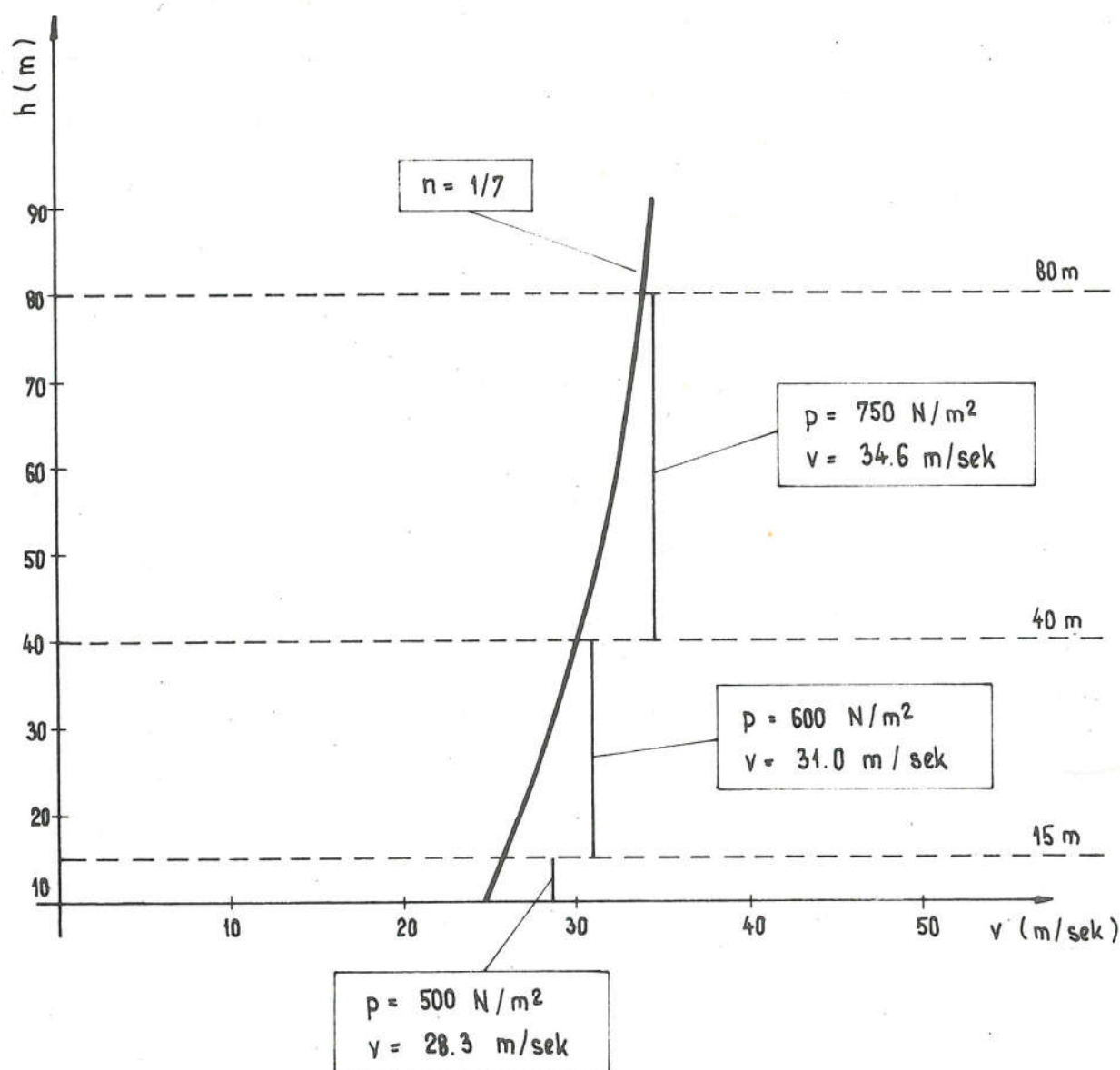
$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^n$$

gdje je n - koeficijent ovisan o hrapavosti površine.

Na dijagramu (slika 2.4.) prikazana je ovisnost brzine o visini iznad tla. Dobi-
vena krivulja odnosi se na karakteristični koeficijent $n = 1/7$ koji prema
Devenportu (L2.1) odgovara za otvorene ravnice.

Kod izrade dijagrama računato je s početnim brzinama od 25 m/s na visini od 10
m iznad tla.

Na dijagramu raspodjele brzine po visini iznad tla ucrtani su izračunati tlakovi
vjetra za 500, 600 i 750 N/m². Usporedbom dijagarama raspodjele brzine po
visini iznad tla i odgovarajućih propisanih tlakova za dimenzioniranje nadzemnih
vodova za osnovni tlak vjetra 600 N/m² u zoni 0 - 40 m, 750 N/m² u zoni 40-
80 m i dopušteni smanjeni tlak od 500 N/m² za nadzemne vodove čija je ukupna
visina manja od 15 m, vidljivo je da propisana raspodjela tlakova vjetra po
visinama odgovara promjeni brzine vjetra.



Dijagram raspodjele brzine vjetra ovisno o visini iznad tla i konfiguraciji terena

Slika 2.4.

c) Raspored meteoroloških stanica u SR Hrvatskoj

Na slici 2.5 prikazana je sadašnja mreža meteoroloških stanica u SR Hrvatskoj. Može se konstatirati da su meteorološke stanice s anemografima smještene uglavnom u urbanim sredinama i kao takve ne daju dovoljno reprezentativne podatke za dimenzioniranje nadzemnih vodova.

Budući da se na nivou Elektroprivrede Hrvatske provodi akcija za sistematizaciju i unapredjenje praćenja meteoroloških uvjeta, vjeruje se da će to rezultirati odgovarajućom bankom meteoroloških podataka i novih meteoroloških stanica koje će dati reprezentativnije podatke za dimenzioniranje elektroenergetskih objekata.

Na slici 2.6 nalazi se pregled maksimalnih brzina vjetra na pojedinim područjima u SR Hrvatskoj iz kojeg je vidljivo da je apsolutni maksimum (53 m/s) registriran na području između Rijeke i Kraljevice. Ovoj brzini vjetra odgovara tlak vjetra od $1\,755\text{ N/m}^2$.

2.3.2.4. Aerozagadjenje

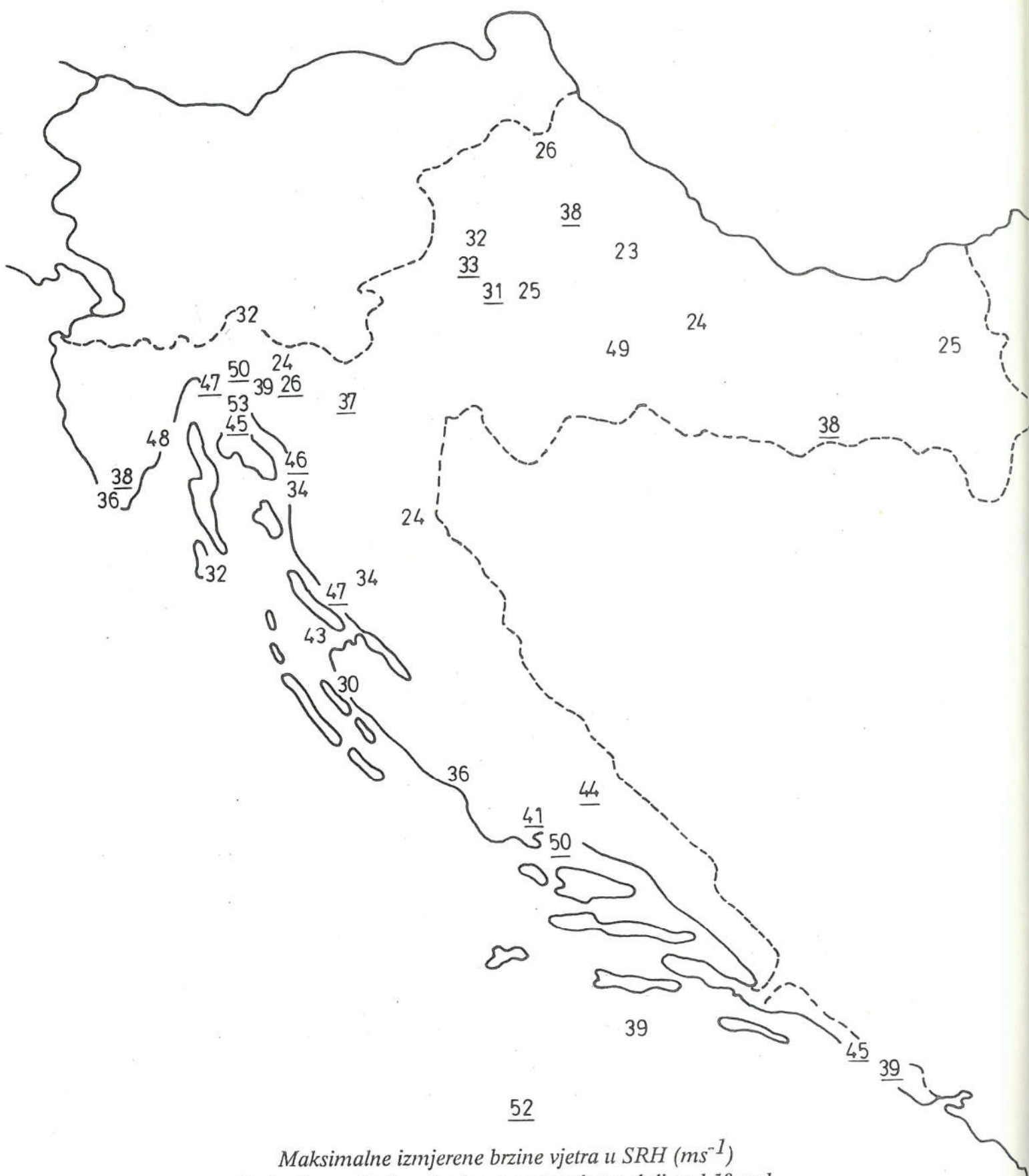
Poznata je činjenica da se na visokonaponskim izolacijama vodova i postrojenjima taloži onečišćenje iz atmosfere u obliku kompleksnih spojeva. Ovo onečišćenje u većoj ili manjoj mjeri smanjuje izolacijska svojstva izolatora na visokonaponskim vodovima i može dovesti i do značajnih šteta u eksploataciji i održavanju tih vodova. Ova zagadjenost dolazi iz atmosfere najčešće u obliku složenih spojeva koji padaju s oborinama na tlo, ili pak sedimentacijom krupnijih čestica dolaze na predmete na tlu. Ovdje valja spomenuti i onečišćenja, koja nastaju na predmetima zbog adsorpcije polutanata i nastajanje spojeva kada oborine padaju na takve predmete.

Opći porast onečišćenja zraka zbog povećanja emisije industrijskih pogona, prometa i kućnih ložišta uočen je u mnogim zemljama, no ovaj fenomen valja promatrati ne samo u neposrednoj blizini izvora emisije već i na većim udaljenostima od njih. Plinoviti polutanti ulaze u atmosferu i zračnim strujama mogu biti preneseni i na velike udaljenosti od izvora emisije, no najveća su onečišćenja na relativno užim područjima oko velikih izvora emisije. Ovdje valja ubrojiti i taloženje morske soli, koje je u našim primorskim krajevima posebno izraženo gdje god se pojavljuje posolica. Početkom padanja kiše takav sloj postaje vodljiv i dovodi do ispadanja voda.

Može se općenito tvrditi da onečišćenje atmosfere predstavlja značajan faktor u eksploataciji dalekovoda, koji se posljednjih desetak godina intenzivno ispituje u mnogim elektroprivrednim organizacijama u svijetu.



Raspored meteoroloških stanica u SR Hrvatskoj
Slika 2.5.



Maksimalne izmjerene brzine vjetra u SRH (ms^{-1})
 Podvučene vrijednosti odnose se na nizove dulje od 10 god.
 Slika 2.6.

U važećim propisima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova u pitanju aerozagadjenja samo se navodi potreba primjene izolatorskih lanaca s dužim strujnim stazama, ovisno o vrsti zagadjenja na promatranom području. Klasifikaciju zagadjenja u skladu s preporukama Studijskog komiteta 33 CIGRE-Paris, izradio je Studijski komitet 22 (Nadzemni vodovi) JUKO CIGRE, prema kojem su zagadjenja svrstana u četiri stupnja prirodnog zagadjenja. Tablični pregledi stupnjeva zagadjenja s opisom okoliša i uočenim uvjetima za sigurnost izolacije, kao i potrebna dimenzioniranja izolatorskih lanaca s obzirom na zagadjenost obradjeni su u poglavlju 4.7.3. ove studije.

U vezi s podacima koji bi se mogli koristiti prilikom dimenzioniranja izolacije nadzemnih vodova navodimo da se na području SR Hrvatske provode mjerenja općeg onečišćenja atmosfere u urbanim sredinama (Zagreb, Osijek, Karlovac, Sisak, Rijeka, Šibenik, Split, Pula) te specijalna mjerenja čistoće zraka u Bakarskom zaljevu, na području Kutine i plinske stanice Molve.

Na gradskom području spomenutih gradova analiziraju se prostorno vremenske promjene 24-satne količine (uzorci se uzimaju na nekoliko lokacija) SO i dima, te amonijaka, lebdećih čestica i metala, a isto tako i količine sedimenta.

Gradska područja odlikuju se velikim brojem kućnih ložišta koja daju veliku ukupnu emisiju iznad cijele površine naselja. U većini gradskih područja srednja godišnja količina općih onečišćenja uglavnom se ne mijenja iz godine u godinu. Neka područja u Zagrebu i Rijeci mogu se klasificirati kao vrlo onečišćena s obzirom na SO i dim. Količina lebdećih čestica naročito je velika na području Splita i Susedgrada (blizina cementara) a velika količina taložnih tvari zabilježena je u Šibeniku i Splitu (industrijska zona).

Na području SR Hrvatske salinitet se mjeri samo preko količine klorida u oborinama i u zraku. Problem određivanja utjecaja stanja okolnog zraka na elemente nadzemnog voda jest u tome što se neke naslage, kao morska sol, natalože u par sati, a kod prvih oborina se i isperu, dok se druge (cementna prašina) talože kroz dulji vremenski period. Upravo je zbog toga potrebno pratiti vremensku promjenljivost naslage. Naslaga se taloži aerodinamički. Do preskoka dolazi kod određene kombinacije vlage zraka i količine naslage.

Na području SR Hrvatske značajno zasoljavanje postoji na priobalnom dijelu u uvjetima puhanja jake bure. Prema tome, na otocima Krk, Rab, Cres, Lošinj, Pag trebalo bi obavezno mjeriti talog soli u ovisnosti o meteorološkim parametrima.

Prvi ispitni poligon za ispitivanje aerozagadjenja na izolaciji elektroenergetskih objekata upravo je u fazi realizacije a nalazi se kod Nina. Realizira ga Elektroprenos Split i Institut za elektroprivredu SR Hrvatske.

S obzirom na specifičnost pojave, lokalitete, vrste i utjecaj na izolaciju nadzemnih objekata te nedovoljnu istraženost kako po vrsti tako i po intenzitetu, potrebno je toj pojavi u narednom periodu posvetiti veću pažnju.

2.3.2.5. Atmosferska pražnjenja

U određenim vremenskim uvjetima kada se u atmosferi razviju veliki oblaci vertikalnog razvoja dolazi do pojave grmljavinske aktivnosti koja se manifestira pražnjenjem atmosferskog elektriciteta. U meteorologiji te pojave spadaju u grupu tzv. elektrometeora, tj. u pojave kod kojih je prisutna vidljiva ili čujna manifestacija atmosferskog pražnjenja. Ovisno o vrsti elektrometeora razlikuje se:

- grmljavina, koju predstavlja pojava ili skup pojava jednog ili više električnih pražnjenja koji se manifestiraju bljeskom svjetlosti (sijevanje) i popratnim zvukom, (najčešće se uz pojavu grmljavine pojavljuju i oborine, a ponekad i olujni vjetar)
- grmljenje, pojava električnog pražnjenja kod koje se čuje grmljavina no ne vidi se munja.

Atmosfersko pražnjenje sa stanovišta elektroprivredne prakse očituje se u karakteristikama struje groma i broju udara.

a) Karakteristika struje groma određena je sljedećim parametrima:

- amplituda struje groma
- maksimalno vrijeme porasta (di/dt)
- trajanje čela i začelja
- impulsni naboj ($\int i dt$) i impulsna energija ($\int i^2 dt$).

b) Broj udara groma najčešće se izražava preko tzv. izokerauničkog nivoa koji podrazumijeva broj grmljavinskih dana na određenom području. Pored navedenog, precizniji podatak predstavlja gustoća udara, tj. srednji broj udara na 1 km^2 ili na 100 km^2 u toku jednog grmljavinskog dana.

Pod grmljavinskim danom smatra se dan tokom kojeg se je bar jednom čula grmljavina.

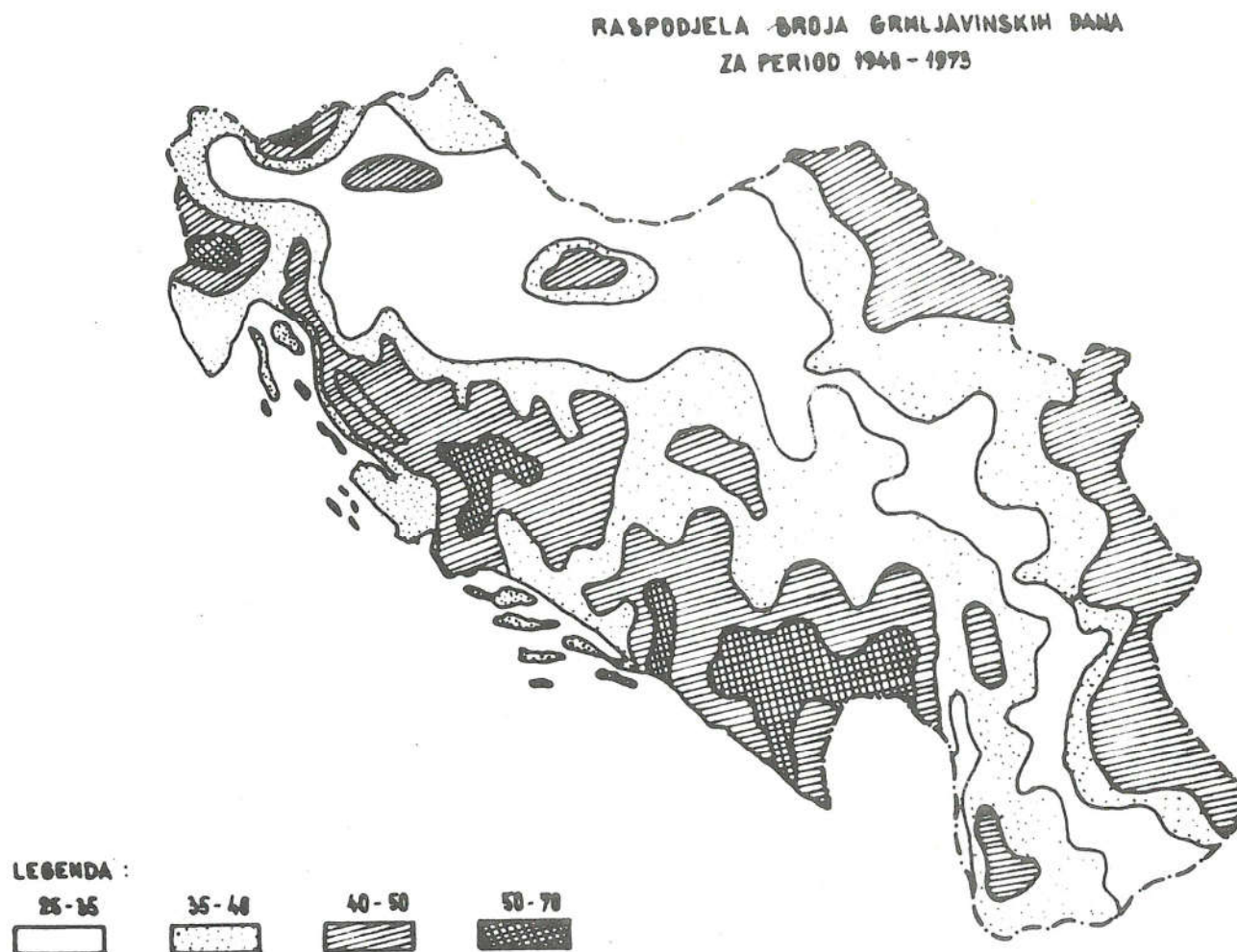
Ovaj podatak je neobično važan za ocjenu ugroženosti elektroenergetskih objekata, naročito za objekte napona 110 kV i nižih, jer atmosferski prenaponi vrlo često dovode do povratnih preskoka na izolaciji. Zbog toga je interesantan podatak broja udara groma na 100 km, ili za konkretni vod duljine L (km) i broj grmljavinskih dana GD koji se prema preporukama AIEE može odrediti po empirijskoj jednadžbi:

$$N = 0,207 \cdot GD \cdot L$$

[udara/g.]

Za ocjenu ugroženosti elektroprivrednog objekta, u našem slučaju dalekovoda, neobično važan podatak predstavlja poznavanje karakteristike i intenziteta atmosferskih pražnjenja. Međutim, sistematska praćenja u SR Hrvatskoj u smislu potreba za elektroprivredom ne postoje. Posljednju izokerauničku kartu SRH izradio Institut za elektroprivrednu - Zagreb (1965 g.), i kao takva poslužila je i još uvijek služi, pri ocjeni izokerauničkih nivoa. Sačinjena je na osnovi podataka meteoroloških stanica, baziranih na čujnom zapažanju motritelja, što ukazuje na pitanje pouzdanosti raspoloživih podataka. Od 1962. godine na pojedinim elektroenergetskim objektima vršena su mjerenja intenziteta struje groma pomoću magnetskih štapića. Mjerenjem su evidentirane struje groma u granicama od oko 2 - 72 kA.

Za područje čitave SFRJ a na osnovi čujne metode, izdala je Zajednica jugoslavenske elektroprivrede Beograd (1970 g.) i izokerauničku kartu (slika.2.7).



*Izokeraunička karta SFRJ
Slika 2.7.*

U SR Hrvatskoj izradjena je studija "Praćenje meteoroloških fenomena za potrebe elektroprivrede Hrvatske" (lipanj 1984 g.) koja predstavlja podlogu za daljnju razradu i daje preporuke za praćenje meteoroloških pojava.

Sadašnje praćenje atmosferskih pražnjenja je uglavnom na meteorološkim stanicama, gdje se pojave opažanjem vrše kontinuirano. Registriranje je prema opažanju motritelja, tako da se evidentiraju vrijeme, smjer dolaska i odlaska pojave, intenzitet itd., dok se ne registrira intenzitet i činjenica je li pražnjenje išlo iz oblaka prema zemlji ili obratno.

U toku je instaliranje mreže brojača specifičnog broja atmosferskog pražnjenja na području Dalmacije, čime će se znatno unaprijediti kvaliteta raspoloživih podataka za ocjenu ugroženosti elektroenergetskih objekata.

2.4. UTJECAJ DALEKOVODA NA OKOLIŠ

Naglašeni problemi izbora trasa i osiguranja potrebnih suglasnosti za gradjenje dalekovoda rezultirali su u posljednjih 10 godina i u našim prilikama naglašenim interesom za kompleksnije rješavanje pitanja utjecaja dalekovoda na okoliš. Prvi poticaj bile su upute izradjene u SAD 1970. g. (L2.7) i njihova primjena u našim uvjetima (L2.3) izradom poslovne dokumentacije kojom se cjelovito elaborira problematika uklapanja dalekovoda u okoliš. Ovisno o specifičnim prilikama, delikatnosti pojedinih problema, važnosti voda i sl. radjena je takva dokumentacija ili su pitanja uklapanja u okoliš rješavana u sklopu izrade uobičajene dokumentacije za dobivanje građevinske dozvole.

Ovdje treba istaknuti da je Republički komitet za građevinarstvo, stambene i komunalne poslove i zaštitu čovjekove okoline, a u skladu sa Zakonom o prostornom planiranju izdao "Pravilnik o izradi studije o utjecaju na okolinu" (NN SRH, br. 31/84), u cilju da se studijom obrade svi aspekti uklapanja objekta u okoliš, osigura zaštita i unapredjenje čovjekova okoliša, očuvanje prirodnih i izgradjenih vrijednosti prirode i društva u cjelini.

Svrha izrade studije jest da se osiguraju odgovarajuće ekološke, prostorne, tehnološke i ekonomske podloge za utvrđivanje posebnih uvjeta zaštite okoliša kao sastavnog dijela uvjeta uređenja prostora. Navedenim Pravilnikom nije utvrđena obaveza izrade studije za uklapanje 110 kV dalekovoda u okolinu (obavezna za dalekovode 220 kV i višeg napona), međutim zakonodavac je u članu 5. istog Pravilnika naveo klauzulu po kojoj se može zahtijevati izrada studije uklapanja u okoliš i za objekte za koje članom 4. Pravilnika o izradi studije o utjecaju na okoliš nije obavezna izrada, ako to traži nadležni organ uprave za izdavanje uvjeta uređenja prostora.

Sagledavajući potreban sadržaj studije proizlazi da je to u stvari verzija idejnog projekta prilagođena uvjetima uklapanja u okoliš.

U ovom poglavlju problematika utjecaja dalekovoda na okoliš elaborirana je, prema nacrtu preporuke CIGRE u okviru sljedećih tematskih cjelina:

- zauzimanje prostora
- vizualni utjecaji
- električki efekti
- utjecaji gradjenja i održavanja.

2.4.1. Zauzimanje prostora

2.4.1.1. Problematika osiguranja koridora

Prostorno planiranje jedinstveni je sistem društvenog planiranja kojim se usmjerava razmještaj i osigurava uskladjivanje svih funkcija u prostoru radi ostvarivanja ciljeva i interesa društveno-ekonomskog razvoja određenog područja. U sklopu izrada prostornih planova promatranog područja sagledava se i problematika elektroenergetskih potreba, a time i konkretno potreba odgovarajućih koridora za dalekovode.

Elektroenergetske potrebe odgovarajućeg promatranog područja definira odgovarajuća elektroprivredna organizacija ili zajednica (u SRH ZEOH), a na osnovi studija razvoja područja i plana potrebe i izgradnje elektroenergetskih objekata.

U toku razrade generalnih i provedbenih urbanističkih planova potrebno je između ostalog osigurati i koridore za dalekovode.

Sama problematika planiranja i osiguranja dalekovodnih koridora u kompleksu rješavanja konkretnog plana vrlo često je neobično komplicirana, zahtijeva uskladjivanja s nizom drugih objekata, pa se dalekovode često stavlja u donji plan računajući na mogućnost fleksibilnijeg rješenja trase dalekovoda nego npr. željeznica, cesta, vodoprivrednih objekata i sl. Nepravodobno i nestručno sagledavanje niza elemenata vezanih uz izbor trase odnosno koridora dalekovoda, što je vrlo česta praksa u rješavanju urbanističkih planova, može imati nesagledive posljedice kod kasnijih radova na projektiranju i realizaciji izgradnje dalekovoda.

Ovdje ne želimo navoditi problematiku izbora trase, jer je ona obradjena u prethodnoj točki, već je svrha obuhvatiti problematiku vezanu uz osiguranje koridora.

Problematika vezana uz potrebu osiguranja koridora u praksi se u osnovi javlja u sljedećim slučajevima:

- pokazala se potreba projektiranja i izgradnje dalekovoda, a urbanistički plan s

- predviđenim koridorom ne postoji;
- elektroprivredna organizacija planira izgradnju objekata u narednom periodu te sagledavajući probleme osiguranja trasa utvrđuje koridor i osigurava ga kod nadležnog urbanističkog organa. Ovakav slučaj često se javlja prilikom projektiranja i izgradnje jednog dalekovoda uz čiju se trasu u narednom periodu planira izgraditi i druge dalekovode;
- razradjuje se generalni ili provedbeni urbanistički plan određenog područja ili regije te se u sklopu njega rješava i pitanje koridora elektroenergetskih vodova.

U svakom od navedenih slučajeva svrha je osigurati odgovarajući koridor unutar kojeg se može izgraditi dalekovod te da se postojeći i planirani objekti uz koridor i u koridoru nalaze na propisanim udaljenostima ili se na propisani način mogu prijeći.

U osnovi izbor i osiguranje koridora svodi se na izbor optimalne trase uz koju sa svake strane treba postojati pojas odgovarajuće širine u kojem se ne smiju graditi drugi objekti ili se može dozvoliti izgradnja pojedinih objekata, ali samo nakon provedene odgovarajuće kontrole i odobrenja elektroprivrednog poduzeća koje je osiguralo koridor.

a) Širina koridora

Širina koridora za 110 kV dalekovod ovisi o širini dalekovoda (udaljenost između vanjskih vodiča) te o objektu kojem se približuje, prelazi ga ili je s njim paralelan.

Udaljenost između vanjskih vodiča kod 110 kV dalekovoda iznosi od 6,5 m na stupovima oblika "jela" do oko 10 m na stupovima oblika "bačva", predviđenim za montažu dvaju sistema vodiča (dvije trojke).

Budući da je relativno mala razlika između stupova za jednu ili dvije trojke, u praksi se prilikom planiranja koridora za buduće 110 kV dalekovode ne vodi računa o vrsti stupa i voda, već se ocjenjuje da je ukupna širina koridora od 50 m sasvim dovoljna da bi se moglo položiti trasu dalekovoda.

Dakako, navedena širina koridora od 50 m predviđa se za polaganje jednog voda, dok se kod potrebe polaganja dvaju ili više vodova u zajedničkom koridoru ukupna širina koridora, ovisno o vrsti vodova, može smanjiti. Kad se već govori o polaganju paralelnih vodova u zajedničkom koridoru, ako to dozvoljavaju terenske prilike, obično investitori inzistiraju da udaljenosti između vodova budu tolike da u slučaju eventualnog rušenja jednog voda susjedni ne bude ugrožen. Ako nema nekih posebnih prijelaza na trasi, tada su u principu udaljenosti između trasa od 40 m dovoljne za 110 kV vod da bi se uvažio navedeni uvjet. Iz toga proizlazi da je za polaganje dvaju 110 kV dalekovoda uobičajenih karakteristika sasvim dovoljno predvidjeti koridor od 90 m, za tri 140 m itd.

Navedene širine koridora ustvari predstavljaju plansko osiguranje koridora unutar kojeg će se kasnije moći nesmetano projektirati i izgraditi dalekovod, odnosno da se ostavi mogućnost manjih pomaka trase unutar koridora u cilju postizanja optimalnije izvedbe trase dalekovoda.

U vezi osiguranja koridora za dvostruke vodove, pa i jednostruke ako su u istom koridoru s vodom višeg ili nižeg naponskog nivoa, treba ukazati na neracionalnost iskorištenja koridora u takvim slučajevima.

Uobičajeno je u stručnoj literaturi da se efikasnost iskorištenja koridora defini-
nira kao:

$$\text{indeks djelotvornosti} = \frac{\text{snaga prenosa}}{\text{širina koridora}} \quad [\text{MVA/m}].$$

Indeks djelotvornosti jednostrukog 110 kV voda vrlo je nizak i iznosi u najboljem slučaju 1 MVA/m. Radi usporedbe, recimo da 400 kV vodovi imaju 15 do 20 puta veći indeks djelotvornosti.

Indeks djelotvornosti dvaju paralelnih 110 kV vodova ostat će gotovo na istoj razini, dok bi se rješenjem s jednim dvosistemskim vodom indeks praktično mogao udvostručiti.

Iz ovog pojednostavnjenog prikaza može se zaključiti da se praksa gradjenja paralelnih dalekovoda u istom koridoru treba napustiti, osim u sasvim iznimnim situacijama, i prijeći na koncepciju gradjenja višesistemskih vodova sa što efikasnijim iskorištenjem dragocjenog prostora u koridoru trase voda. To zahtijeva organiziraniji pristup planiranju i razradi prijenosne i distributivne mreže, te uskladjivanje samo naizgled oprečnih interesa pojedinih prijenosnih i distributivnih organizacija.

Gradnja višesistemskih vodova s trojkama istog ili različitog naponskog nivoa odavno ne predstavlja nikakav problem u gradjenju, pa niti u održavanju.

Često puta dalekovod mora proći kroz područje gdje je zbog terenskih prilika potrebno suziti koridor na najmanju moguću mjeru i pri tom zadovoljiti propise. Najčešće je to slučaj s prolazima kroz naselje gdje je preostao slobodan prolaz između kuća. U takvim slučajevima jasno je da se ne ide za osiguranjem koridora navedenih širina, već se traži zadovoljenje minimalnih propisanih udaljenosti između neotklonjenih vanjskih vodiča i kuća, koja u tom slučaju prema članu 114. važećeg Pravilnika iznosi 5 m i za takav se prolaz ne smatra da je izvršen prijelaz preko zgrade. Za takav slučaj prijelaza, ako je kut prijelaza povoljan, koridor se može suziti do oko 20 m.

Vezano uz propisane uvjete približavanja postojećim objektima koridor na pojedinim mjestima treba i proširiti da bi se ostvarile propisane udaljenosti. Tako na primjer kod približavanja zgradama s lako zapaljivim materijalom zahtijeva se udaljenost dalekovoda od najmanje 15 m, odnosno najmanje jednaka visini stupa uvećanog za 3 m, tako da ta udaljenost u praksi iznosi oko 30 - 35 m.

b) Osiguranje koridora

Da bi se moglo izvršiti osiguranje koridora za 110 kV dalekovod potrebno ga je uskladiti s ostalim susjednim postojećim i poznatim planiranim objektima, te ako se ne radi o rješavanju generalnoga ili provedbenog urbanističkog plana, potrebno je da investitor zatraži i dobije odgovarajuće uvjete o uredjenju prostora od nadležne općine. Dobivanjem uvjeta o uredjenju prostora za koridor predviđenog 110 kV dalekovoda u osnovi se osigurava koridor.

Medjutim, u praksi se uvjeti o uredjenju prostora izdaju na odgovarajući rok važnosti (obično 2 godine), tako da investitor mora na to obratiti pažnju i ažurirati produženje važnosti.

Treba napomenuti da je praksa izdavanja uvjeta uredjenja prostora, a time i osiguranja koridora za dalekovode, različita od općine do općine. Dok se kod jednih postupak izdavanja uvjeta, osiguranja i zaštite koridora odvija u skladu s pozitivnim zakonima i odredbama, dotle kod nekih, zbog objektivnih, ali i subjektivnih, poteškoća niti rezervirani i osigurani koridori uz izdane uvjete o uredjenju prostora nisu garancija da se na trasi dalekovoda u propisanom roku važnosti uvjeta neće izdati i izgraditi, s propisanom dokumentacijom, i neki drugi objekti.

Poteškoće koje se javljaju, često nastaju zbog toga što se izdani uvjeti i osiguranja koridora ne vode na jedinstvenom mjestu i ne ucrtavaju u jedinstvene karte. Problem često nastupa zbog činjenice da je koridor ucrtan u kartu jednog mjerila (1:5 000, 1:25 000 ili 1:50 000), dok se urbanistički ili katastarski planovi nalaze na kartama drugih mjerila, što nadležnom službeniku predstavlja poteškoće kod identifikacije i prijenosa.

Navedeni problemi osiguranja koridora za dalekovode istakli su važnost izrade idejnih projekata za ove objekte. Idejne projekte treba raditi odmah po sagledavanju potrebe izgradnje dalekovoda u nekom planskom razdoblju, tj. mnogo ranije nego što su u dosadašnjoj praksi izradjivani glavni projekti (tehnička dokumentacija za dobivanje gradjevinske dozvole ili tehnička dokumentacija za gradjenje objekta).

Pri izradi idejnog projekta investitor i projektant imaju relativno dosta vremena

za optimalan izbor i obradu trase, uz potrebne dogovore s nadležnim organima i očevid na terenu.

Na taj način utvrđena trasa, u sklopu idejnog projekta sa svim potrebnim suglasnostima i izdanim uvjerenjem o uvjetima uređenja prostora nadležnih općinskih organa, na vrijeme upoznaje ostale korisnike zemljišta s potrebama elektroprivrede te upućuje na poštivanje dogovorenih koridora.

2.4.1.2. Utjecaj približavanja i prelaženja preko drugih objekata

Već pri izradi prijedloga trase novog voda i verifikaciji na osnovi očevida situacije trase na terenu, u slučaju približavanja pojedinim objektima ili njihova prelaženja, postupa se u skladu s važećim Pravilnikom o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova (Sl.list, br. 51, od 27. rujna 1973.). U Pravilniku, član 106-258, određeni su detalji prijelaza vodova i njihovo približavanje raznim objektima, koje treba uvažavati pri projektiranju i izgradnji voda.

Važno je napomenuti da Pravilnik ne određuje u potpunosti sve moguće varijante i pojave odnosa "dalekovod-neki drugi objekt", što je i za očekivati, pa treba direktnom suradnjom projektanta voda i investitora s vlasnikom ili korisnikom objekta doći do obostrano zadovoljavajućih rješenja. Ta rješenja ili uvjeti, različiti za specifične objekte, proizlaze iz internih pravilnika ili propisa vlasnika objekta, ili jednostavno iz nužne prakse.

Takav je problem, na primjer, približavanje i paralelno vodjenje dalekovoda s podzemnim (nadzemnim) plinovodima, naftovodima, parovodima ili nadzemnim (podzemnim) vodovima elektroveza, gdje se javlja utjecaj dalekovoda na te vodove. Ovdje treba, ovisno o naponu dalekovoda, položiti trasu dalekovoda po mogućnosti na takav razmak od navedenih objekata da utjecaj dalekovoda bude što manji, kako bi se izbjegli relativno visoki troškovi rekonstrukcije objekata, ili čak problemi normalnog pogona ovih objekata. U svakom slučaju treba ocijeniti i usporediti troškove povećanja duljine izmaknutog dalekovoda u odnosu na troškove zaštite ili rekonstrukcije navedenih objekata.

Posebno treba naglasiti problem utjecaja dalekovoda na vodove elektroveza. Kontinuirani razvoj mreže vodova elektroveza, naročito u blizini urbaniziranih područja te područja specifične namjene, zahtijeva sve složenije i opsežnije proračune utjecaja.

Prema dosadašnjoj praksi, na osnovi prihvaćenih uputa, proračuna i kriterija PTT-a, projektanti dalekovoda u elaboratu utjecaja dalekovoda na vodove elektroveza proračunavaju opasnosti i smetnje koje dalekovod u pogonu uzrokuje na tim vodovima .

Zna se da je nemoguće egzaktno odrediti sve elemente koji ulaze u proračun utjecaja, kao na primjer karakteristični (telefonski) faktor oblika napona, srednju visinu vodiča dalekovoda i vodiča elektrovezova iznad zemlje, faktor međui indukcije i faktor kompenzacionog djelovanja struje koja se inducira u omotačima kabela i susjednim metalnim masama (tračnice ili podzemne metalne instalacije i cijevi koje se kod snimanja ne mogu vidjeti), pa se oni utvrđuju na osnovi ranije prakse i iskustva za pojedine slučajeve.

Rezultati proračuna u elaboratima utjecaja gotovo uvijek pokazuju znatno veći utjecaj dalekovoda na vodove elektrovezova nego što je stvarni utjecaj izgrađenog dalekovoda. To je dosad više puta mjerenjem potvrđeno na dalekovodima svih naponskih nivoa.

Iz navedenoga može se zaključiti da je vrlo skupa i neracionalna praksa (pa čak imajući na umu razvoj i stanje elektroprivrednih objekata kroz 5 ili 10 godina) zaštita vodova elektrovezova na osnovi elaborata utjecaja.

Elaborate treba, naravno, i dalje raditi da bi se dobila veličina utjecaja, odnosno stanje na vodovima elektrovezova, ali zaštitu vodova elektrovezova (kabliranje, premještanje, ugradnja zaštitne opreme) trebalo bi poduzimati nakon izgradnje dalekovoda i provedenih mjerenja na ugroženim dionicama. To bi trebao biti uskladjeni stav Elektroprivrede i PTT-a.

U nastavku, potrebno je navesti i slučajeve prelaženja i paralelnog vođenja dalekovoda s podzemnim, odnosno nadzemnim cjevovodima.

Važeći Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova, član 216-220, određuje detalje prijelaza nadzemnih cjevovoda. Za podzemne cjevovode, član 221, uvjete križanja treba odrediti sporazumno s nadležnim organima, tj. vlasnikom ili korisnikom cjevovoda.

U tom slučaju potrebno je načiniti proračun utjecaja dalekovoda na podzemni cjevovod i ustanoviti inducirani potencijal, odnosno napon dodira.

U dosadašnjoj praksi korištene su njemačke smjernice VDEW 30/66 Si i austrijske tehničke preporuke TKB-TE30/5.68.

Na osnovi potvrđene valjanosti u dugogodišnjoj primjeni njemačke smjernice su uz odgovarajuće dopune prenesene u tekst prijedloga našeg Normativa za približavanje i križanje podzemnih cjevovoda i elektroenergetskih postrojenja. Ovaj tekst je svojedobno iniciran izradom Pravilnika o izgradnji magistralnih naftovoda i plinovoda (pri Jugoslavenskom zavodu za standardizaciju).

Postojeći pravilnici i propisi za izgradnju naftovoda, plinovoda i ostalih podzemnih cjevovoda predviđaju detalje križanja i približavanja te mjere zaštite cjevo-

voda s pripadnim uredjajima za posluživanje. U ovom slučaju treba naglasiti da kada se proračunom utjecaja dobiju vrijednosti jednake ili veće od dozvoljenih, pravilnik za izgradnju podzemnih cjevovoda predviđa mjerenje stvarnog stanja na izgrađenom objektu, nakon čega se dogovorno donosi odluka o primjeni potrebnih mjera zaštite.

Sličan je problem i kod prelaženja odnosno približavanja žičanih mreža, što je dano u Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova, član 212-215. Pravilnik (čl. 215) obavezuje projektanta i investitora da kod vodova napona 110 kV i više predvidi uzemljenje žičanih mreža vinograda, voćnjaka ili polja zasijanih hmeljom u pojasu do 60 m s obje strane voda uz maksimalni otpor uzemljenja 25Ω .

Ova obaveza u danoj formi stavlja u nedoumicu projektanta i investitora jer, na primjer, izjednačuje problem uzemljenja žičane mreže vinograda ili voćnjaka velikoga poljoprivrednog kombinata (duljina žice i više stotina metara) s privatnim vinogradom ili voćnjakom (duljina žice do 10 m). Problematika je u navedenim slučajevima različita i postupanje prema Pravilniku za oba slučaja sigurno je neracionalno pa bi i ovdje trebalo prethodno predvidjeti mjerenja, a zatim izvoditi uzemljenje.

Interesantno je spomenuti i slučaj približavanja dalekovoda aerodromu. Član 225 Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova za navedeni slučaj daje tri osnovna uvjeta: nadzemni vodovi ne smiju prelaziti preko aerodroma, ne smiju se približavati poletno-sletnoj stazi na udaljenosti manjoj od 1 000 m i ne smiju sjeći pravac poletno-sletne staze na udaljenosti manjoj od 3 000 m. Kod lokacije trase dalekovoda treba medjutim voditi računa i o posebnim zahtjevima koje za sigurno korištenje aerodroma postavlja Savezni komitet za saobraćaj i veze, Zrakoplovni inspektorat - Beograd, a na osnovi Pravilnika o projektiranju, izgradnji i rekonstrukciji civilnih aerodroma i njihovoj klasifikaciji.

Ovisno o klasi aerodroma (javni saobraćaj, sportska avijacija i vlastite potrebe, hidrodromi, heliodromi) određena je duljina poletno-sletne staze, odnosno kanala za polijetanje i slijetanje, kao i svi ostali elementi i normativi za tu klasu. Ovdje je uključena tzv. horizontalna i konusna ravnina za svaki aerodrom pa je na taj način dan i kriterij za određivanje da li se neki objekt uopće može graditi u blizini aerodroma, odnosno da li ga se mora smatrati preprekom i obavezno obilježiti.

U vezi dalekovoda navedeni inspektorat može zatražiti korekciju predložene trase te postaviti uvjete o maksimalnim visinama stupova na nekoj dionici, ili obilježavanju stupova i užadi kao prepreke za letenje.

Radi uočavanja po danu, tj obilježavanja kao prepreka za letenje u uvjetima

vanjske vidljivosti, stupove treba obojiti naizmjenično na crveno-bijela polja visine 3 - 5 m, s tim da polje na vrhu stupa bude crvene boje, a zaštitno uže (najviše uže na vodu) treba označiti crveno-bijelim kuglama i zastavicama.

Može se npr. tražiti montažu kugla promjera 35 cm na maksimalnom razmaku 40-45 m, ili zastavica 60 x 60 cm na razmaku 15 m.

Za noćno uočavanje zahtijeva se montaža posebnih svijetiljki na dalekovodu, na osnovi ranije navedenih kriterija. Za ispravnost oznaka uočavanja odgovoran je nosilac prava korištenja dalekovoda.

Svi ti zahtjevi poskupljuju izgradnju dalekovoda, a nakon izgradnje znače trajnu obavezu korisnika voda da održava u ispravnom stanju.

Identični su zahtjevi i za vojne aerodrome.

Prilikom lokacije trase dalekovoda na izrazito poljoprivrednim područjima treba voditi računa i o poletno-sletnim stazama poljoprivredne avijacije. Ovdje se problemi uglavnom mogu riješiti korekcijom trase dalekovoda, upotrebom nižih stupova i postavljanjem oznaka za dnevno uočavanje.

Uz navedenu smetnju avionima privredne avijacije kod polijetanja i slijetanja, dalekovodi su smetnja i pri aerotretiranju poljoprivrednih površina, tj. pri raspršivanju insekticida, pesticida i prihranjivanju zemljišta umjetnim gnojivima,

Ako na nekom poljoprivrednom području ima više izgrađenih paralelnih dalekovoda s uobičajeno širokim međusobnim razmakom, za to se područje ne može efikasno koristiti poljoprivredna avijacija.

Uz već navedeno, kao i činjenicu da svako stupno mjesto i eventualno visina vodiča dalekovoda iznad terena umanjuje mogućnost primjene poljoprivredne mehanizacije, jasno je zašto predstavnici poljoprivredno-industrijskih kombinata prilikom lokacije trase "guraju" trasu dalekovoda na rub poljoprivredne površine.

Sličan je problem minimalno dozvoljenog približavanja dalekovoda antenama predajnih i prijemnih stanica ili odašiljačima radija i televizije, vojnim objektima, specifičnim privrednim objektima i postrojenjima itd.

Pri lokaciji trasa treba voditi računa i o planiranim budućim objektima, odnosno urbaniziranim područjima, te vod locirati uvažavajući sve okolnosti.

Ovako locirana trasa u skladu s važećim Pravilnikom, a i prema svim zahtjevima s terena, nužno se produljuje u odnosu na zamišljenu najkraću liniju između početne i krajnje točke.

Produljenje trase dalekovoda znači povećane troškove izgradnje.

Pri prijelazu nadzemnog voda preko različitih objekata Pravilnik traži određene mjere koje treba poduzeti radi povećanja sigurnosti bilo objekta koji se prelazi, bilo voda. Opseg tih mjera propisan je u skladu s važnošću objekta te vjerojatnosti i veličini opasnosti.

Mjere sigurnosti koje se prema propisima moraju primijeniti u različitim slučajevima su sljedeće:

- potpuna zabrana prijelaza
- održavanje određenih sigurnosnih visina i sigurnosnih udaljenosti u normalnim prilikama
- održavanje minimalnih sigurnosnih visina i u slučaju nejednakog otpadanja led
- pojačana električna sigurnost izolacije i zaštita izolatora od preskoka
- pojačana mehanička sigurnost izolacije
- smanjenje naprezanja vodiča i zaštitnog užeta
- računanje izuzetnoga dopuštenog naprezanja u ovjesištu pod pretpostavkom povećanoga izuzetnog dodatnog tereta vodiča i zaštitnog užeta
- ograničenje minimalnih presjeka vodiča i zabrana žica
- ograničenje kuta prijelaza
- zabrana nastavljanja vodiča i zaštitne užadi
- zabrana iskočnih stezaljki
- ograničenje broja nosivih stupova u prijelaznom polju
- ograničenje u upotrebi drvenih stupova, povećana sigurnost zateznih stupova prijelaznog polja

Prijepis detalja i zahtjeva vezanih uz prijelaze dalekovoda preko pojedinih objekata, što je dano u čl. 111-258 Pravilnika, u ovom tekstu ne bi imao smisla, no moguće je dati tablicu s pregledom sigurnosnih visina na prijelazu pojedinih objekata, te kraći zaključak o konačnom efektu tih zahtjeva (tabl. 2.11.).

Navedene sigurnosne visine i udaljenosti vrijede za visokonaponske vodove do 110 kV.

Za vodove nazivnog napona 220 kV sigurnosne visine i udaljenosti treba povećati za 0,75 m, a za vodove nazivnog napona 380 kV za 2,0 m od vrijednosti za napon 110 kV.

Vodenje nadzemnih vodova preko zgrada koje služe za stalni boravak ljudi treba primijeniti samo u iznimnim slučajevima. Bez obzira na propisane minimalne sigurnosne visine i udaljenosti, treba nastojati da radi psihološkog efekta na ljude ove visine i udaljenosti budu što veće. Ovaj zaključak upućuje na upotrebu stupa veće visine.

NAZIV OBJEKTA	SIGURNOSNA VISINA (m)	SIGURNOSNA UDALJENOST (m)
nepristupčana mjesta	4,0	3,0
nepristupačna mjesta za vozila	5,0	4,0
pristupačna mjesta za vozila	6,0	5,0
zgrade (nepristupačni dio)	3,0	3,0 *
zgrade (pristupačni dio)	5,0	4,0 *
zgrade zapaljiva krova	12,0	5,0
skladišta zapaljivog materijala	- **	H + 3,0
naseljena mjesta	7,0	./.
sportska igrališta	12,0	12,0
skijaške skakaonice	- **	12,0/6,0
stabla	2,5	2,5
ceste (II - IV reda)	7,0	10,0/5,0***
ceste (I reda)	7,0	20,0/10,0***
autoceste	7,0	40,0/10,0***
gradske ulice	7,0	./.
tramvaji, trolejbusi	3,0	3,0
splavne rijeke	7,0	./.
plovne rijeke, kanali	15,0	10,0/6,0***
mostovi	5,0	5,0
antene radio i tv prijemnika	- **	5,0
antene rtv predajnika	- **	dogovor
vodovi VV	2,5	1,0
vodovi NN	2,5	2,0
vodovi TT (35 - 110 kV)	3,0	./.
vodovi TT (220 kV)	4,0	./.
vodovi TT (380 kV)	5,5	./.
žičare	5,0	5,0
žičani plotovi	3,0	3,0
žičane mreže	3,0	2,5
cjevovodi	4,0	4,0
stogovi, sušionice	10,0	10,0
želj. pruge (neelektrificirane)	7,0	10,0/5,0
želj. pruge (elektrificirane)	12,0	15,0
industrijske pruge	7,0	10,0/5,0

* - dodatni uvjet vertikalne udaljenosti i u slučaju dodatnog tereta u prelaznom rasponu, a bez dodatnog tereta u susjednom rasponu

** - zabranjeno prelaženje

*** - horizontalna udaljenost

Na prijelazu zgrade sa zapaljivim krovom potrebna je sigurnosna visina od 12 m, što može značiti upotrebu višeg stupa.

Ne dozvoljava se prijelaz voda preko objekata u kojima se nalazi lako zapaljiv materijal, pa treba predvidjeti izmicanje trase na tom području. Član 125 Pravilnika propisuje horizontalnu sigurnosnu udaljenost od takvog objekta, koja je jednaka visini stupa uvećanoj za 3 m. To je uvjet da dalekovod ne ugrozi objekt s lako zapaljivim materijalom. Treba napomenuti da uvjet iz čl. 125 Pravilnika u slučaju skladišta eksploziva nadležni organi za eksplozive često u praksi ne prihvaćaju, traže mnogo veće razmake između skladišta i dalekovoda, uz obrazloženje da se time vodi računa o sigurnosti dalekovoda u odnosu na skladišta.

U ovom slučaju, a ni inače nije u redu da institucije izvan elektroprivrede propisuju uvjete radi sigurnosti dalekovoda i time često praktično onemogućuju njegovu izgradnju.

Prijelaz preko registriranih sportskih igrališta dopušta se samo iznimno. Zbog obaveze smanjenja naprezanja užadi treba predvidjeti zatezne stupove na prijelazu ili eventualno više nosive stupove u tom zateznom polju.

Ne dozvoljava se prijelaz voda preko odskočne staze na skijaškoj skakaonici. Iako Pravilnik predviđa sigurnosnu udaljenost, izmicanjem trase voda, uopće treba nastojati izbjeći rekreacijsko turistička područja.

U Pravilniku je dana sigurnosna udaljenost voda od stabala, pa i u slučaju rušenja stabala, što pretpostavlja postojanje šumskog prosjeka. Zbog sve veće potrebe očuvanja okoliša treba na dionicama prolaza dalekovoda preko šumom pokrivenih područja razmišljati i o vodovima s višim stupovima, kako bi se izbjegli prosjeci.

Na prijelazu cesta I reda (oznaka nije u skladu sa Zakonom o cestama) potrebno je paziti na određeni minimalni kut prijelaza (30°) i udaljenost stupa od vanjskog ruba ceste. Važno je pri lokaciji trase voditi računa o kutu prijelaza.

Na prijelazu auto-cesta treba smanjiti naprezanja užadi, pa je potrebno predvidjeti zatezne stupove.

Prijelaz gradskih ulica i gusto naseljenih mjesta, zbog smanjenja naprezanja užadi, uvjetuje više stupove te upotrebu zateznih stupova.

Plovne rijeke i kanali, zbog sigurnosne visine najvišeg vodostaja plovnosti od 15 m, kao i obaveznog smanjenja naprezanja užadi na mjestu prijelaza, uvjetuju ekstremno visoke stupove (nosive ili zatezne) i upotrebu zateznih stupova.

Na mjestima križanja visokonaponskih vodova obično se primjenjuju ili vrlo

visoki stupovi (kod prelaženja postojećeg voda), ili vrlo niski, specifični sa zbijenom glavom (kod provlačenja ispod voda).

Na mjestima križanja željezničkih pruga potrebno je smanjiti naprezanje užadi i upotrijebiti posebno kontrolirane prelazne stupove. Sigurnosna visina iznad gornjeg ruba iznosi 12 m (sve javne pruge tretiraju se kao elektrificirane, osim industrijskih), što obično zahtijeva vrlo visoke stupove na prijelazu.

Namjerno, zbog opširnosti teksta, nije uz svaki prijelaz navedena potreba električkog ili mehaničkog pojačanja izolacije.

I ovako sažet prikaz obaveznih mjera, koje prema Pravilniku treba poduzeti na pojedinim križanjima, upućuje na zaključak da prijelaz dalekovoda preko nekog objekta zahtijeva u osnovi viši stup i pojačanje izolacije. Ako to situacija na trasi dozvoljava, sigurnosna visina voda može se postići lokacijom stupa bliže objektu, no to nije uvijek moguće. Ako se na prijelazu zahtijeva i smanjenje naprezanja užadi, to znači novi zatezni stup u trasi, povećanje težine konstrukcije itd.

Sve te mjere znače povećanje cijene izgradnje voda pa stoga treba, koliko god je moguće, trasu postaviti sa što manje križanja s drugim objektima.

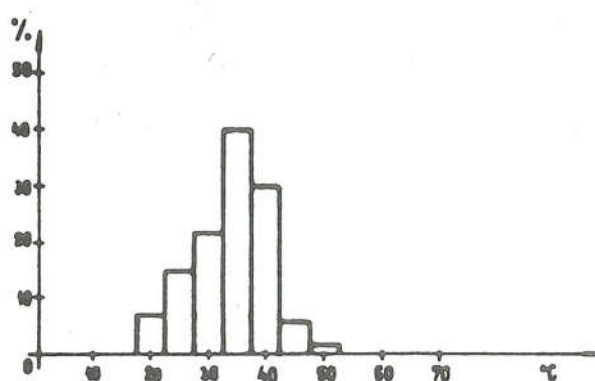
Sigurnosne visine i sigurnosne udaljenosti definirane na način kako je učinjeno u našim propisima, predstavljaju empirijske vrijednosti koje su kroz dosadašnju praksu dale zadovoljavajuću sigurnost da neće doći do proboja zračne izolacije pri bilo kakvim vremenskim uvjetima i normalnom pogonskom naponu voda, kao niti pri odredjenim prosječnim vremenskim uvjetima i pojavi prenapona unutrašnjeg porijekla. Sigurnosne udaljenosti i sigurnosne visine utvrđuju se za temperaturu vodiča od $+40^{\circ}\text{C}$, dok se za vodove s velikim strujnim opterećenjem preporuča kontrola visina pri $+60^{\circ}\text{C}$. Nadalje, propisi definiraju maksimalnu dozvoljenu temperaturu vodiča u iznosu $+80^{\circ}\text{C}$, pri čemu se uzima maksimalna temperatura od $+40^{\circ}\text{C}$. Ovakav način definiranja uvjeta kontrole sigurnosti visina stvorio je odredjene nedoumice u pogledu određivanja maksimalne strujne opteretivosti dalekovoda u normalnom pogonu. Pitanje je dosta aktualno i u svjetskim relacijama, pa je radna grupa WG 22-05 međunarodne organizacije CIGRE provela anketu u kojoj su sudjelovale brojne organizacije iz cijelog svijeta.

Jedan od zaključaka, što slijedi iz slika 2.8. i 2.9. jest da većina zemalja računa s maksimalnom temperaturom okoliša u iznosu od 30°C do 40°C , dok je maksimalna temperatura vodiča najčešće u granicama od 70°C do 100°C .

Ne ulazeći sada u detalje ove problematike, o čemu će se u našoj praksi u buduće morati povesti više računa, moramo istaći činjenicu da su najčešće sigurnosne visine naših vodova određene za $+40^{\circ}\text{C}$, smatrajući to istodobno i maxi-

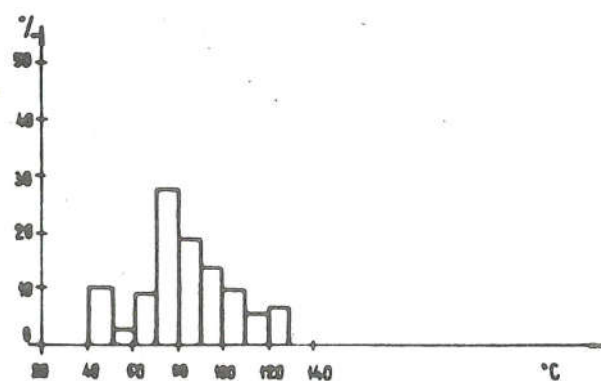
malnom temperaturom vodiča. Da li se vodič može opteretiti više pa i do maksimalnih $+80^{\circ}\text{C}$, moguće je, barem zasad odgovoriti tako da se na svakom pojedinom vodu, gdje to ocijenimo potrebnim zbog koincidencije visokih vanjskih temperatura i velikog strujnog opterećenja, organiziraju detaljnija mjerenja provjesa i analiza kritičnih razmaka u trasi voda.

*Histogram
temperatura okoliša s kojom se
računa u pojedinim zemljama*



Slika 2.8.

*Histogram
temperatura vodiča s kojom se
računa u pojedinim zemljama*



Slika 2.9.

2.4.1.3. Utjecaj na korištenje zemljišta

Jedan od najizraženijih oblika negativnog utjecaja dalekovoda na okoliš jest utjecaj na korištenje zemljišta, a ogleda se bilo u fizičkom zauzimanju određenog prostora (stupna mjesta) bilo u restrikcijama na način korištenja zemljišta na određenom razmaku od vodiča dalekovoda.

Da bi se identificirao oblik i težina utjecaja na korištenje zemljišta, napravljene su sljedeće kategorije prostora preko kojih prelaze dalekovodi:

- šume
- poljoprivredne površine
- pašnjaci
- industrija, trgovina (skladišta)
- transport (komunikacije, cjevovodi, kanali i sl.)
- urbanizirani prostori
- zaštićena područja
- teren za sport i rekreaciju
- nenaseljena područja
- ostali tereni.

a) Šume

Kriterij izgradnje dalekovoda kroz šumske površine različit je u pojedinim zemljama. Dok je u nekim zemljama potpuno zabranjena izgradnja dalekovoda kroz šumu, u nekim zemljama se izgradnja dozvoljava, ali vodiči moraju biti na dovoljnoj sigurnosnoj visini iznad krajnje granice rasta drveća, tj. uvjetuje se izgradnja bez sječe šume. To, naravno, zahtijeva dodatne troškove zbog viših (težih) stupova i specifičnih uvjeta montaže vodiča i zaštitnog užeta.

Kod nas je gradnja dalekovoda kroz šume uglavnom vezana uz izradu šumskih prosjeka. Širina prosjeka zavisi i od visine stabala, jer prema pravilniku za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova sigurnosna udaljenost (2.50 m) mora biti održana i u slučaju rušenja stabala, mjereno od neotklonjenih vodiča.

Razdvajanje šumske cjeline relativno širim ogoljelim zonama uvijek je nepovoljno za život flore i faune na tom području. Šumska gospodarstva mogu ove ogoljele površine zasaditi odgovarajućim nižim raslinjem (novogodišnje jelke, rasadnici ukrasnog drveća, voćaka i sl.) koje, uz ostalo, može dati pozitivne financijske rezultate.

Ako u šumi postoje otprije uredjeni koridori, tj. prosjeci za transport drveta, sprečavanje širenja požara ili za neke druge namjene, treba nastojati položiti trasu u te koridore uz njihovo eventualno proširenje.

b) Poljoprivredne površine

Stup dalekovoda izgrađen na poljoprivrednoj površini predstavlja smetnju pri obradi zemljišta pomoću mehanizacije (priprema zemljišta, zaštita uroda i prihranjivanje, žetva ili iskop plodova i sl.).

Veličina smetnje nadalje ovisi o tipu stupa. Tip "igla" s obaveznim zategama sigurno je veća smetnja na poljoprivrednoj površini nego "samostojeći" stup.

Treba uzeti u obzir i broj stupova na promatranoj dionici, koji je određen naponskim nivoom, odnosno adekvatnim presjekom vodiča i zaštitnog užeta.

Visina vodiča iznad zemlje, odnosno naponski nivo, mogu sprečavati upotrebu suvremene mehanizacije veće visine.

O tome treba voditi računa prilikom razmještaja stupova i određivanja sigurnosne visine vodiča.

Isto tako vodiči mogu biti smetnja i prilikom zaprašivanja, odnosno polijevanja poljoprivrednih površina, bilo iz zraka ili sa zemlje.

Električno polje dalekovoda može inducirati nepovoljne napone na žičanim ogradama,

žicama plantažnih vinograda, voćnjaka ili hmeljišta te na cijevnim sistemima za navodnjavanje i zalijevanje.

Dosadašnja istraživanja u svijetu nisu pokazala da postoji negativni, štetni utjecaj elektromagnetskog polja na vegetaciju u blizini dalekovoda.

c) Pašnjaci

Kao što je navedeno za vegetaciju, tako nisu primijećeni štetni utjecaji elektromagnetskog polja dalekovoda niti na stoku. U biti nema loših posljedica za korištenje pašnjaka nakon izgradnje dalekovoda. Ipak, potrebno je voditi računa o mogućnosti da neke površine pašnjaka sutra mogu postati obradive površine i to valja uvažavati pri lokaciji trase, a naročito pri mikrolokaciji stupnog mjesta.

d) Industrijski prostori, trgovina (skladišta)

Sam industrijski objekt mijenja i devastira okoliš, pa izgradnja dalekovoda u tom sklopu znači vrlo mala pogoršanja.

Pri projektiranju dalekovoda iznad industrijskih prostora treba uvažavati specifične tehničke zahtjeve prijelaza ili približavanja svakom pojedinom objektu u proizvodnom procesu imajući na umu mogućnost ugrožavanja objekta dalekovodom (požar, eksplozija itd.) ili mogućnost da objekat ugrožava dalekovod (acrozagadjenja, cementna prašina, rušenje objekta, ugrožavanje temelja stupa itd.).

Prilikom izbora trase i lokacije stupnih mjesta treba voditi računa o predviđenim koridorima za ceste, o putovima transporta sirovine i ostalog materijala (kranovi, dizalice, pomične trake), o proizvodnim halama, skladištima, parkiralištima itd.

Izgrađeni dalekovod ne smije ometati daljnji razvoj industrijske zone (izgradnju novih objekata, proširenje nalazišta materijala itd.).

e) Transport

Predviđene ili realizirane koridore za transport moguće je iskoristiti i za izgradnju dalekovoda. U svijetu postoje rješenja zajedničkog koridora za cestu, željeznicu i dalekovod pa bi u cilju racionalnijeg korištenja prostora i kod nas trebalo elastičnije rješavati te odnose.

Usporedbom vjerojatnosti rušenja stupova dalekovoda u visini temelja i njihova padanja na cestu ili željezničku prugu, s vjerojatnosti havarija sličnih instalacija uz ceste ili željezničke pruge (stupovi javne rasvjete uz rub ceste, stupovi nosači kontakne mreže uz željezničke pruge i sl.), moglo bi se doći do realnih udaljenosti

stupova dalekovoda od tih saobraćajnica, koje su sigurno manje od zahtijevanih današnjom praksom.

f) Urbanizirani prostori

Trase dalekovoda preko urbaniziranih prostora, u suradnji s urbanistima, treba uskladiti s generalnim i provedbenim urbanističkim planovima. Na taj način izgradjeni dalekovod neće biti smetnja za normalno odvijanje aktivnosti na tom području, niti za razvoj područja u budućnosti.

Kriterij prijelaza dalekovoda preko urbaniziranih područja, konkretnije preko stambenih ili poslovnih prostora, parkirališta, parkova, rekreacijskih terena, prometnica i sl. različit je u pojedinim zemljama.

Posebna pažnja poklanja se prijelazima dalekovoda preko stambenih zgrada, a ima zemalja gdje je takav prijelaz potpuno zabranjen.

Kod nas, prema važećem Pravilniku treba izbjegavati prelaz preko stambenih zgrada, a može ga se realizirati samo u izvanrednim slučajevima, ako to diktiraju sve ostale okolnosti. Prilikom projektiranja posebno se vodi računa o dovoljnim sigurnosnim visinama i udaljenostima vodiča od takvih zgrada.

g) Zaštićena područja

Zaštićena područja, misli se na nacionalne parkove, krajeve s prirodnim ljepotama ili povijesne lokalitete, treba izbjegavati već prilikom izbora i lokacije trase.

Ako je nužno realizirati trasu na takvom području, treba poduzeti sve da se umanjí nepovoljan vizualni dojam.

h) Tereni za sport i rekreaciju

Prilikom lokacije trase dalekovoda treba nastojati izbjeći sportske i rekreacijske terene i objekte. Bez obzira na dovoljne sigurnosne visine i udaljenosti vodiča ili stupova od tih terena ili izgrađenih objekata i na to da nema smetnji od dalekovoda za odvijanje sportskih aktivnosti, ostaje prisutan nepovoljan vizualni dojam ako se dalekovod izgradi pokraj izgrađenoga sportskog objekta.

S druge strane, treba nastojati koridore dalekovoda kroz izvedene šumske prosjeke ili urbanizirane zone opremiti i urediti za sport i rekreaciju, što u tom slučaju ostavlja vrlo povoljan dojam.

i) Nenaseljena područja

Na nenaseljenim područjima nema neposrednih štetnih posljedica prilikom izgradnje ili u pogonu dalekovoda.

Ipak, potrebno je voditi računa o prirodnim potencijalima i perspektivi razvoja tog područja, kako ne bi došlo do potrebe premještanja trase dalekovoda.

j) Ostali tereni

Uz ranije navedene kategorije prostora, dalekovodi prelaze i "ostale terene". Njihovo nabranje u ovom tekstu ne bi imalo smisla jer su različiti po sadržaju, namjeni, uvjetima rada, specifičnim zahtjevima itd. Ovamo npr. spadaju rudnici, zone u blizini aerodroma, vojnih objekata, nacionalnih instituta, raznih poligona i sl.

U svakom slučaju pri projektiranju i izgradnji dalekovoda potrebno je uvažiti zahtjeve korisnika prostora.

Sve dosada navedeno upućuje na zaključak da efekti promjene namjene zemljišta radi izgradnje dalekovoda ne moraju obavezno biti negativni, barem ne u onoj mjeri u kojoj to najčešće biva.

Postoje primjeri vrlo efikasnog korištenja zemljišta u koridoru dalekovoda za druge svrhe, što je u osnovi povezano s manje krutim odnosom prema mogućim opasnostima od elektromagnetskog polja ili havarija dalekovoda. To su primjeri korištenja koridora dalekovoda za:

- pješačke i biciklističke staze
- ceste, parkirališta, garaže
- zajedničke, paralelne trase cesta, željeznice, kanala, cjevovoda (naročito na nenaseljenim terenima)
- izletničke objekte
- terene za sport i rekreaciju
- dječja igrališta i sl.

Ima primjera u svijetu da stručne službe elektroprivrede izdaju i raspačavaju popularne upute i objašnjenja za život i rad u blizini elektroprivrednih objekata, gdje jednostavnim razumljivim tekstom i prikladnim skicama upućuju stanovništvo na određeno ponašanje pri aktivnostima u blizini visokonaponskih vodova.

Za primjer u nastavku je dan dio teksta iz jednog popularnog izdanja IEEE iz veljače 1983. godine.

Opće upute za sigurnost ljudi:

- ne penjite se na konstrukciju nadzemnog voda;
- ne dodirujte vodiče i nemojte dolaziti u blizinu vodiča. Vodiči nisu izolirani čvrstom izolacijom pa se opasni električni kontakt može stvoriti i bez fizičkog kontakta. Električni luk može nastati na udaljenosti od desetak centimetara do jednog metra;
- ne pucajte u vodiče nadzemnog voda;
- ne palite vatru u blizini nadzemnog voda. Plamen i dim od vatre mogu prouzročiti opasne preskoke između vodiča i zemlje;
- ne puštajte aeromodele u blizini nadzemnog voda;
- budite dovoljno udaljeni od stupova za vrijeme grmljavine;
- budite pažljivi kod rukovanja strojevima i predmetima u blizini voda;
- ne penjite se na ograde koje okružuju trafostanice ili elektroprivredne objekte;
- sisteme za navodnjavanje usmjeravajte u suprotnom pravcu od vodiča;
- pažljivo sijecite stabla jer kod rušenja stabala može doći do električnog kontakta između vodiča i stabla;
- ne pretačite gorivo ispod nadzemnih vodova;
- metalne konstrukcije podignute u blizini nadzemnog voda (gradjevine, kranovi, ograde...) treba dobro uzemljiti;
- konzultirajte nadležnu elektroprivrednu organizaciju o mogućnosti upotrebe određenih strojeva ispod voda, o postavljanju određenih cjevovoda i drugih instalacija ispod voda, o miniranju u blizini koridora nadzemnih vodova te o ostalim aktivnostima.

2.4.2. Vizualni utjecaji

Dalekovodi zauzimaju poljoprivredne površine, ograničavaju suvremenu obradu zemljišta, rastavljaju šumske cjeline, pretpostavljaju slobodne koridore na urbaniziranim područjima i privrednim objektima.

U tom pogledu problem je identičan s problemima vezanim uz izgradnju svih ostalih objekata potrebnih za razvoj suvremenog društva.

No, potrebno je naglasiti da u pogonu, za razliku od većine ostalih objekata, dalekovodi ne zagađuju zemlju, vodu i zrak, već se kao problem javlja određeni vizualni učinak na stanovništvo.

Kompletno rješenje vizualnog učinka nije moguće, osim primjenom podzemnih kabela, što se zbog neekonomičnosti koristi samo u iznimnim slučajevima.

Uz odgovarajuće uvjete mogu se odrediti neke mjere radi smanjenja vizualnih problema, a da se pri tom cijena izgradnje dalekovoda mnogo ne poveća. Za svaki konkretni slučaj treba dakle istražiti optimalno rješenje, tj. postići najmanji vizualni učinak u skladu s interesima ostalih korisnika zemljišta, a uz minimalne troškove izgradnje.

O toj problematici, u svijetu i u nas, u zadnjih desetak godina vodjeno je dosta računa pa postoje brojna rješenja uklapanja dalekovoda u okoliš u svrhu ublažavanja vizualnog učinka. Sva rješenja jedinstveno teže cilju izgradnje što je moguće ne-upadljivijeg dalekovoda.

Na osnovi dosadašnjih iskustava vizualni učinak dalekovoda, uvažavajući ostale probleme i zahtjeve na trasi, može se rješavati:

- izborom trase, tj. postavljanjem trase s najboljim uklapanjem u okoliš
- prirodnim zaklanjanjem i rehabilitacijom terena
- kamuflažom
- izborom stupova.

2.4.2.1. Izbor trase

Pri izboru trase dalekovoda treba izbjegavati područja izrazitih prirodnih ljepota te arhitektonske i povijesne vrijednosti. To pretpostavlja skretanja trase u cilju da se vod što bolje sakrije.

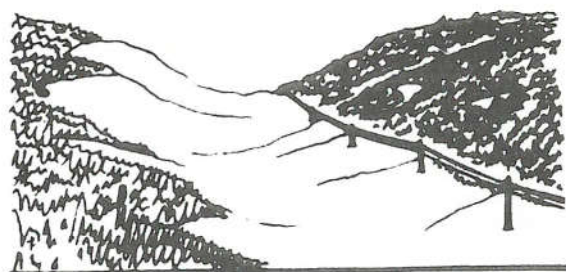
Skretanje trase znači produljenje voda zamišljenog između početne i krajnje točke i povećanje materijalnih troškova izgradnje, što je zapravo cijena očuvanja okoliša.

Trasu treba položiti na osnovi očevida na terenu, s temeljitim postupkom ocjenjivanja vizualnog učinka dalekovoda na promatrača na pojedinim vidikovcima, tj. dionicama i točkama uz trasu dalekovoda kao što su ceste, stambena, turistička, rekreacijska ili povijesno-spomenička područja.

Dalekovod položen prema slici 2.10. uništio bi krajolik i potencijalne turističko-rekreacijske mogućnosti. Položen prema slici 2.11. nije vizualno nametljiv i ne remeti funkcije površina.



*Loše položen vod
Slika 2.10.*



*Dobro položen vod
Slika 2.11.*

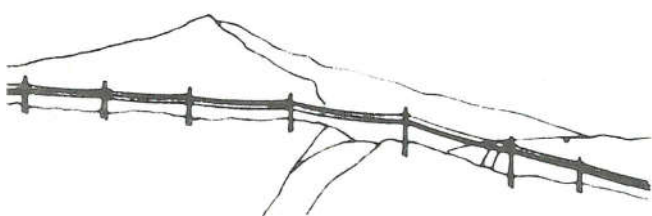
Pri ocjenjivanju vizualnog učinka treba uzeti u obzir činjenicu da se taj učinak s blizinom dalekovoda povećava pa na posebno vrijednim vidikovcima trasu treba udaljiti.

Na pojedinim interesantnim područjima dalekovod može zauzeti veći dio vidnog polja nego na drugima pa to treba uzeti u obzir i predvidjeti korekcije.

Vrlo je važno voditi računa o stupnju ocrtavanja dalekovoda na pozadini, odnosno o vizualnoj nametljivosti dalekovoda.

Razmišljanja o navedenim problemima i uspjeh pojedinih zahvata u dosadašnjoj praksi doveli su konačno do rješenja koja treba imati na umu pri izboru i lokaciji trase.

Treba izbjegavati trasu koja se jasno uočava s prometnica (kao na primjer na slici 2.12.), parkirališta i ostalih interesantnih točaka promatranja. Bolje rješenje trase dano je na slici 2.13. To znači postavljanje trase iza prirodnih zaklona kao što su šume, brda, brežuljci, ili unutar skrivenih dolina i ostalih depresija terena.

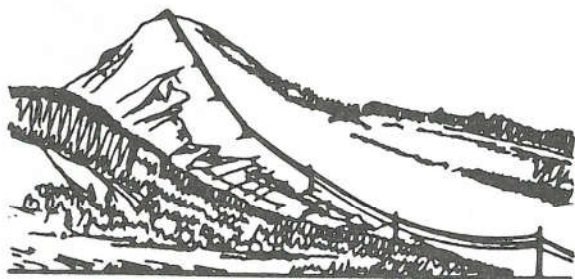


Uočljiva trasa voda
Slika 2.12.

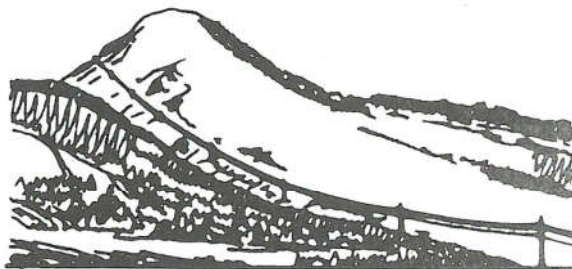


Neuočljiva trasa voda
Slika 2.13.

Treba izbjegavati postavljanje trase preko najviših kota brežuljaka ili općenito najviših kota terena, čime se sprječava ocrtavanje stupova na horizontu. Takav primjer dan je na slici 2.14. Trasa dalekovoda kao na slici 2.15. bolje se uklapa u okoliš.



Trasa voda preko kote brežuljka
Slika 2.14.



Trasa voda uklopljena u okoliš
Slika 2.15.

Ako je najpogodnija trasa teško pristupačna, pa sami pristupni putovi udaljenim stupnim mjestima mogu stvarati loš vizualni dojam, valja razmotriti mogućnost primjene helikoptera za gradnju i održavanje voda.

Sva navedena rješenja primjenljiva su u odnosu na stvarne okolnosti i situaciju na terenu. U pojedinim slučajevima rješenja mogu biti potpuno suprotna ovima, kao na primjer u gusto naseljenim mjestima gdje je jedini izbor trase upravo uz ceste ili druge prometnice i postojeće koridore.

Predviđene korekcije i skretanja trase radi provoljnijeg uklapanja u okoliš nužno zahtijevaju primjenu zateznih stupova koji su uočljiviji i vizualno nepogodniji nego nosivi stupovi u pravcu voda.

Značenje visine stupova nadzemnih vodova s obzirom na cjelokupni problem odnosa prema okolišu teško je procijeniti. Ako se vod promatra s istog ili nižeg nivoa, viši stup znači veću vizualnu nepogodnost. U slučaju kada promatrač na vod gleda prema dolje, tada visina stupa ima manje značenje nego masa konstrukcije, a posebno širina konzola i izolatori na konzolama.

Zavisno od situacije na terenu, tj. same konfiguracije terena, moguće je odlučiti se na eventualno više stupove i veće raspone i na taj način poboljšati vizualni učinak.

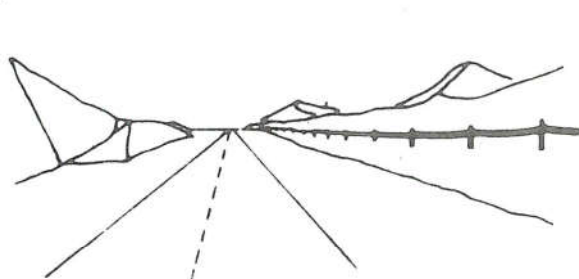
Nasuprot tome, efektno rješenje prijelaza vrha brda ili nekog prijevoja može se ostvariti primjenom dvaju nižih stupova na pokosu vrha s kraćim rasponom, umjesto jednog višeg stupa na samom vrhu s većim rasponima.

Pitanje visina stupa teško je definirati jer to ovisi o mnogo različitih faktora i okolnosti na terenu.

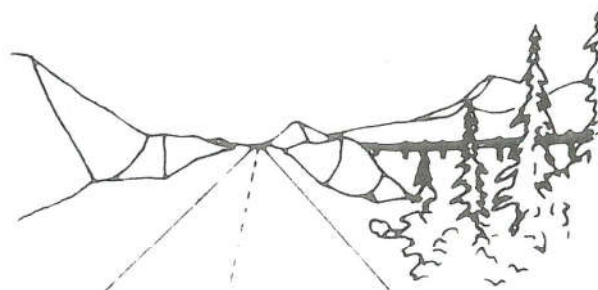
a) Prirodno zaklanjanje i rehabilitacija terena

Već je ranije spomenuto da se vizualni učinak dalekovoda može ublažiti prirodnim zaklanjanjem i rehabilitacijom terena.

Vizualni učinak dalekovoda na slici 2.16. mnogo je bolji nego u slučaju na slici 2.17.



*Nezaklonjena trasa voda
Slika 2.16.*



*Zaklonjena trasa voda
Slika 2.17.*

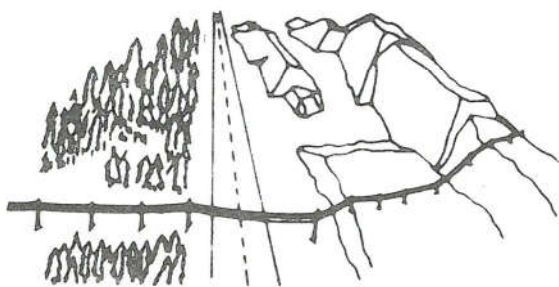
Dakle, postoje praktična rješenja potvrđena u svijetu i u nas, koja treba imati na umu pri projektiranju i izgradnji voda.

Osnovno je u tom slučaju da se prosjek kroz šumovite predjele ne izvodi i ne oblikuje bez mogućnosti zaklanjanja.

U prvom redu treba nastojati da relativno duži prosjek kroz šumu ne bude u pravcu. Potrebno je predvidjeti skretanja trase kroz eventualno lošije šumske površine, a prema mogućnostima koje pruža reljef pod šumskom površinom.

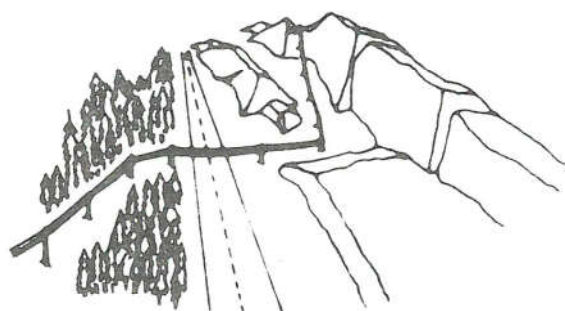
Šumski prosjek, ili trasa dalekovoda niz padinu ne smije se postaviti okomito na prometnice ili osjetljivo područje promatranja, već pod nekim kutem prema rubu prometnica (područja promatranja), kako bi se postigao prirodni zaklon prosjeka i dalekovoda.

Za ovaj slučaj dane su slike 2.18. i 2.19. Treba težiti postavljanju trase prema slici 2.19.



Trasa voda uočljiva s prometnice

Slika 2.18.



Trasa voda zaklonjena od prometnice

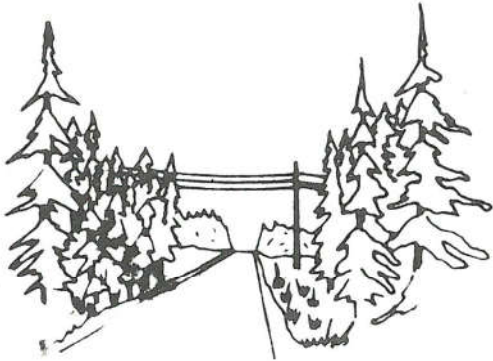
Slika 2.19.

Na mjestu križanja šumskog prosjeka i prometnice (slike 2.18. i 2.19.) u načelu treba predvidjeti kraći raspon, kako bi se dobio što niži stup. Kod toga treba paziti da stup ostane u zaklonu šume okružen netaknutim raslinjem na mjestu prijelaza, naravno uz poštivanje minimalnih sigurnosnih udaljenosti od drveća i raslinja.

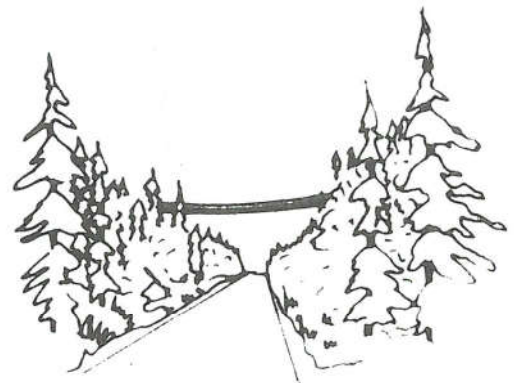
Uopće, sve se više zastupa mišljenje i sugerira da drveće i raslinje koje okružuje stupno mjesto ostane netaknuto što je moguće dalje od stupa, kako bi se načinio prirodni zaklon na mjestima gdje su vodiči na svojoj najvećoj visini.

U nastavku takvog razmišljanja nameće se kao obaveza potpuno sačuvanje šumskih

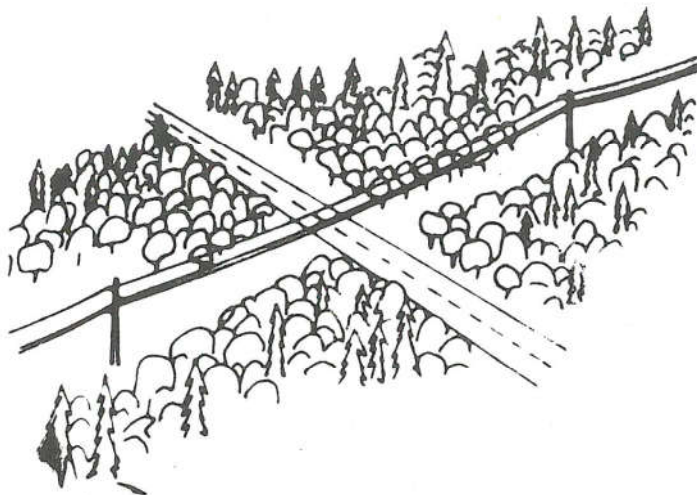
površina u rasponima prijelaza udolina i kanjona (slika 2.24.) kada postoji dovoljni sigurnosni razmak između vodiča dalekovoda i krajnje linije raslinja. Na taj način širina prosjeka se svodi na minimalan "radni" prosjek nužan za razvlačenje užadi.



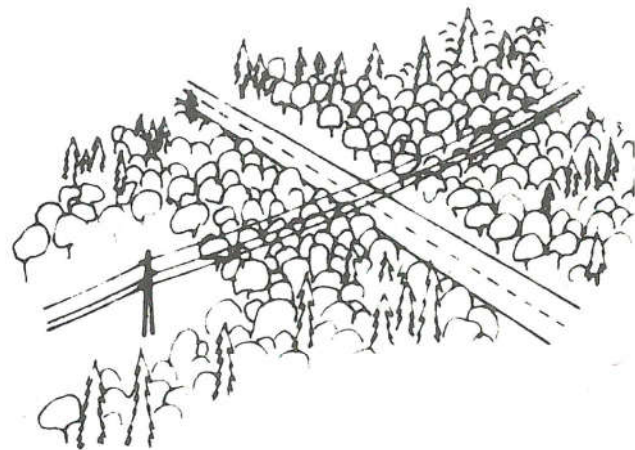
*Nezaklonjen stup
Slika 2.20.*



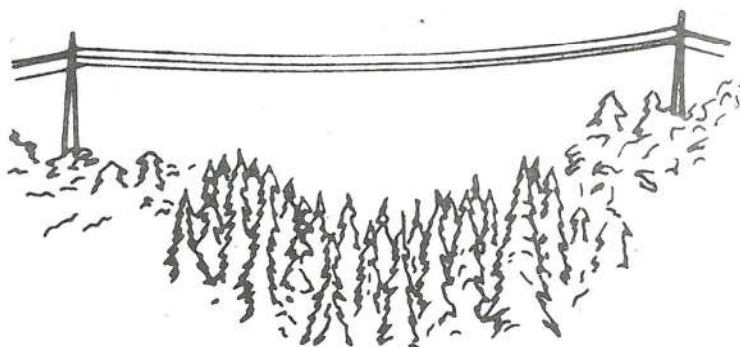
*Zaklonjen stup
Slika 2.21.*



*Stupovi uočljivi s prometnice
Slika 2.22.*



*Stupovi neuočljivi s
prometnice
Slika 2.23.*

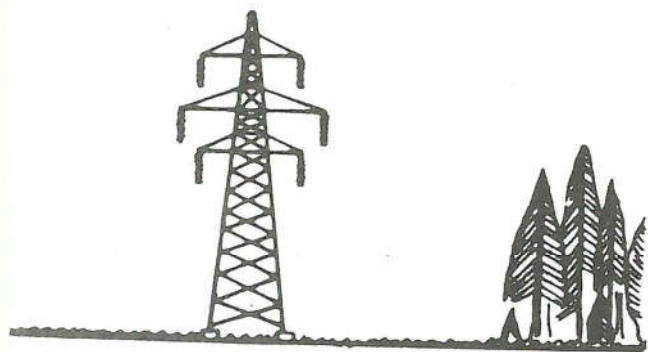


*Prijelaz udoline
Slika 2.24.*

Valja napomenuti da navedene mjere predstavljaju otežavanje gradnje, a naročito razvlačenja užadi, što međutim ne bi smjelo biti razlogom jednostavnog prelaženja preko problema uklapanja dalekovoda u okoliš, odnosno očuvanja okoliša.

Nakon što je vod izgradjen i pušten u pogon, bez obzira na poduzete mjere prirodnog zaklona prosjeka, ostaje problem ogoljelog zemljišta ispod i u blizini voda, što stvara vrlo nepovoljan vizualni dojam (slika 2.25.). Stoga treba nastojati da se te površine što prije zasade odgovarajućim raslinjem. U okviru uređenja terena ispod voda svakako treba s trase odstraniti višak grubog iskopa ili cementa, što onemogućuje rast trave i ostale vegetacije.

Pošumljavanjem određenog većeg ili manjeg područja može se umjetno ukloniti vizualni učinak dalekovoda na posebno osjetljivim terenima i vidikovcima (slika 2.26.).



*Ogoljela trasa voda
Slika 2.25.*



*Pošumljena trasa voda
Slika 2.26.*

b) Prikrivanje

Prigušenje refleksije od svijetle metalne površine vodiča, izolatora i stupa umanjuje vizualni učinak dalekovoda na promatrača. Ovo prigušenje postiže se prikrivanjem elemenata dalekovoda.

Prikrivanje nije moguće za stup koji se ocrtava na horizontu, ali daje rezultat u odnosu na uočavanje pojedinih elemenata.

Danas se stupovi dalekovoda uglavnom rade od vruće galvaniziranog čelika. Moguća je upotreba specijalnih legura čelika koje, kada se izlože utjecaju atmosfere, formiraju zaštitni oksidni sloj zelenkastosmedje boje. Efikasnost primjene ovisi o izgledu pozadine.

Specijalne legure imaju prednost pred galvaniziranim čelikom zbog dužeg vijeka trajanja, naročito u područjima velike zagađenosti atmosfere, ali postoji problem osiguranja potrebnih profila. Prihvatljivo rješenje za metalne rešetkaste stupove je prikrivanje bojenjem. Cilj je smanjenje efekta odsjaja i kontrasta, naročito ako upotrijebljeni profili nisu okrugli. Situacija će se mijenjati prema poziciji sunca, pa iako će unutrašnjost ili dio profila biti u sjeni, cijeli stup treba obojiti istom bojom. U normalnim prilikama prihvatljiva je srednjezelena ili tamnozeleno boja, ali i crna boja može biti vrlo efektna kada je pozadina crnogorično drveće ili sivosmedja stijena. Premaz ne smije biti refleksan, mora biti otporan na atmosferske utjecaje i postojanih boja.

Odsjaj površine vodiča ili zaštitnog užeta ovisi o vremenskim prilikama i mjestu promatranja. U odredjenim situacijama to može biti vizualno nepogodno pa je prihvaćena upotreba užeta nereflektirajuće površine, što se postiže pjeskarenjem površine tokom proizvodnje.

Treba napomenuti da svi metalni dijelovi opreme voda moraju biti prikriveni u svrhu prigušenja refleksije. Neprikriveni dijelovi još jače dolaze do izražaja na vodovima na kojima su drugi važni detalji već prikriveni.

Porculanski izolatori mogu se obojiti različitim bojama radi uklapanja u pozadinu, dok su stakleni izolatori mnogo efektniji kada nema pozadine (nebo). Uspješan razvoj izolatora od plastičnih ili silikonskih masa značajno reduciranih dimenzija može takodjer pridonijeti smanjenju vizualnog učinka voda.

2.4.2.2. Izbor stupova

Izbor stupova prisutan je pri rješavanju uklapanja dalekovoda u okoliš i tom je problemu do sada posvećena puna pažnja. Postoje praktična iskustva koja upućuju na izbor najpovoljnijeg rješenja, ili pak na odbijanje nepovoljnog rješenja u odredjenoj

kategoriji.

Čest je zahtjev za izgradnju novog dalekovoda duž trase već postojećega, i to uglavnom na minimalnom međusobnom odstojanju. U tom slučaju treba predvidjeti stupove istog oblika i veličine kao na postojećem vodu, naročito ako je vod uspješno uklopljen u okoliš. To ipak ne sprečava preprojektiranje radi upotrebe boljeg materijala ili manjih promjena u dimenzijama.

Kao nastavak ovog problema treba spomenuti elektroenergetske koridore u kojima ima više vodova s jednosistemskim ili dvosistemskim konstrukcijama različitih napona, oblika, veličina i rješenja. U tim slučajevima, a naročito na dionicama ispred trafostanica sveukupni vizualni dojam bio bi bolji da su stupovi istog oblika i veličine, locirani uredno na ujednačenim rasponima i s istim provjesom vodiča.

Za novi vod ako su nužna dva sistema treba razmotriti ima li prednost jedan dvosistemski ili dva jednosistemska kada je u pitanju okoliš.

Uz iste parametre projektiranja dvosistemski stupovi su viši i uočljiviji nego npr. jednosistemski s horizontalnim rasporedom.

Odabiranje nižih stupova znači kraće raspone, a to istodobno povećava ukupni broj stupova.

Sve se svodi na zahtjev postizanja neuočljivosti stupa u danim okolnostima.

Dosadašnja iskustva pokazuju da projekt stupa koji teži neuočljivosti na ravnoj otvorenoj trasi može biti jednako prihvatljiv za ravne šumske terene gdje se ostvaruje dodatna prednost zaklanjanjem, tako da je nemoguće dati ispravan i jedinstven zaključak za svaki slučaj posebno, već pravilna odluka ovisi o okolnostima.

Postoje brojni oblici stupova (jednosistemski, dvosistemski, s vertikalnim ili horizontalnim rasporedom vodiča, slobodno stojeći ili sa sidrom, od čeličnih profila ili čeličnih cijevi) koji prema ispitivanju ili praktičnim iskustvima zadovoljavaju zahtjevu "neuočljivosti" na određenim specifičnim terenima.

S tim u vezi već dulje vrijeme govori se i o pojmu "estetike stupova" kao elementu uklapanja dalekovoda u okoliš.

Stup estetskog izgleda ovim je tekstom malo teže opisati u odnosu na sve elemente koji ga takvim čine. Činjenica je da se u praksi mogu vidjeti stupovi koji ostavljaju povoljan dojam svojom siluetom, proporcijama duljina konzola i širine trupa, gustoćom ispune i veličinom dijelova ispune, bojom u odnosu na okolne objekte itd. te stupovi koji izgledaju robusni, predimenzionirani, neskladni u svojim elementima koji upućuju na nedostatak dobre volje projektanta da tehničkom proizvodu da i lijepu formu.

Prema općem mišljenju na estetski izgled stupova utječe njihova ukupna visina, odnosno širina i visina pojedinih elemenata, prozirnost i oblici ispune.

Ne može se dati jedinstvenu uputu kako uskladiti sve navedeno, jer to ovisi o ostalim okolnostima, a svaki zahvat uzrokuje dodatne efekte.

Tako je, na primjer, visoki stup uočljiv u prostoru, no veća visina stupa znači i manji broj stupova u vidnom polju. Postoji empirijski odnos kolika, na primjer, mora biti duljina konzola za određenu širinu trupa, što opet zavisi od tipa stupa, opterećenja konstrukcije, broja sistema vodiča itd. Na prozirnost konstrukcije utječe potrebna ispuna i konstruktivna rješenja u odnosu na upotrijebljen materijal.

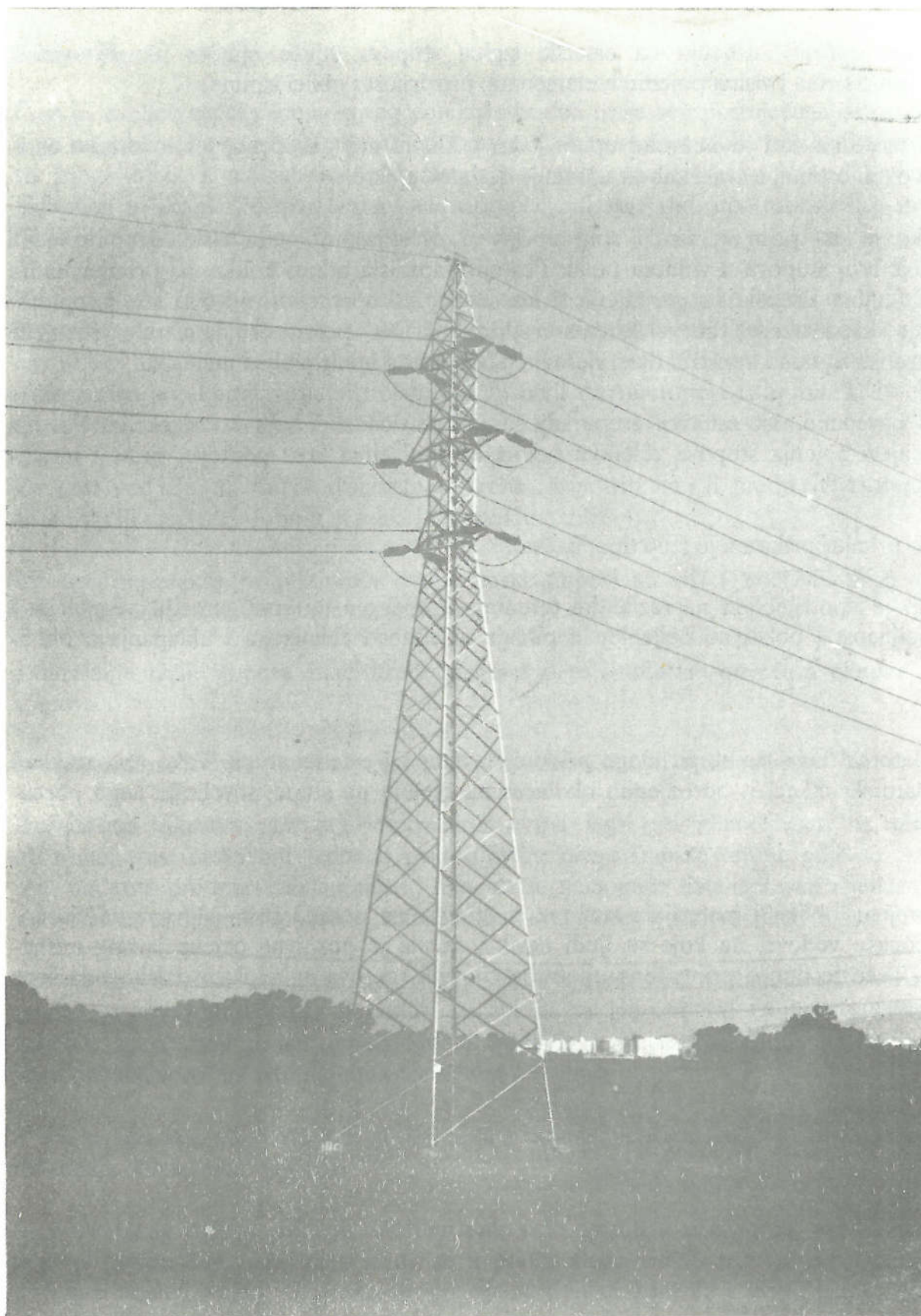
Uz navedeno, na estetiku stupa utječe i simetričnost i boja konstrukcije. Postoje slučajevi bojenja stupova zelenom bojom na prolazima kroz parkove, šume i turistička područja.

Kao primjer prikazan je stup tipa "bačva".

Stup je upotrijebljen na različitim terenima s obzirom na konfiguraciju, vegetaciju i naseljenost i pozitivno ocijenjen u pitanju skladnosti elemenata i uklapanja u okolišu.

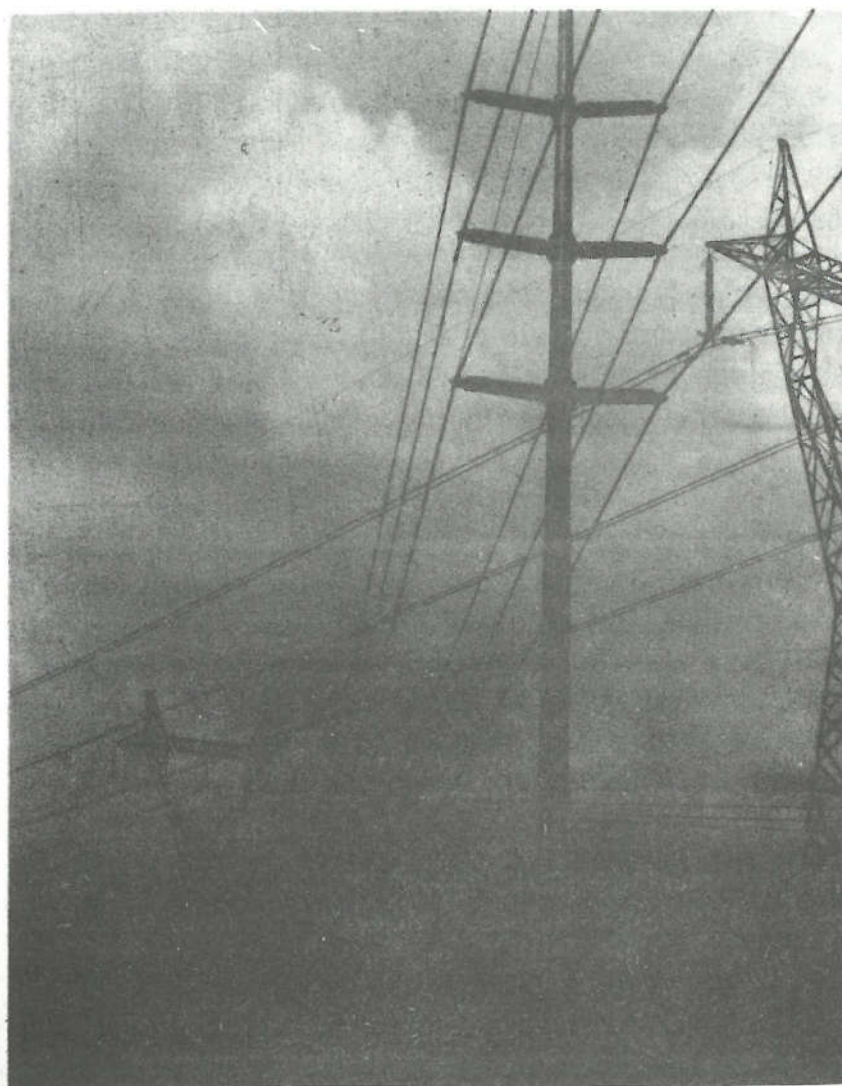
Izolatorski lanci na stupu mogu pridonijeti ukupnoj estetici stupa. Tako npr. stakleni izolatorski članci u određenim okolnostima djeluju na stupu povoljnije nego porculanski.

Promjena oblika i materijala stupova, u odnosu na dosada primjenjivane za visokonaponske vodove, na koje su ljudi navikli, dobila je pozitivne ocjene javnog mišljenja. Tako je dobro prihvaćena upotreba cijevnih stupova na prolazu dalekovoda kroz urbanizirane zone i naselja.



Čeličnorešetkasti stup tipa "bačva"
Slika 2.27

Ovi stupovi su relativno niski pa se dobro uklapaju u visinske nivoe ostalih objekata u naselju. Bojenjem površine cijevi u skladu s okolnim objektima može se izbjeći napadna uočljivost stupova. Kod nas su sve češći zahtjevi investitora za primjenu takvih stupova u navedenim okolnostima, pa je u tom smislu proširen asortiman proizvodnje i stupova ima na tržištu.



Stup sa konzolama od izolacionog materijala

Slika 2.28.

Upotrebljavaju se i stupovi kojima su konzole od izolacionog materijala. U tom je slučaju stezaljka za učvršćenje vodiča na vrhu konzole i nije potrebna montaža izolatorskih lanaca, što ostavlja dojam jednostavnog rješenja i nenametljivosti u prostoru.

Na osnovi opisa s ilustracijama u odgovarajućim publikacijama moguće je uspoređivanje i izbor oblika za svaki konkretni slučaj.

Na kraju, potrebno je naglasiti da sve navedeno o vizualnom utjecaju dalekovoda na okoliš treba shvatiti kao preporuke kojih se treba držati u onoj mjeri koliko je to u datu situaciji realno moguće.

2.4.3. Električki efekti

Električki efekti visokonaponskih nadzemnih vodova grupiraju se u dvije osnovne kategorije:

- efekti električnog i magnetskog polja
- efekti korone

Električno polje je funkcija napona vodiča i izražava se u jedinicama mjere (kV/m), dok je magnetsko polje funkcija, odnosno magnetska indukcija, jakosti struje kroz vodiče i izražava se u jedinici mjere tesla (T). Za potrebe studija utjecaja električnog i magnetskog polja na trasi voda jakost električnog polja snima se tako da se dobije uzdužni i poprečni profil jakosti polja iznad površine tla na visini od 1,0 do 1,8 m.

Jakost električnog polja na trasi 110 kV voda na najnepovoljnijem mjestu (obično u sredini raspona, neposredno ispod faznog vodiča) ne prelazi iznos od 2 kV/m, dok magnetska indukcija redovno ispod $10 \mu\text{T}$.

Navedene vrijednosti znatno su ispod jakosti polja mjerenih na vodovima od 400 kV i ne predstavljaju nikakvu neposrednu opasnost za okolinu, što su potvrdila i dugogodišnja iskustva u eksploataciji, a i novija ispitivanja u svijetu.

Ipak, radi potpunije informiranosti, treba navesti da se mogući negativni efekti elektromagnetskih polja u trasi vodova (praktično isključivo vrlo visokog napona) mogu svrstati u sljedeće:

- a) Utjecaj na ljude stvaranjem uvjeta pražnjenja električnog polja s neuzemljenih metalnih dijelova na trasi voda, što može uzrokovati određeni šok, ali bez realnih mogućnosti izazivanja težih posljedica po zdravlje. Problem se, ovisno o vrsti objekta, redovno efikasno rješava trajnim ili privremenim uzemljenjem metalne mase.
- b) U određenim uvjetima i uz niz nepovoljnih pretpostavki pri električnom polju od 5 kV/m može doći do požara pri pretakanju goriva iz kamiona cisterne (veliko izolirano vozilo koje može sakupiti toliki naboj da preskoči iskra). Smatra se da na ovu vrstu opasnosti pri obavljanju takvih radnji neposredno ispod dalekovoda treba računati za vodove nazivnog napona 500 kV i više.

- c) Postoje neke ranije konstrukcije pacemakera koje su osjetljive na vrlo jaka elektromagnetska polja. Dosadašnja iskustva upućuju na zaključak da elektromagnetsko polje što ga stvara 110 kV vod ne može negativno utjecati na rad ovih vrlo osjetljivih uređaja. Vjerojatno o navedenom efektu treba voditi računa kada su u pitanju vrlo visoki naponi i osoblje koje se duže vrijeme zadržava pod neposrednim utjecajem elektromagnetskog polja.
- d) Brojnim laboratorijskim ispitivanjima davno je primijećeno da vrlo jako elektromagnetsko polje uzrokuje određene efekte na biološke sisteme općenito. Mada više od 50 godina razvoja prijenosnih sistema u svijetu nije dalo nikakvih neposrednih osnova za zaključak da i elektromagnetsko polje vodova i visokonaponskih postrojenja može negativno utjecati na zdravlje čovjeka, ovo je i nadalje jedno od najkontroverznijih pitanja utjecaja dalekovoda na okolinu. Izvršena su mnoga ispitivanja, kako u laboratoriju tako i u prirodi pod neposrednim utjecajem polja dalekovoda vrlo visokog napona, posebno nakon iznenadjujuće neugodnog rezultata do kojeg su došli sovjetski autori sredinom 60-ih godina.

Ti rezultati su detaljno analizirani na sastancima Studijskog komiteta za nadzemne vodove međunarodne CIGRE.

Izradu dokumenata u vezi zdravstvenih kriterija za neionizirajuća zračenja preuzela je Svjetska zdravstvena organizacija (WHO). Dokument je nazvan Zdravstveni kriterij 35 za okolinu polja vrlo niske frekvencije i sadrži pregled bioloških efekata uočenih kod izloženosti ovim poljima.

Na osnovi dosadašnjih snimanja može se zaključiti slijedeće:

- a) električna polja jačine do 10 kV/m i magnetska polja jačine do 240 A/m, tj. 0,3 mT, primjenjena pojedinačno ili superponirana, ne predstavljaju opasnost za zdravlje i nisu potrebna ograničenja u pogledu pristupa na takav teren;
- b) u uobičajenim eksperimentalnim uvjetima simptomi naprezanja (stresova) ne predstavljaju direktan efekt polja E ili H;
- c) što se tiče dugoročnih epidemioloških studija u vezi s izlaganjem električnim poljima, promatranje osoblja na visokonaponskim postrojenjima i dalekovodima nije pokazalo nikakve nepovoljne efekte;
- d) nije poznat nikakav mehanizam djelovanja putem kojeg bi polja industrijske frekvencije mogla izazvati direktne efekte na žive organizme,
- e) dosada nije otkriven nikakav specifičan simptom na ljudskim bićima kao posljedica izlaganja ovim poljima.
- f) električna i magnetska polja koja izazivaju dalekovodi do napona 420 kV ne

predstavljaju opasnost za ljudsko zdravlje,
g) na osnovi postojećeg iskustva može se predvidjeti da će isto biti za mreže 800 kV,

Dokument OMS (Regionalni biro za Evropu, Kopenhagen, evropska referenca serije br. 10) završava preporukama za nastavljanje studija. Dostavljen je Studijskim odborima i odgovarajućim Radnim grupama CIGRE.

Ovaj zaključak navodimo u cijelosti zato što se i u našoj praksi povremeno javljaju dosta kategorične tvrdnje o "dokazanom" štetnom utjecaju elektromagnetskog polja dalekovoda, što onda u praksi stvara dosta problema.

Novija istraživanja, budući da se u većini zemalja došlo do čvrstog zaključka da nema štetnog utjecaja na zdravlje čovjeka, okrenula su se studiranju mogućega štetnog utjecaja na životinje i poljoprivredne kulture na trasi voda. Osim nekih bizarnih primjera, npr. veća smrtnost pčela u slučaju da su košnice smještene neposredno ispod voda, nikakvi značajniji štetni efekti nisu primijećeni iako je bilo više primjera farmi u koridorima trasa vodova do napona 750 kV.

Efekti korone, karakteristične pojave na visokonaponskim nadzemnim vodovima, nastaju ionizacijom zračnog prostora u jakom električnom polju oko vodiča, izolatora i ovjesne opreme.

Pojavu korone na nadzemnim vodovima nije moguće spriječiti, ali se poduzima niz zahvata na elementima voda kako bi se ograničila na minimum. To je npr. trajna zadaća konstruktorima za posebno oblikovanje ovjesne i spojne opreme, Zaštitne armature i izolatora. Nadalje se, imajući na umu ekonomske granice, primjenjuju vodiči većeg promjera ili vodiči u snopu.

Kod vrlo visokih napona korona predstavlja osjetni gubitak energije. Kod napona 110 kV i vodiča koji se u nas primjenjuju ovaj je gubitak zanemariv a moguće je da se javlja samo pri vrlo lošem vremenu.

Kod vrlo visokih napona korona na vodiču izvor je značajnih radio smetnji i zvučnih smetnji. Negdje do napona od 800 kV konstrukciju vodiča (snopa) limitiraju radio-smetnje, a na još višim naponima zvučne smetnje. Postoji pravilo da ako konstrukcija vodiča zadovoljava u pogledu radio smetnji odnosno zvučnih smetnji, gubitak energije zbog korone sigurno je u podnošljivim granicama. Smetnje od korone ne smiju se zamijeniti sa smetnjama koje izazivaju izolatorski lanci zbog metalnih izbočina, prljavštine, proboja i loših kontakata. Dok su radiosmetnje od korone značajne u srednjovalnom radio području, na 30 MHz već su zanemarive. Smetnje koje dolaze od izolatorskih lanaca imaju mnogo širu frekventnu lepezu i daleko su neugodnije. Smetnje od korone na 110 kV potpuno su zanemarive, ali treba voditi računa o smetnjama koje dolaze od izolatorskih lanaca. Takve se smetnje često javljaju u pogonu pa njihovo otklanjanje traži brižno održavanje.

2.4.4. Utjecaj gradjenja i održavanja

Specifičnost organizacije gradjenja dalekovoda je u činjenici da se radi o objektu redovno velike duljine, pa se svi nužni zahvati pri gradjenju odvijaju na relativno velikom prostoru. Zbog toga eventualan nemaran odnos prema zaštiti okoliša može bitno umanjiti sve napore koji se u tom smislu ulažu prilikom planiranja i projektiranja voda. Izrada pristupnih putova, organizacija gradjenja na svakom pojedinom stupnom mjestu, smještaj mehanizacije, alata i opreme, razvlačenje vodiča itd. su radnje kojima se u većoj ili manjoj mjeri nužno uništava okoliš, a razmjeri tog uništavanja u direktnoj su funkciji temeljitosti i pažljivosti razrade priprema i vodjenja gradjenja. Praktično, u onoj mjeri u kojoj su solidno izvršene pripreme za sve faze rada na gradilištu, u toj će mjeri i efekti zaštite od nepotrebnog uništavanja okoliša biti pozitivni.

Postoje pri tom razne specifične okolnosti ovisno o tome da li se radi o dalekovodu na gusto naseljenom ili nenaseljenom području, u urbanoj zoni, na poljoprivrednoj površini, na prijelazu preko drugih komunikacija itd.

Razrada detaljnog plana rada zadatak je stručnog osoblja koje vodi izgradnju, a njegov sadržaj toliko ovisi o specifičnim lokalnim prilikama da bi bilo suvišno ulaziti u detalje.

U novije se vrijeme u praksi pojedinih zemalja sve više afirmiraju tehnike gradjenja kojima se, između ostaloga, bitno smanjuju štetni zahvati na okolnom terenu prilikom gradjenja dalekovoda. Takvi primjeri su: upotreba helikoptera, specijalnih vozila za polaganje metalne mreže za zaštitu površinskog sloja zemljišta, pokretne skele za montažu vodova na prijelazima preko cesta i sl.

U normalnim okolnostima mogući štetni efekti za okolni teren prilikom održavanja dalekovoda su zanemarivi, posebno i zbog toga što se za redovne preglede sve više koriste metode vizualnog osmatranja i termovizijskog snimanja iz helikoptera.

U slučaju većih zahvata pri održavanju, pristup organizaciji posla u osnovi bi morao biti isti kao i pri gradjenju.

3. ELEKTRIČKI I MEHANIČKI PARAMETRI DALEKOVODA 110 KV

3.1. OSNOVNI PARAMETRI MREŽE 110 kV

U 110 kV mreži najviši dozvoljeni napon po JUS-u (IEC) iznosi 123 kV, dok najniži nije definiran, ali ga se empirijski pretpostavlja oko 99 kV. On je ustanovljen na temelju regulacionog opsega transformatora koji uglavnom iznosi $\pm 15\%$. Od toga je uzeto da oko 5 % iznosi unutrašnji pad napona u transformatoru, pa oko 10 % otpada na stvarni regulacioni opseg.

Navodimo još nekoliko karakteristika 110 kV mreže SR Hrvatske (koje se zapravo više odnose na postrojenja nego na vodove).

Mreža 110 kV SR Hrvatske kruto je uzemljena spajanjem stezaljke zvjezdišta transformatorskog namota 110 kV na uzemljenje postrojenja.

U pogledu kratkog spoja može se prema (L.3.12.), dati rezultat proračuna maksimalnih struja početnoga trolejnog kratkog spoja u postrojenjima 110 kV; kako je to navedeno u tabl. 3.1.

Tablica 3.1.

Maksimalne struje trolejnog kratkog spoja

I''_{k3} (kA)	Postrojenja 110 kV (%)
do 12,5	66,7
12,5 - 20,0	24,6
20,0 - 25,0	5,1
25,0 - 31,5	2,9
31,5 - 40,0	0,7

U apsolutnim iznosima očekivani maksimalni iznosi početnih struja trolejnog i jednopolnog kratkog spoja (kA) u 110 kV postrojenjima SRH po područjima navedeni su u tabl. 3.2.

Tablica 3.2.

Maksimalni iznosi struja trolnoga i jednopolnog kratkog spoja

	Osijek	Rijeka	Split	Zagreb
I''_{k3}	Ernestinovo 24,78	Melina 21,62	Konjsko 16,97	Tumbri 34,38
I''_{k1}	Ernestinovo 29,36	Melina 23,99	HE Zakučac 20,15	Tumbri 37,77

Iz tih rezultata slijedi da u uvjetima potpuno uzamčenog pogona i uzemljenja svih transformatora granicu od 40 kA u 110 kV mreži ne prelazi nijedno postrojenje. S obzirom na pretpostavljenu topologiju mreže u navedenom elaboratu može se zaključiti da će takva situacija sigurno potrajati i u nastavku ovog srednjoročnog razdoblja.

Donja granica napona u 110 kV mreži od 99 kV, određena na osnovi regulacionog opsega transformatora, ujedno je i donja granica za izbor nazivnog napona odvodnika prenapona. U kruto uzemljenoj mreži, naime, najveći napon koji se može u slučaju kvara pojaviti između stezaljki odvodnika iznosi $0,8 U = 0,8 \times 123 = 99$ kV (0,8 je koeficijent uzemljenja). Spomenimo još u vezi prenapona da su u 110 kV mrežama dominantni prenaponi atmosferskog porijekla, a o njihovoj je veličini teško generalno govoriti. U izravno zaštićenoj mreži udarna čvrstoća izolacije (udarni izolacioni nivo) od 550 kV u pogledu atmosferskih prenapona pruža dovoljnu sigurnost. Na samoj trasi voda u dosadašnjoj se praksi koristi, za razliku od postrojenja, sniženi stupanj izolacije od 450 kV.

Opterećenje 110 kV vodova perspektivne mreže SR Hrvatske za očekivano normalno energetska stanje 1990. godine i neposredni kontinuitet pokazuju da se ono uglavnom kreće oko ili nešto iznad prirodne snage, slika 3.1. do 3.4 (detaljnije u L.3.24.i L.3.25.).

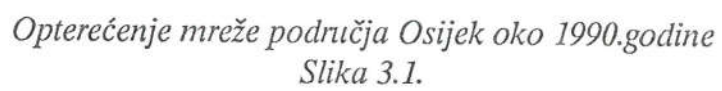
Na slikama 3.1. do 3.4. tokovi snaga dani su u MW/MVar uvijek sa smjerom iz čvorišta koje daje djelatnu snagu. Pokazuje se da je mreža dobro opterećena prijenosom djelatne snage, tj. da nema većih prijenosa jalove snage. Teret radijalno priključenih čvorišta pridružen je teretu ishodišnih čvorišta, pa je utoliko ispitivani model pojednostavnjen. Isto tako opterećenje 110 kV vodova u pogonu pod naponom od 35 kV pribrojeno je ishodišnim 110 kV čvorištem. Treba dodati da prikazane sheme mreže po područjima znače samo pojednostavnjeni model za ispitivanja, a ne realnu topologiju mreže za očekivano opterećenje oko 1990.godine.

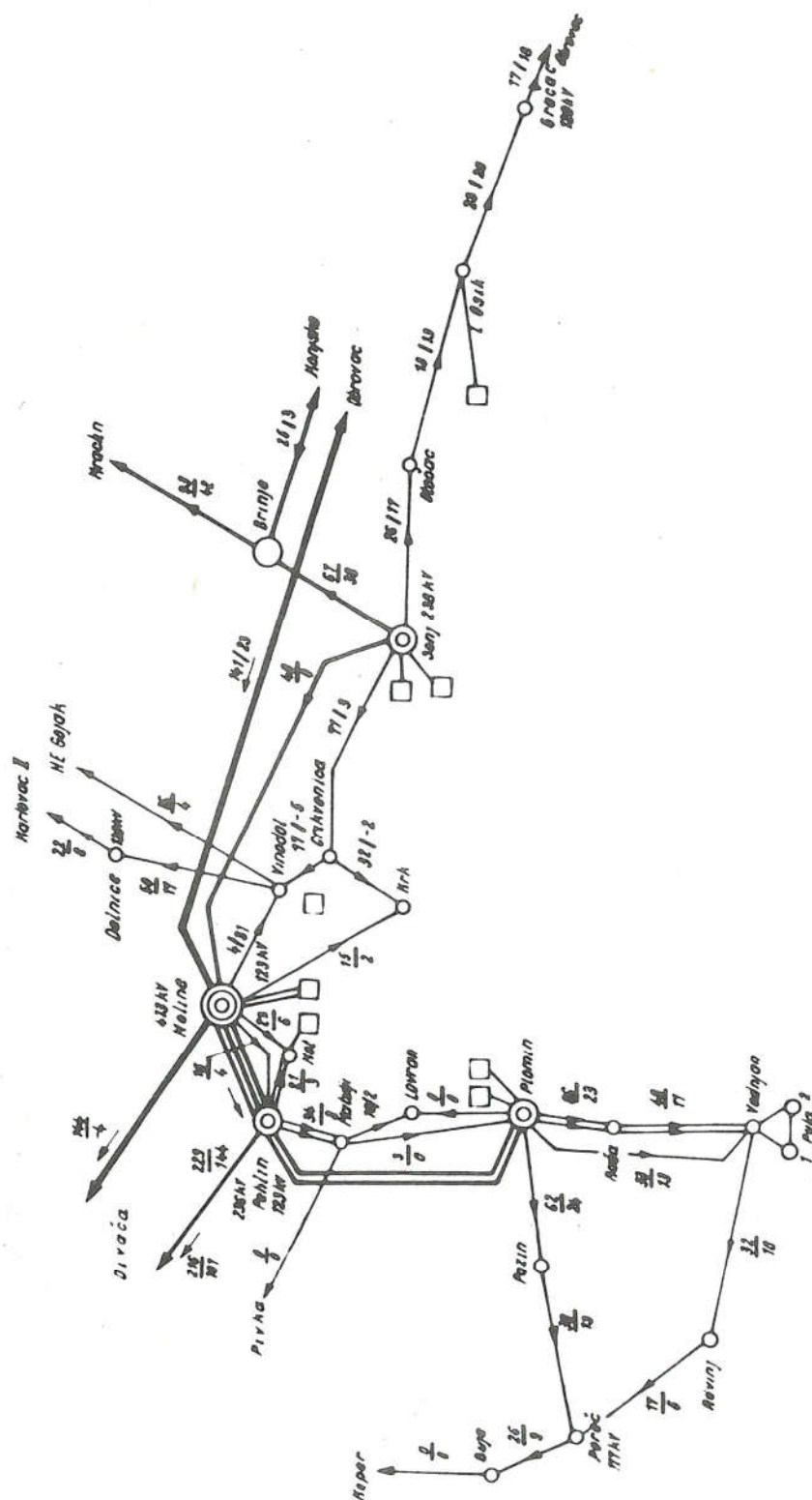
Ovakav raspon očekivanih opterećenja, posebno na novim vodovima, logično vodi na izbor vodiča presjeka Al/Č užeta 240/40.

Ostaje međjutim otvoreno pitanje vodiča u snopu, odnosno njihova presjeka, ili supstitucija vodičem većeg presjeka. Danas su na teritoriju SR Hrvatske s vodičima u snopu uza sve 400 kV vodove (2x490/65 Al/Č) izvedeni DV 220 kV Brinje - Mraclin (2x240/40 Al/Č), DV 2x220 kV TE Rijeka - Melina (2x360/57 Al/Č), DV 2x(2x110 kV) Ražine - Bilice (2x185/30 Al/Č), DV 110 kV Tumbri - (Botinec) (2x360/57 Al/Č), DV 110 kV Mraclin - TE TO (2x240/40 Al/Č). U planu je još u srednjoročnom razdoblju povezivanje TS Željezare Sisak teškim 110 kV vodovima sa TE Sisak (2x360/57 Al/Č) i s Pračnim (2x240/40 Al/Č), te DV 110 kV RHE Obrovac - Obrovac (2x360/57 Al/Č). Budući da nemamo elaboriranih daljnjih sagledavanja razvoja 110 kV mreže može se pojaviti potreba teških vodova u slučaju:

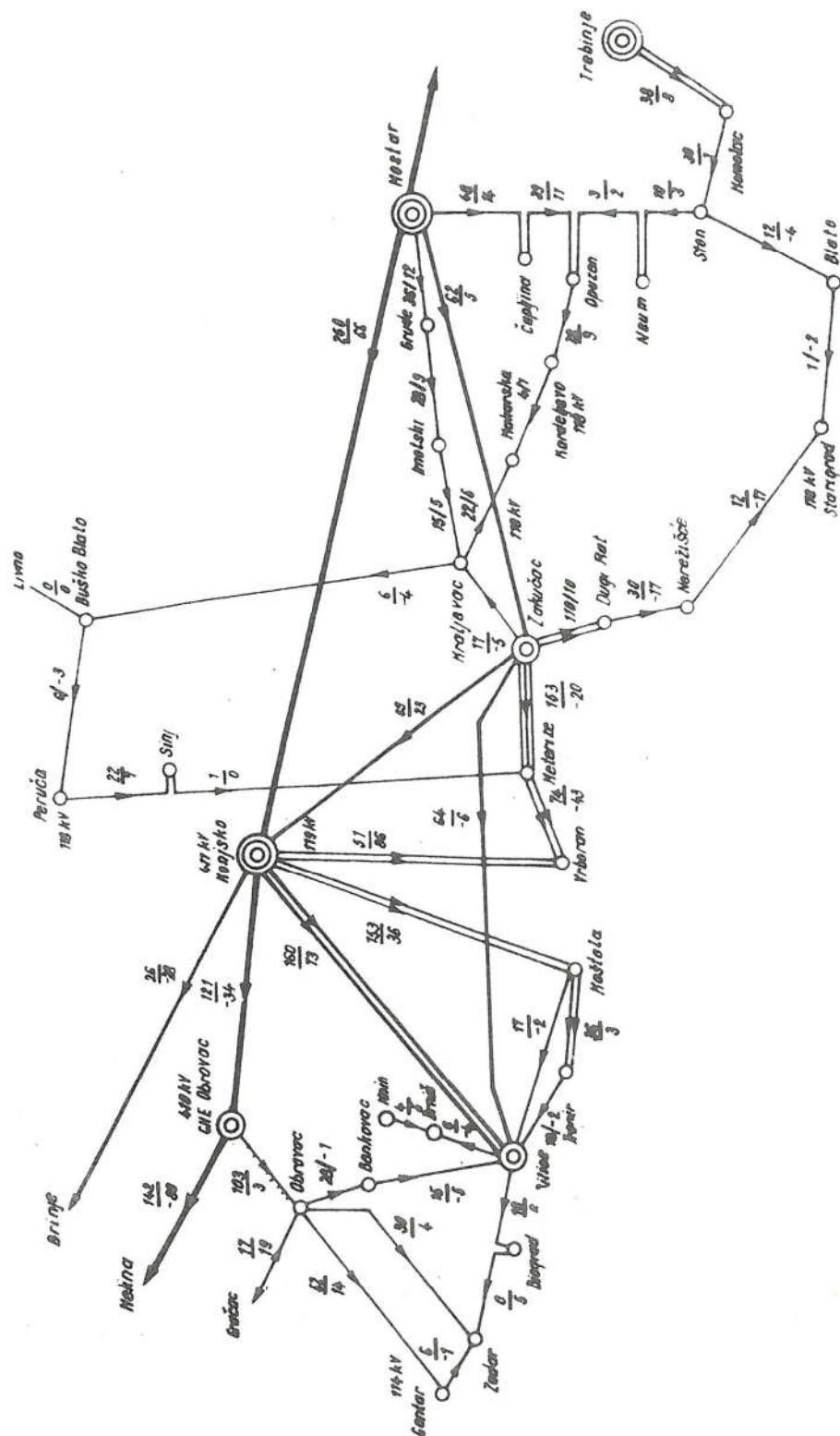
- priključka elektrana,
- priključka velikih potrošača,
- velikih prijenosa u urbanim područjima.

Svaku takvu situaciju trebat će konkretno analizirati kao specijalni slučaj i valorizirati rješenje vodičima u snopu, odnosno jednim vodičem po fazi većeg presjeka.

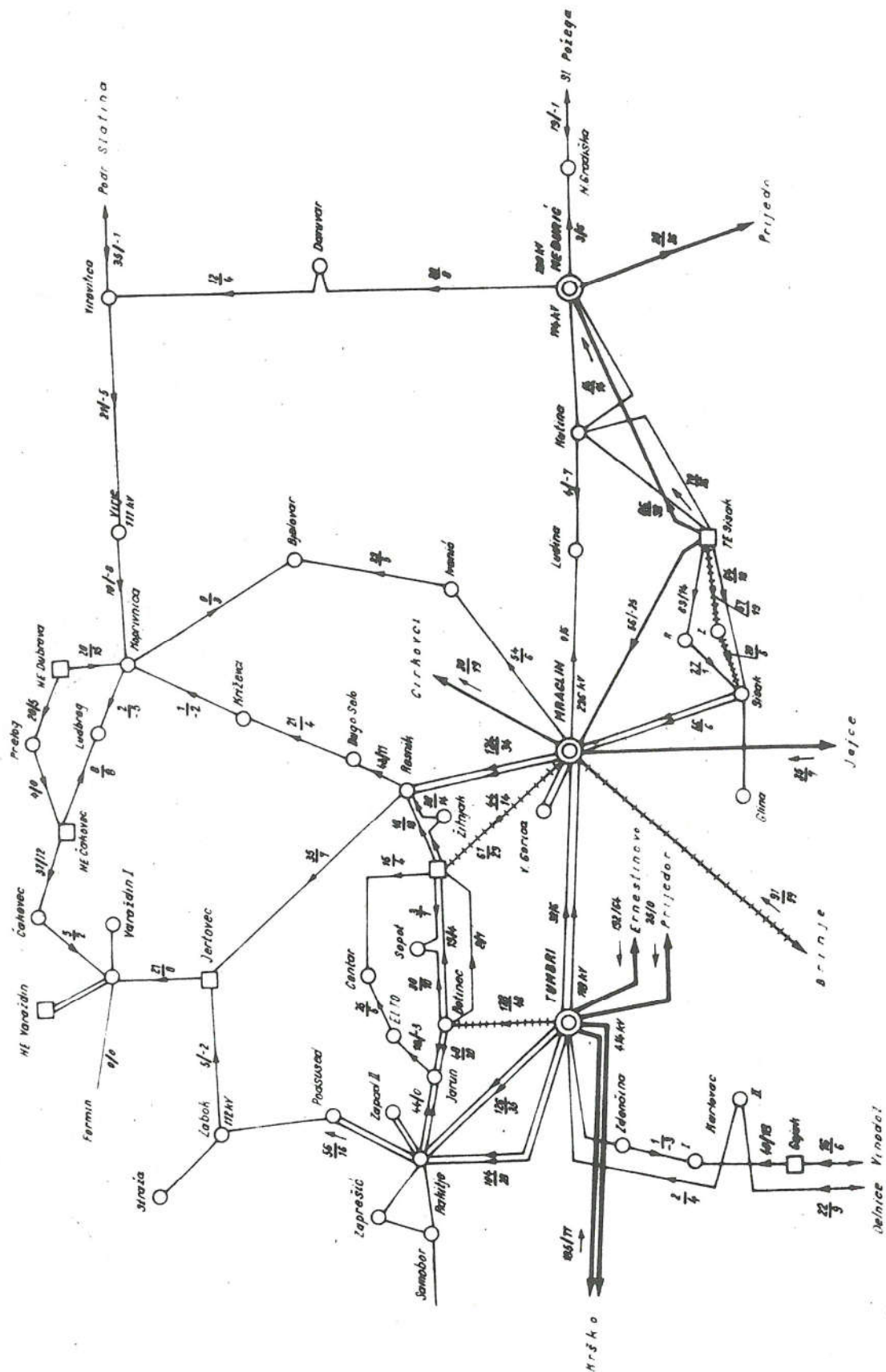




Opterećenje mreže područja Rijeka oko 1990. godine
Slika 3.2.



Opterećenje mreže područja Split oko 1990. godine
Slika 3.3.



Opterećenje mreže područja Zagreb oko 1990. godine
Slika 3.4.

3.2. METODOLOGIJA IZBORA PRESJEKA VODIČA I ZAŠTITNE UŽADI ZA NADZEMNE VODOVE 110 KV

Šira problematika vezana uz određivanje ekonomskog presjeka vodiča intenzivno je obrađivana u studijama i internim recenzijama u Institutu za elektroprivredu Zagreb, tokom šestog desetljeća. O rezultatima se pisalo u stručnoj periodici i izvještavalo na skupovima. Navest ćemo one s početka i kraja tog perioda: od priloga M.Dokmanića "O izboru napona, presjeka vodiča i gustoće transformatorskih stanica u jugoslavenskim mrežnim sistemima" (Elektrotehnički vesnik, 9-10 + 11-12, Ljubljana 1950.) do onih H.Požara "O optimalnom presjeku dalekovoda" (Elektroprivreda, 3, Beograd 1959.) i B.Stefaninija "O ekonomici dalekovoda" (Energija, 5-6, Zagreb 1959.). Sredinom šezdesetih kulminira prisutnost ove tematike, kako to pokazuju objavljeni članci i referati Dokmanića, Brezinščaka, Leskovara, Wipplingera, pa čak dolazi do javne polemike M.Vidmara sa M.Dokmanićem referatom na zasjedanju CIGRE 1956. Cijela ta aktivnost u SR Hrvatskoj nije nažalost logično zaključena odgovarajućim prijedlogom tipizacije vodiča. Treba spomenuti i za ova pitanja tada relevantne priloge G.Muždeke i S.Despotovića (u Elektroprivredi 1, odnosno 2, Beograd 1956.)

Ondoda je problematika izbora presjeka vodiča i zaštitne užadi obrađivana gotovo isključivo u Elektroinštitutu "M.Vidmar". Posebno se njome bavio prof. dr.Marijan Plaper, koji je svoje preko četvrtstoljetno studiranje ovih pitanja i njihova šireg konteksta zaokružio elaboratom "Tipizacija vodnikov za daljnove 110, 220 in 400 kV" 1980. godine. Na ovom radu temelje se i naša istraživanja, a unutar općeg okvira optimiranja koncipiranog prema djelu R. Pellisiera: Les reseaux d'energie electrique, III (Architecture et developpements des reseaux), Dunod, Pariz 1975.

Pitanja optimiranja prijenosnih vodova zacrtana su nedavno i u aktivnostima nove Radne grupe osnovane u CIGRE SO 22 (WG 22.09 - Overall design). To je pitanje postavljeno kao jedno od osnovnih za inicijalni sastanak Grupe u lipnju 1985. godine u Beču.

3.2.1. Osnovni kriteriji za tipizaciju vodiča

Tipizaciji vodiča, odnosno odredjivanju optimalnog presjeka vodiča za zadani naponski nivo, uobičajeno je prilaziti na bazi statičkoga tehno-ekonomskog modela u kojem se ne uzima u obzir porast opterećenja tokom vijeka trajanja nadzemnog voda. U takvom postupku problem se svodi na pronalaženje podudarnosti između godišnjih investicijskih troškova za dalekovod i godišnjih troškova u prijenosu tim dalekovodom izgubljene energije. Logično je naime da je izgradnja voda s vodičima većeg presjeka skuplja, no zato su gubici manji; iz toga slijedi da postoji jedan optimalan presjek. To je poznato Kelvinovo pravilo: optimalni je presjek vodiča onaj za koji je dio investicijskih troškova izgradnje ovisan o presjeku vodiča jednak troškovima gubitaka prijenosa.

Zadatak se dakle svodi na određivanje optimuma funkcije ukupnih troškova, tj. na njeno minimiziranje. Ova objektivna funkcija (kako se takve funkcije nazivaju u problemima optimizacije) ima dva člana:

- investicijske troškove izgradnje dalekovoda i
- godišnje troškove eksploatacije dalekovoda (godišnji pogonski troškovi).

Oba su člana izražena po kilometru, ali dok su investicije obično izražene jednokratno, pogonski se troškovi daju godišnje. Zato se investicijski troškovi metodom aktualizacije pretvaraju u godišnje iznose pa se oba člana kao homogeni mogu zbrajati (L.3.1.).

Pretpostavkom da su troškovi prijenosa nezavisni od duljine mogu se iz aspekta analize tipizacije vodiča isključiti troškovi postrojenja u čvorištima.

Ukupni investicijski troškovi izgradnje prijenosnog voda danas se općenito aproksimiraju jednadžbom od tri člana:

$$V = a + b U + c S \quad [\text{din/km}]$$

gdje je:

- prvi član nezavisan od U i S
- drugi član ovisan o nazivnom naponu U (kV) i uzima u obzir razmak između faza i prema uzemljenim dijelovima te duljinu izolatorskog lanca, dakle, dimenzije stupa
- treći član ovisi o presjeku vodiča S (mm^2), odnosno o njegovom utjecaju na karakteristike stupova i temelja te statička (težina) i dinamička naprezanja (zbog vjetrova). Ako je λ vodiča u snopu, treba taj član još množiti sa $\lambda^{1/4}$.

Koeficijente u navedenoj formuli određuje se višedimenzionalnom linearnom regresijom iz poznatih ukupnih investicijskih troškova za vodove zadane naponske razine i presjeka vodiča. Ti su ukupni investicijski troškovi prikazani u nastavku.

Uz ove podatke navedimo da se za potrebe planiranja u ZEOH-u uzima jedinična cijena 110 kV prijenosnog voda s vodičima 240/40 za stanje 1985. godine:

$$11\,600 \times 10^3 \text{ do } 12\,900 \times 10^3 \quad [\text{din/km}]$$

*Cijene izgradnje dalekovoda
(15.3.1985.)*

Nazivni napon (kV)	Vodiči i zatezna užad tip	Cijena (10 ³ din/km)
110	3x150/25 Al/Č 1x50 Č	7 000 do 11 000
110	3x240/40 Al/Č 1x50 Č	9 000 do 14 000
220	3x360/57 Al/Č 1x95/55 Al/Č	12 500 do 16 500
220	3x490/65 Al/Č 1x95/55 Al/Č	13 500 do 19 000
400	3x(2x490/65) Al/Č 2x120/70 AlMg1E/Č	23 000 do 27 500

Napomena:

- Navedene jedinične cijene su orijentacijske i vrijede za vodove prosječnih duljina, bez posebnih tehničkih uvjeta i uvjeta gradjenja.
- Manja brojka u tablici vrijedi za sjeverni dio Hrvatske, a veća za područje Dalmacije i Primorja.
- Ukupna cijena je cijena direktnih troškova gradjenja u koje nisu uključeni troškovi projektiranja, troškovi investitora, odšteta, cijena radova na drugim objektima i sl.

Pomoću ovih vrijednosti mogu se odrediti potrebni koeficijenti za jednadžbu ukupnih investicijskih troškova - viših, nižih i srednjih. Koeficijenti su navedeni u tabl. 3.4.

Tablica 3.4.

Koeficijenti za izračunavanje investicijskih troškova (10^3 din/km)

Investicijski troškovi	a	b	c
V_n	3 550	20,023	11,722
V_v	8 990	1,830	18,518
V_{sr}	6 272	10,688	15,274

Ako provedemo kontrolu tako da s ovim koeficijentima izračunamo ukupne investicijske troškove, npr.

$$V = 3\,550 \cdot 10^3 + 20,023 \cdot 10^3 \cdot 110 + 11,722 \cdot 10^3 \cdot 150 = 7\,511 \cdot 10^3 \text{ [din/km]}$$

dobivamo rezultate koji se dobro slažu sa zbirnim investicijskim troškovima kakve je dao Dalekovod (tabl.3.5.).

Tablica 3.5.

Investicijski troškovi dalekovoda izračunati pomoću koeficijenata

Nazivni napon	Presjek Al vodiča	Investicijski troškovi
(kV)	(mm ²)	(10^3 din/km)
110	150/25	7 511 do 11 969
110	240/40	8 566 do 13 636
220	360/57	12 175 do 16 059
220	490/65	13 699 do 18 466
400	2x490/65	23 047 do 27 869

Ove koncentrirane ukupne investicijske troškove treba prevrednovati u jednake anuitete za cijeli promatrani period, kako bi ih se moglo uzeti u obzir zajedno s tekućim godišnjim troškovima eksploatacije. To prevrednovanje vršimo po principu aktualizacije pa je

$$V = \frac{p'}{100} (a + b U + c S) \quad [\text{din/km}],$$

pri čemu je:

p' - korigirani stupanj aktualizacije (L.3.5.): za stupanj aktualizacije 8 % i vijek trajanja prijenosnog voda 30 godina iznosi prema financijskim tablicama 8.88%;

Moguć je i drugi put: umjesto da se diskontiraju investicijski troškovi, učiniti to s troškovima eksploatacije.

Godišnji troškovi eksploatacije (godišnji pogonski troškovi) imaju konstantni i varijabilni dio: relativno fiksne troškove za održavanje i troškove za energetske gubitke ovisne o opterećenju (što na 110 kV naponskom nivou znači samo džulske energetske gubitke; kod 400 kV i više dolaze i gubici korone).

Troškovi za održavanje prijenosnih vodova relativno su mali i konstantni pa se mogu pretpostaviti proporcionalnima s investicijskim troškovima. Kod nas iznose oko 2 % (u Sloveniji 3 %, u zapadnoj Evropi 1-2 %) i mogu se uzeti u obzir povećavanjem koeficijenta p' za taj postotak.

Troškovi za energetske gubitke dobivaju se ako se poznaje gubitak snage, trajanje gubitka i cijena izgubljene energije.

Izgubljena energija zbog džulskih gubitaka pri maksimalnom opterećenju za sve tri faze iznosi:

$$W_R = 3 I_M^2 \frac{\rho}{S} \quad [W/km]$$

I_M - maksimalna godišnja struja (A)

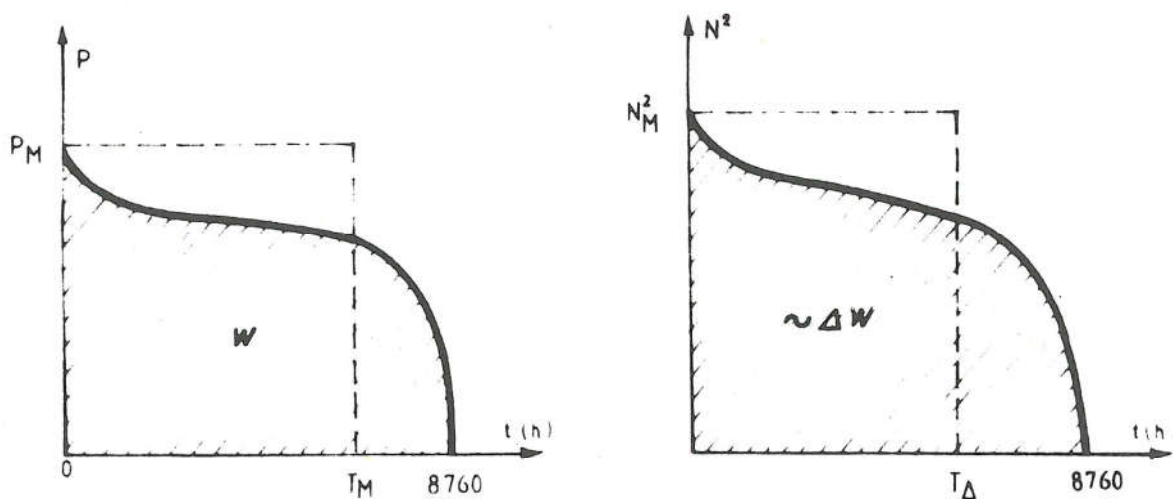
S - presjek vodiča (mm^2)

ρ - specifični radni otpor vodiča presjeka $1 mm^2$ i duljine 1 km - za Al/Č užad praktično iznosi $32 \Omega mm^2/km$. Ovaj "pogonski" otpor veći je od onog prema JUS-u za Al/Č užad (najviše $28,264 \Omega mm^2/km$) zbog svih realnih utjecaja: povećanje duljine trase zbog provjesa i duljine žice koja je veća od duljine užeta zbog upredanja, prisustva čelika u užetu, razlike realnog i nazivnog presjeka, razlike temperature itd.

Trošak ove izgubljene snage ovisi o:

- broju sati T_Δ (h) godišnjeg korištenja tog gubitka snage u odnosu na godišnje sate korištenja maksimalne snage T_M ,
- prosječnoj cijeni gubitka d_Δ (din/Wh)

Značenje pojmova T_M i T_Δ shvatljivo je sa slika 3.5(a i b).



Godišnja krivulja trajanja opterećenja (a) i kvadrata snaga (b)
Slika 3.5.

Maksimalna snaga u vremenu T jednaka je godišnjoj energiji koju predstavlja površina pod krivuljom trajanja opterećenja:

$$P_M \cdot T_M = \int_0^{8760} P dt$$

Navodimo da je za razdoblje 1974-1981. za SRH prosječno $T_M = 5\,640$ sati (prema krivulji trajanja opterećenja konzuma).

Godišnji džulski energetske gubici su:

$$\Delta W = \frac{R}{U^2} N_M^2 8\,760$$

a ako je poznata krivulja trajanja kvadrata prividnih snaga (ili struja) onda se površina ispod nje može prikazati kao:

$$\Delta W = \frac{R}{U^2} \cdot N_M^2 \cdot T_\Delta$$

pa je:

$$S_M^2 \cdot T_\Delta = \int_0^{8760} N^2 dt.$$

Godišnji sati gubitaka T_Δ (h) obično se određuju prema izrazu izvedenom na osnovi tipizirane krivulje trajanja opterećenja:

$$T_\Delta = 0,17 T_M + 0,83 \frac{T_M^2}{8760}$$

Ovi koeficijenti vrijede i za Jugoslaviju, a određeni su na temelju parametara krivulje trajanja opterećenja za treće srijede u mjesecu u razdoblju 1963-1970. godina.

Za Hrvatsku istraživano je razdoblje 1974-1981, i to za dnevne, tjedne i mjesečne krivulje trajanja opterećenja i utvrđeni su koeficijenti:

$$T_\Delta = 0,11 T_M + 0,89 \frac{T_M^2}{8760}$$

gdje se T_Δ mnogo ne razlikuje od onoga iz prethodne opće relacije, posebno za faktor opterećenja u intervalu 0,65..... 0,85 (L.3.9.). Gornja relacija prikazana je grafički na slici 3.6.

Vrednovanje energetske gubitaka otvoren je problem, ne u pristupu nego u načinu. Prosječna cijena gubitaka energije u sistemu izražava se na bazi cijene dodatne fiktivne proizvodnje u nekoj novijoj termoelektrani. Za formiranje te cijene koristit ćemo izraz koji implicira i dio za snagu i dio za energiju potrebne dodatne proizvodnje:

$$d_\Delta = \frac{d_{kW}}{T_{\Delta W}} + d_{kWh}$$

Dok je dio cijene za energiju dodatne proizvodnje d_{kWh} jednak u svim dijelovima i naponskim razinama sistema i izražava se troškovima za gorivo, dio za snagu ovisi o električnoj udaljenosti "trošenja" od proizvodnje: u tom je dijelu uključena izgradjenost mreže između mjesta gubitaka i izvora. Prema (L.3.19.) ovaj se dio cijene može izračunati izrazom:

$$d_{kW} = \left(\frac{q}{1-2\Delta N} + p \right) v^2$$

pri čemu je:

- q - produkt godišnje troškovne kvote za termoelektrane u sistemu (%/100) i specifične cijene termoelektrane (din/MW)
- ΔN - gubici snage u prijenosu (%/100)
- p - produkt godišnje troškovne kvote za prijenosnu mrežu (%/100) i specifičnih investicija za prijenosnu mrežu (din/MW)
- v - odnos opterećenja promatranog dijela (ili elementa) mreže pri maksimalnom opterećenju sistema i maksimalnog opterećenja tog dijela (ili elementa). Tim je odnosom moguće izraziti gubitak snage u promatranom dijelu mreže u vrijeme maksimalnog opterećenja sistema iz maksimalnih gubitaka tog istog dijela. Za gubitke neovisne o snazi $v^2 = 1$. Za točno odredjenje ovog stupnja pokrivanja trebalo bi poznavati ne samo dnevni dijagram opterećenja cjelokupnog sistema nego i dijelova sistema koji se promatraju (po naponskim razinama).

Valorizirajući gubitke prema podacima za TE Plomin II (sadašnje vrijednosti, poč. 1985 bez ulaganja u ugljenokop) može se izračunati:

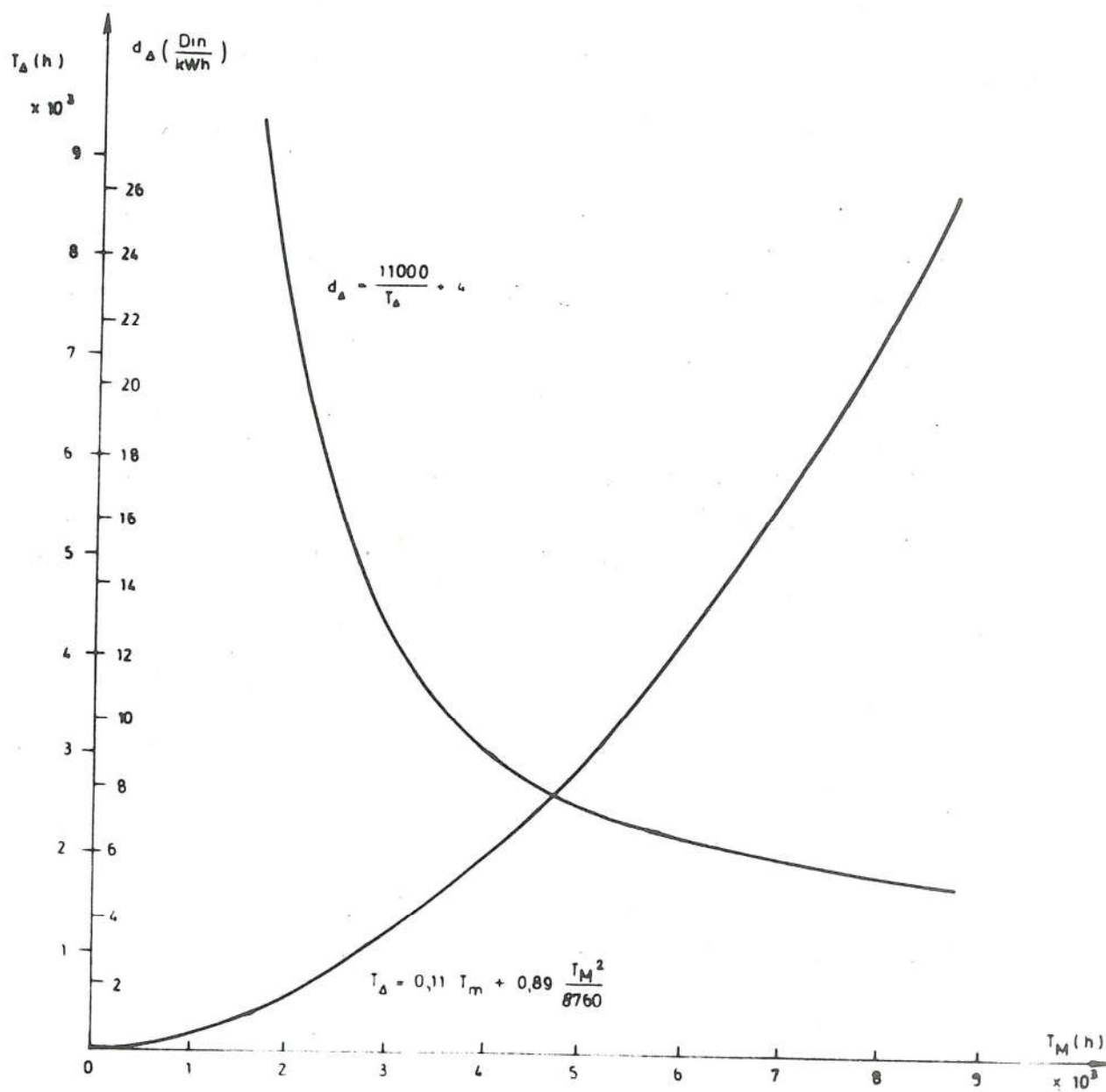
$$d_{kW} = \left(\frac{119 \cdot 0,16}{1-2 \cdot 0,03} 10^6 + 17,85 \cdot 0,12 \cdot 10^6 \right) 0,7^2 = 10\,975 \cdot 10^3 \quad [\text{din/kW}].$$

Značenje brojčanih iznosa jasno je iz tumačenja izraza; uzeto je da specifične investicije u prijenosnu mrežu iznose 15 % specifične cijene termoelektrane. Kritičkom analizom odgovarajućih dnevnih dijagrama opterećenja raščlanjenih po naponskim razinama uzeto je iz (L.3.19.) da je u maksimumu potrošnje sistema (što pretpostavlja i maksimalno opterećenje izvora) 110 kV prijenosna mreža opterećena s oko 70 % te snage. Budući da naš sistem nije adekvatno snimljen iz ovog aspekta, jasno je da je ta procjena dosta nesigurna.

Sada je određeno:

$$d_{\Delta} = \frac{11\,000}{T_{\Delta}} + 4 \quad [\text{din/kWh}].$$

Ova ovisnost dana je na slici 3.6.



Ovisnost $T_{\Delta} = f(T_M)$ i $d_{\Delta} = f(T_{\Delta})$
 Slika 3.6.

Prema tome godišnji troškovi za energetske gubitke su:

$$\Delta W = 3 I_M^2 \frac{\rho}{S} T_{\Delta} d_{\Delta} \cdot 10^3 \quad [\text{din/km}],$$

ili izraženo po maksimalnoj godišnjoj prividnoj snazi N (MVA):

$$\Delta W = \frac{N_M^2}{U^2} \cdot \frac{\rho}{S} \cdot T_{\Delta} \cdot d_{\Delta} \cdot 10^3 \quad [\text{din/km}].$$

Dimenzije su: N (MVA), U (kV), ρ ($\Omega\text{mm}^2/\text{km}$), S (mm^2), T_{Δ} (h), d_{Δ} (din/kWh).

Objektivna funkcija ukupnih troškova izgradnje i eksploatacije prijenosnog voda je:

$$\Theta = V + \Delta W$$

$$\Theta = \frac{p'}{100} (a + b \cdot U + c \cdot S) + \frac{N_M^2}{U^2} \cdot \frac{\rho}{S} \cdot T_{\Delta} \cdot d_{\Delta} \cdot 10^9 \quad [\text{din/km}]$$

Prema ovom izrazu mogu se odrediti presjeci koji su optimalni za prijenos snaga u određenom intervalu.

Iz navedenih izraza može se postaviti objektivna funkcija u kojoj se član ΔW izražava ne maksimalnom godišnjom prividnom snagom nego maksimalnom godišnjom strujom pa optimalni presjek vodiča slijedi iz uvjeta:

$$\frac{\delta \Theta}{\delta S} = 0,$$

što daje

$$\frac{p'}{100} c = 3 I_M^2 \cdot \frac{\rho}{S^2} \cdot T_{\Delta} \cdot d_{\Delta} \cdot 10^{-3}.$$

Optimalni je presjek:

$$S = I_M \sqrt{\frac{0,3 \rho \cdot T_{\Delta} \cdot d_{\Delta}}{p' \cdot c}}$$

a optimalna gustoća struje:

$$\gamma = \frac{I_M}{S} = \sqrt{\frac{p' \cdot c}{0,3 \rho \cdot T_{\Delta} d_{\Delta}}} = \sqrt{\frac{p' \cdot c}{9,6 T_{\Delta} d_{\Delta}}}$$

Za karakteristična trajanja godišnjeg maksimalnog opterećenja T_M mogu se izračunati vrijednosti optimalne gustoće struje za 110 kV vod s jednim vodičem na fazi kako je navedeno u tabl. 3.6.

Tablica 3.6.
Optimalna gustoća struje za karakteristična trajanja maksimalnog godišnjeg opterećenja

T_M	T_{Δ}	d_{Δ}	n	sr	v
(h)	(h)	(din/kWh)		(A/mm ²)	
3 000	1 244	12,84	0,83	0,95	1,05
4 500	2 552	8,31	0,72	0,82	0,91
6 000	4 317	6,55	0,39	0,71	0,79

Optimalna gustoća struje kreće se dakle za neko srednje vrijeme korištenja maksimalne snage između 0,72....0,91 A/mm² ili, ako se računa na srednjoj cijeni izgradnje dalekovoda, između 0,71.... 0,95 A/mm² u intervalu od 3 000 do 6 000 sati.

Vidi se da je gustoća prema statičkom modelu reda veličine onih kao u zemljama sa skupom termoproizvodnjom, npr. u (L.3.20.) je 0,6 A/mm² i općenito pada u interval 0,5... 1 A/mm². U (L.3.22.) još je detaljnije specificirano: za priključne vodove elektrane koji su opterećeni 5 000 do 6 000 sati gustoća je 0,65....0,7 A/mm² (a za opterećenje 8 760 sati 0,4 A/mm²), ako se radi o vodovima za napajanje gradova 0,55 A/mm² te za interkonektivne vodove nešto preko 0,7 A/mm². Za naše uvjete u (L.3.1.) izračunato je 0,83 A/mm² (na nivou cijena za investicije i energiju iz 1979. godine).

U dinamičkom modelu trebalo bi u objektivnoj funkciji formiranoj zbrajanjem navedenih izraza, dakle s energetske gubicima izraženim uz pomoć struje, prvi sumand množiti sa $\Gamma(n)$, a drugi, ovisan o opterećenju, sa $\Gamma(x,n)$:

$$\sum_{1}^n \Theta(0) = \frac{p'}{100} (a + bU + cS) \Gamma(n) + 3 I_M^2(0) \frac{\rho}{S} T_{\Delta} d_{\Delta} \Gamma(x,n) 10^{-3}$$

iz čega slijedi da gustoće struje izračunate po statičkom modelu treba u dinamičkom modelu množiti sa:

$$\sqrt{\frac{\Gamma(n)}{\Gamma(x,n)}}$$

$\Gamma(n)$ i $\Gamma(x,n)$ može se naći u odgovarajućim tablicama financijske matematike ili izračunati:

$$\Gamma(n) = \frac{q^{n-1}}{q^n (q-1)}, \quad \Gamma(x,n) = \frac{(x^{2n}-q^n) x^2}{q^n (x^2-q)},$$

$$q = 1 + \frac{p}{100}$$

x - godišnji trend porasta opterećenja.

S godišnjim trendom porasta opterećenja 3,5 % (što znači udvostručenje u dvadeset godina, kako je danas u svijetu uglavnom prihvaćeno, najviše do 5 %), aktualizacijskom stopom 8 % i vremenom korištenja 30 godina (pretpostavljen vijek trajanja nadzemnih vodova) slijedi:

$$\Gamma(n) = 11,3$$

$$\Gamma(x,n) = 26,5$$

pa su optimalne gustoće struje prema dinamičkom modelu na kraju prve godine 0,653 puta manje od onih dobivenih statičkim modelom (tabl.3.7.).

Tablica 3.7.

Optimalne gustoće struje prema dinamičkom modelu

T_M (h)	A/mm^2		
	n	sr	v
3 000	0,54	0,62	0,69
4 500	0,47	0,54	0,59
6 000	0,25	0,46	0,52

Za godišnji trend porasta opterećenja 7,2 % (udvostručenje u deset godina) $\Gamma(x,n) = 101,1$ pa se lako računa prema dinamičkom modelu.

Za orijentacijsko utvrđivanje presjeka koji odgovara izračunatim optimalnim gustoćama struje po statičkom modelu koristit će se prijenos prirodne snage kao jedine fizikalno značajne veličine. Za tipični 110 kV vod valni otpor iznosi 388Ω ("jela", 3x240/40 Al/Č + 95/55 AlMgSiE/Č) pa je struja 181 A (uz cos prijenosa 0,9). Na bazi optimalne gustoće za srednje investicijske troškove slijede optimalni presjeci:

za 3 000 sati	190 mm ²
za 4 500 sati	221 mm ²
za 6 000 sati	255 mm ²

što se očito rasipa oko standardiziranog presjeka 240/40.

Istražimo ekonomske intervale snage za koje su određeni standardni presjeci optimalni.

Grafički su ti intervali za Al/Č vodiče 110 kV nadzemnih vodova prikazani na slikama 3.7. - 3.12. za manje (sjever) i veće investicijske troškove (jug) kao presjecišta snopova parabola koja određuju granice ekonomskih intervala snaga prijenosa za koje su odgovarajući presjeci vodiča optimalni.

Iz slika 3.7.- 3.12. slijedi da su granične vrijednosti ekonomskih intervala opterećenja (sjecišta krivulja) za alučelične vodiče nadzemnih 110 kV vodova za manje investicijske troškove izgradnje (sjever) kao u tabl.3.8., a za veće investicijske troškove izgradnje (jug) kao u tabl. 3.9.

Tablica 3.8.

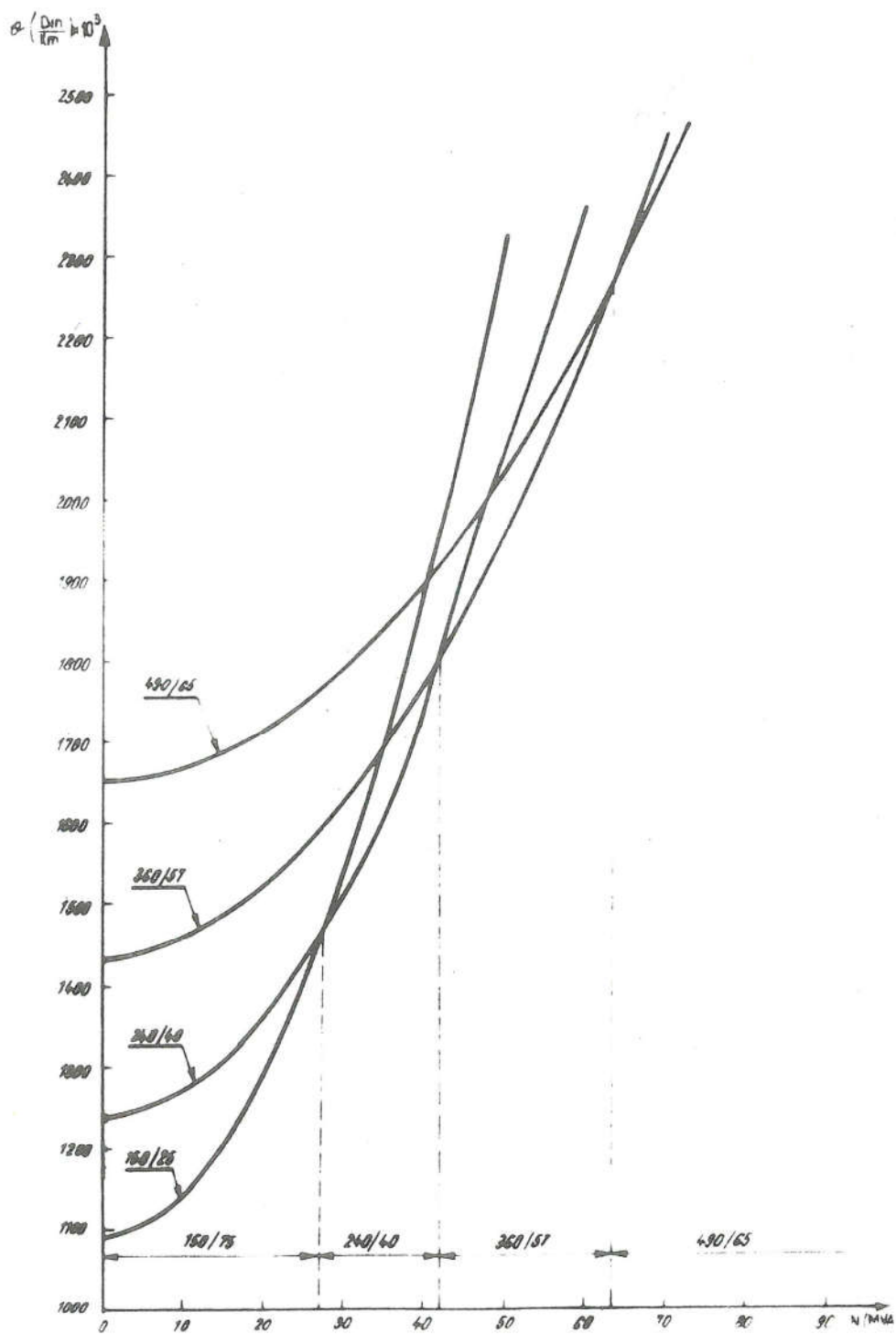
Ekonomski intervali opterećenja (MVA) - sjever

T_M (h)	150/25 Al/Č	240/40 Al/Č	360/57 Al/Č	490/65 Al/Č
3 000	0-30	30-47	47-67	67 i više
4 500	0-26	26-40	40-57	57 i više
6 000	0-22	22-35	35-50	50 i više

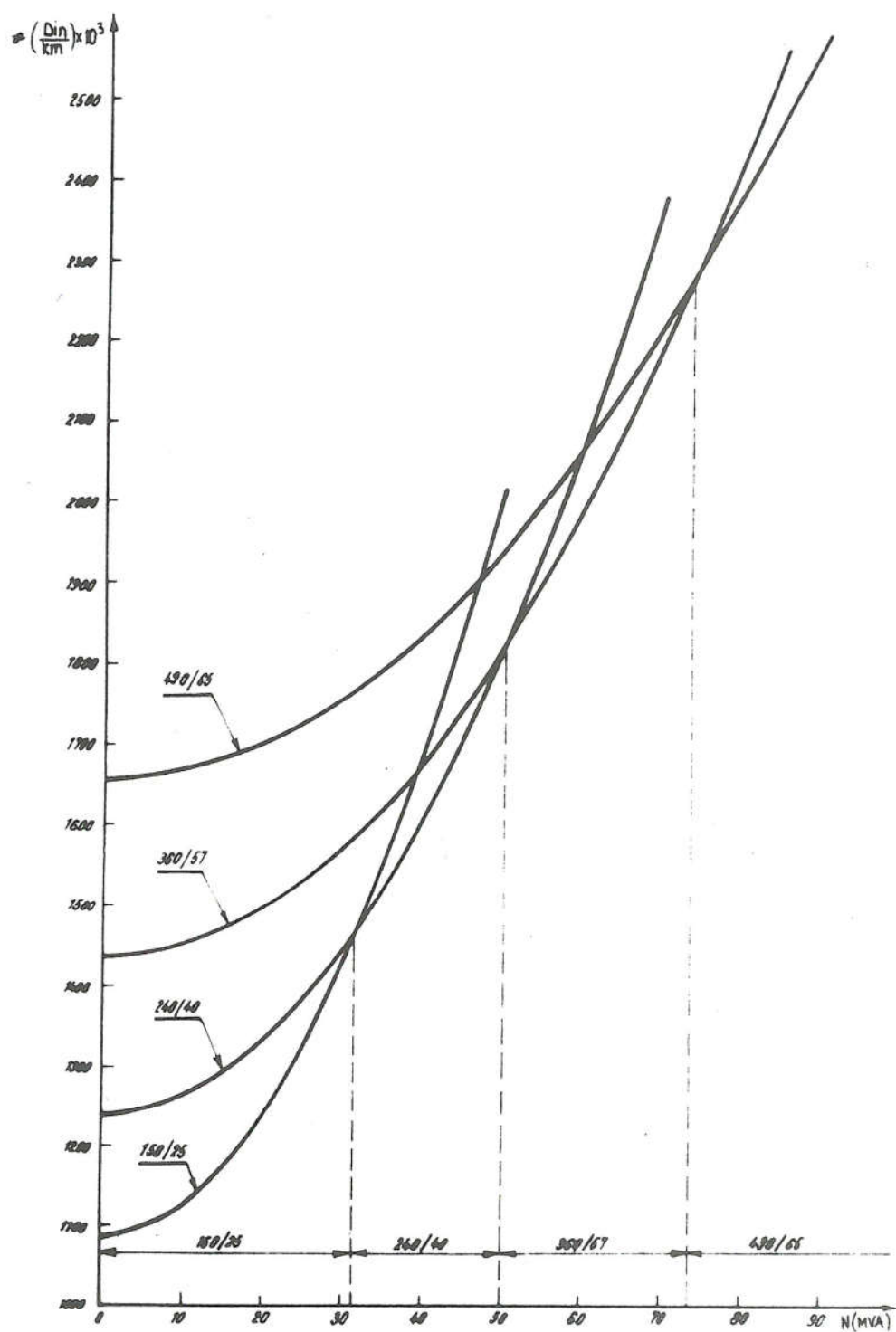
Tablica 3.9.

Ekonomski intervali opterećenja (MVA) - jug

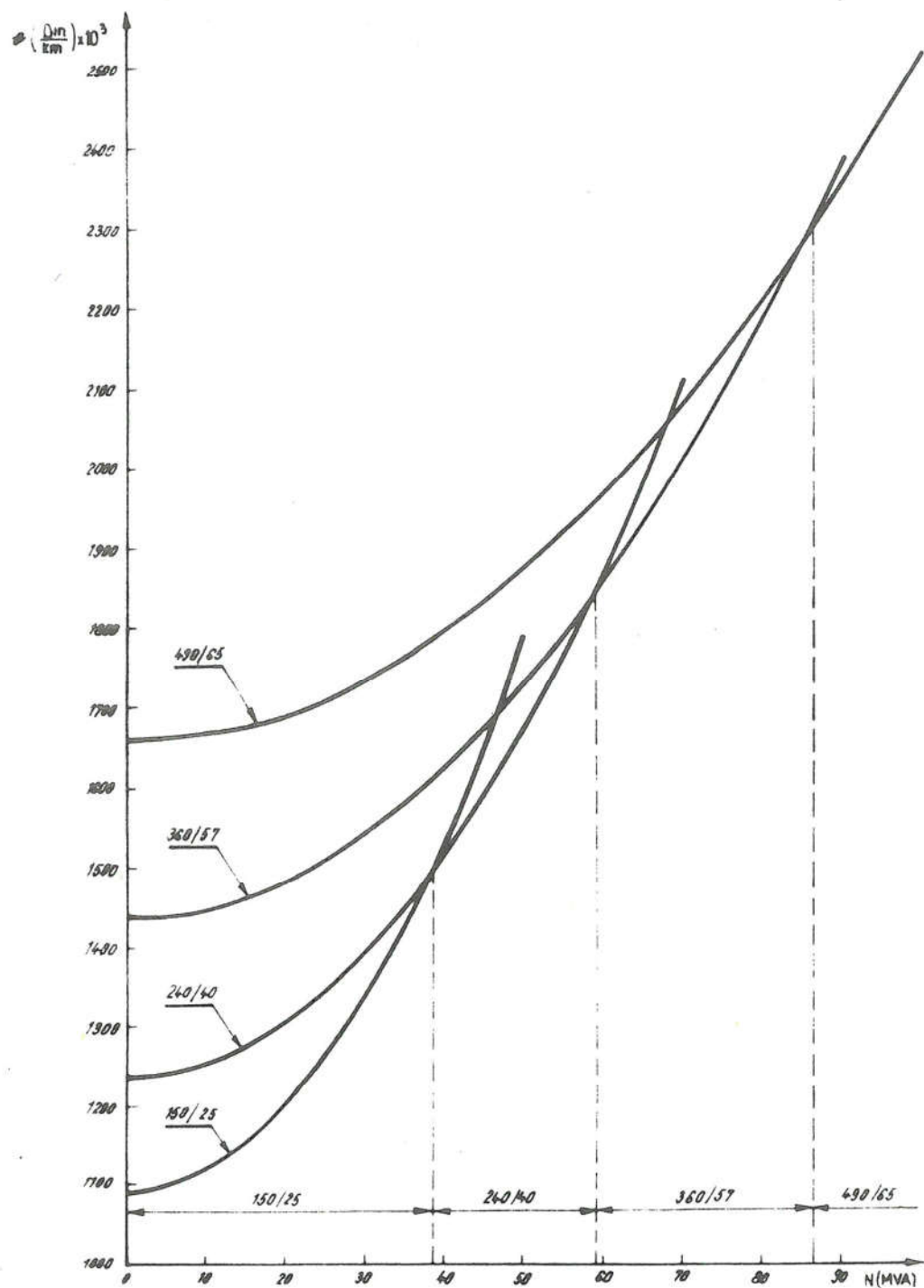
T_M (h)	150/25 Al/Č	240/40 Al/Č	360/57 Al/Č	490/65 Al/Č
3 000	0-39	39-59	59-87	87 i više
4 500	0-31	31-50	50-73	73 i više
6 000	0-27	27-43	43-63	63 i više



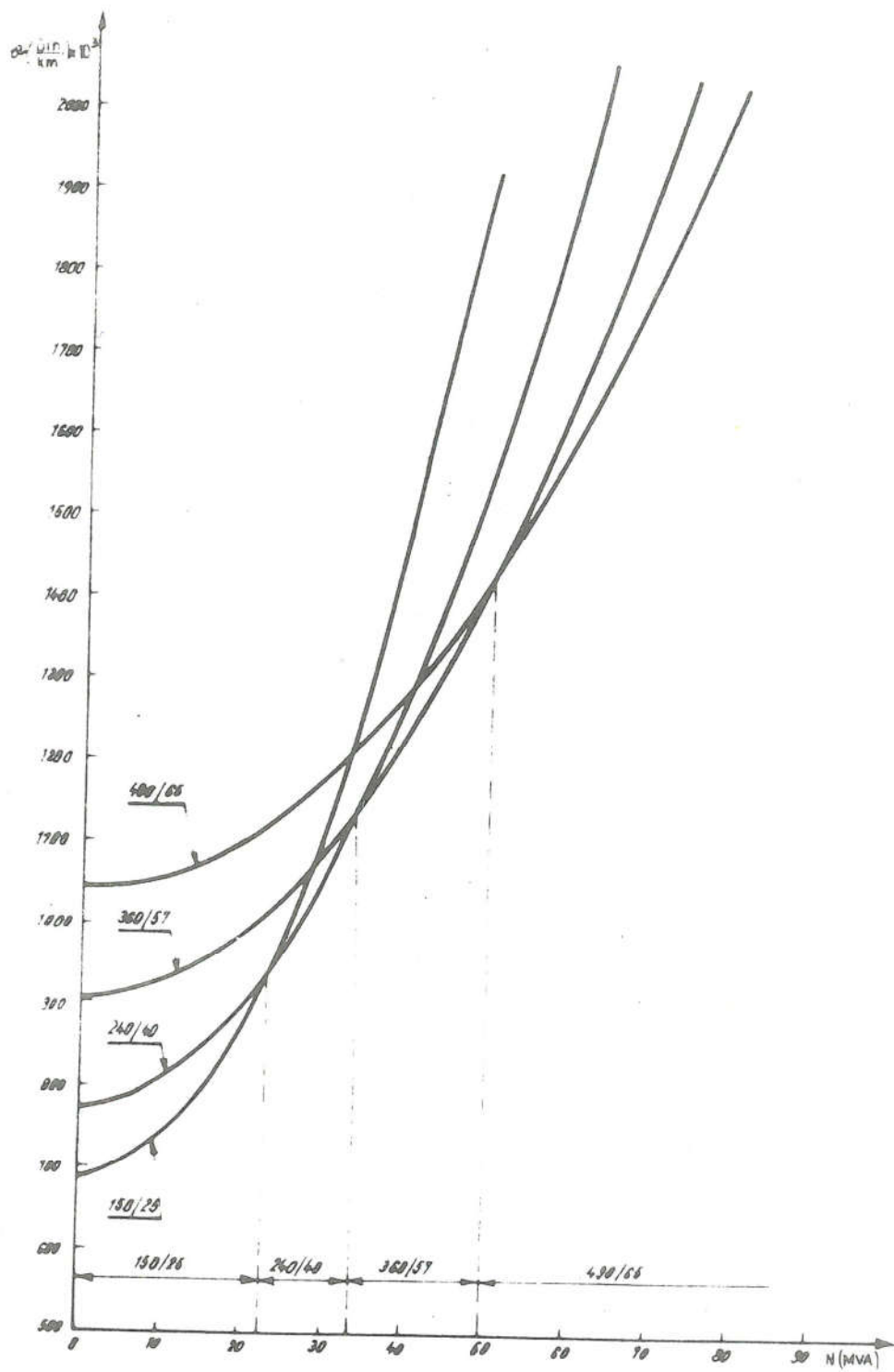
Ekonomski intervali snage za standardne presjeke (6 000 sati-jug)
Slika 3.7.



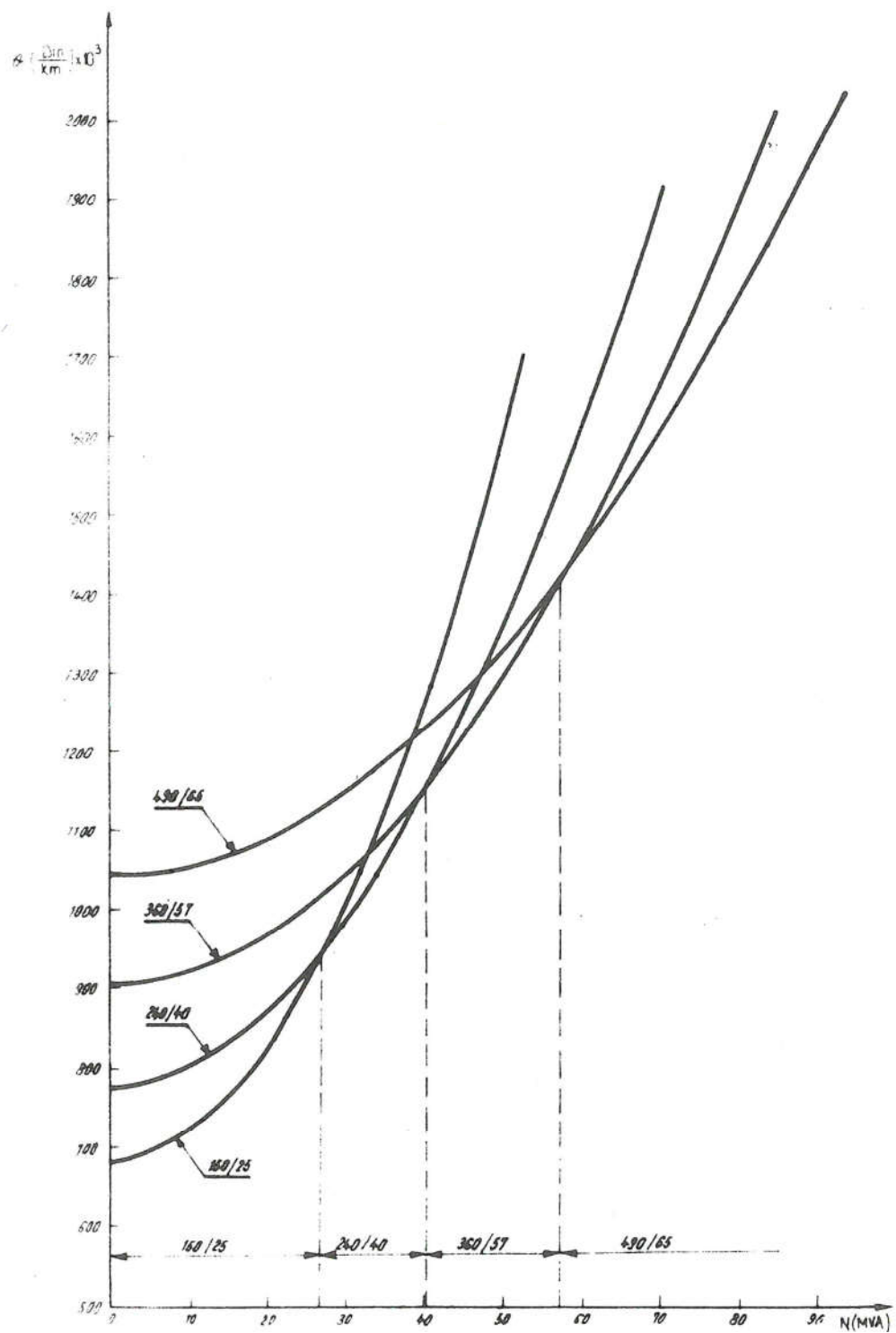
Ekonomski intervali snage za standardne presjeke (4 500 sati-jug)
Slika 3.8.



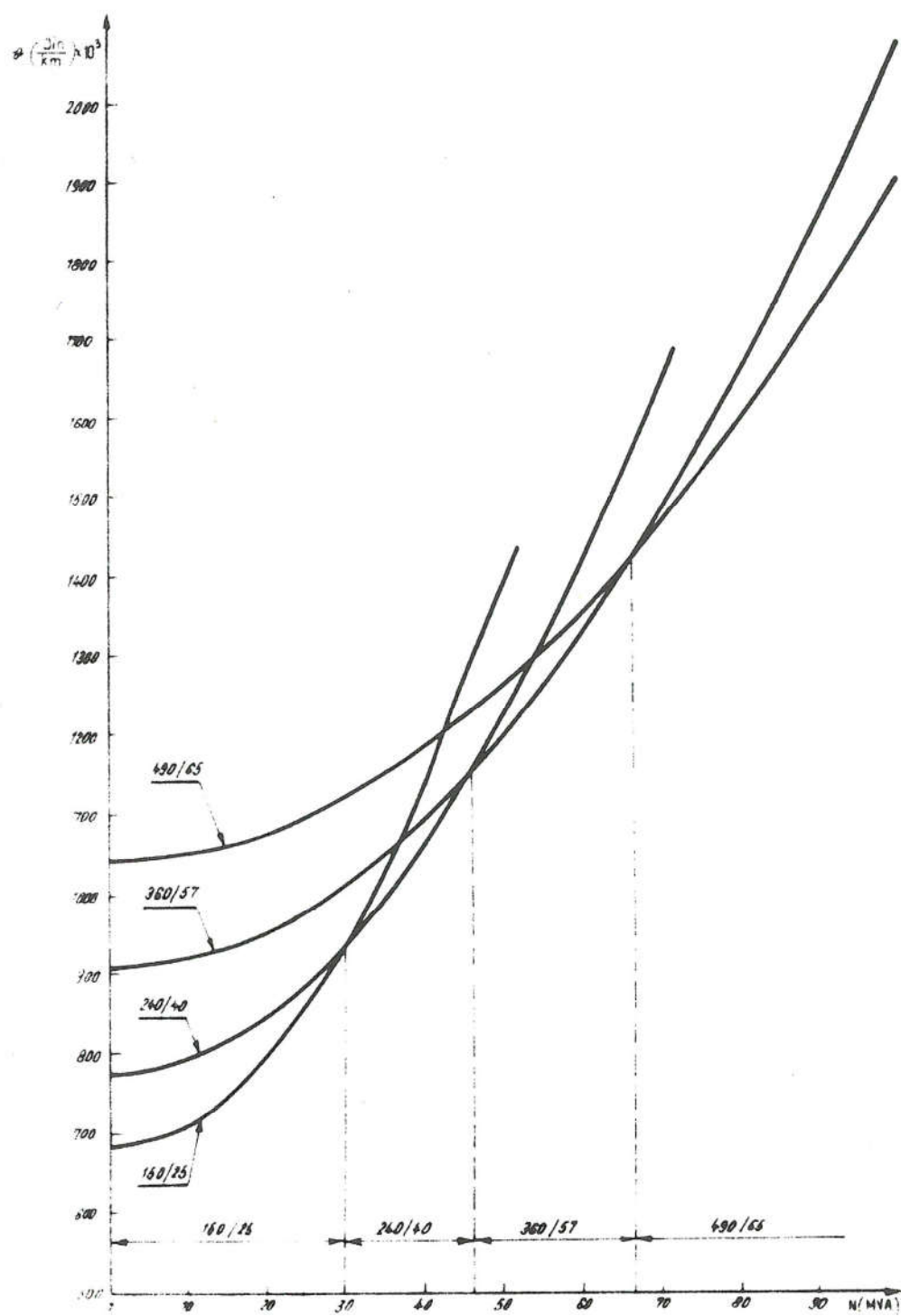
Ekonomski intervali sange za standardne presjeke (3 000 sati-jug)
Slika 3.9.



Ekonomski intervali snage za standardne presjeke (6 000-sjever)
Slika 3.10.



Ekonomski intervali snage za standardne presjeke (4 500 sati-sjever)
Slika 3.11.



Ekonomske intervale snage za standardne presjeke (3 000 sati -sjever)
Slika 3.12.

Granice ovih intervala nisu čvrste jer je tjeme funkcije optimuma plosnato pa otklon snage i do 30 % od optimalnih vrijednosti ne izaziva povećanje specifičnih godišnjih troškova više od 5 % od optimalnih. Interpretirano na drugi način: tolerancija optimalnog presjeka $\pm 30\%$ značajnije ne povećava troškove prijenosa.

S izračunatim optimalnim gustoćama struja može se postaviti optimalne intervale snage (MVA) koristeći dinamički model: od gustoće na kraju prve godine do one kada se pretpostavlja da opterećenje neće više rasti. Za manje investicijske troškove izgradnje (sjever) vrijedi tabl. 3.10., a za veće (jug) tabl. 3.11.

Tablica 3.10.

Optimalni intervali snage (MVA) - sjever

T_M (h)	150/25 Al/Č	240/40 Al/Č	360/57 Al/Č	490/65 Al/Č
3 000	15-24	25-38	37-57	50-77
4 500	13-21	21-33	32-49	44-67
6 000	7-11	11-18	17-27	23-36

Tablica 3.11.

Optimalni intervali snage (MVA) - jug

T_M (h)	150/25 Al/Č	240/40 Al/Č	360/57 Al/Č	490/65 Al/Č
3 000	20-30	32-48	47-72	64-98
4 500	17-26	27-42	40-62	55-85
6 000	15-22	24-36	36-54	48-74

Navedimo za usporedbu da su u temeljnoj studiji (L.3.1.) izračunati intervali snaga prijenosa (MVA) s parabolama analognim onima na slikama 3.7. - 3.12. (tabl. 3.12.) što se izvanredno uklapa kao srednje vrijednosti u naše rezultate (na bazi noveliranih podataka, i to onih za Hrvatsku), a koristeći optimalne gustoće struje u (L.3.1.) izračunato je prema tabl. 3.13.

Tablica 3.12.

Intervali snaga prijenosa (MVA) dobiveni parabolama

T_M (h)	150/25 Al/Č	240/40 Al/Č	360/57 Al/Č	490/65 Al/Č
3 000	do 36	36-58	58-81	preko 81
4 500	do 30	30-47	47-66	preko 66
6 000	do 26	26-40	40-56	preko 56

Tablica 3.13.

Intervali snaga prijenosa (MVA) - srednje vrijednosti

T_M (h)	150/25 Al/Č	240/40 Al/Č	360/57 Al/Č	490/65 Al/Č
3 000	10-30	16-47	24-70	32-95
4 500	8-24	13-38	20-57	26-77
6 000	7-20	11-32	16-49	22-66

Analogno se dinamičkim modelom mogu izračunati i ekonomski intervali snage: u izrazu za objektivnu funkciju troškova prvi sumand treba množiti sa $\Gamma(n)$, a drugi sa $\Gamma(x,n)$.

Dinamički model očito daje preuske intervale i opravdava brzu izgradnju novih vodova. Veliki broj vodova u kontradikciji je s prostornim mogućnostima pa i to govori u prilog uobičajenoga statičkog modela. Osim toga u izboru vodiča treba voditi računa i o zatečenju izgradjenosti mreže.

Za konkretno utvrđivanje optimalne prijenosne snage za određene presjeke vodiča trebalo bi uzeti u obzir i troškove transformatorskih stanica. Optimalne snage trebalo bi tražiti na osnovi tzv. ekonomske impedancije tereta, što je dosta složen račun obzirom na potrebne podatke. Ekonomska impedancija voda obično je veća od valnog otpora voda, a transformatora manja. Za ilustraciju navodimo francuski podatak da je pri duljini voda od 50 km ekonomska impedancija ukupnog prijenosa (vod + transformator) jednaka valnoj; za kraće vodove ekonomično je opterećenje veće od prirodne snage, a za duže manje od prirodne snage (L.3.20.).

3.2.2. Osnovni kriteriji za tipizaciju zaštitne užadi

U dosadašnjim radovima na tipizaciji vodiča za nadzemne vodove zaštitno uže nije se posebno promatralo kao objekt tehno-ekonomske analize, nego je njegov izbor bio posljedica pogonskih iskustava i prakse te mogućnosti domaće proizvodnje. Tako će predloženo tipiziranje zaštitne užadi biti na osnovi empirijske valorizacije i praktične verifikacije.

Zaštitno uže prije svega mora biti prilagodjeno faznim vodičima po svojim mehaničkim svojstvima u smislu uskladenih provjesa, tj. slične sile kidanja.

Razvojem mreže sve značajniji su postali parametri koji proizlaze iz osnovne funkcije zaštitne užadi: da štiti fazne vodiče i stupove od atmosferskih prenapona i općenito kvarova na dalekovodu. Tada dolaze do izražaja njegova vodljivost i termička opteretivost jer zaštitno uže kod dozemnog spoja u kruto uzemljenim mrežama treba:

- reducirati struje kroz zemlju u cilju smanjenja utjecaja na ptt linije,
- smanjiti struju dozemnog spoja kroz oštećeni stup, snižavajući opasne napone dodira i koraka,
- omogućavati pravilan rad zaštite u slučaju kvara na stupovima s velikim otporom uzemljenja, smanjujući ukupni otpor uzemljenja,
- smanjiti nultu impedanciju voda.

Najvažnije je upravo smanjiti struju dozemnog kratkog spoja $3I_0$ koja se zatvara kroz zemlju i tako smanjiti utjecaj na telekomunikacijske vodove. To se postiže paralelnim vodjenjem kroz zaštitno uže, a koliki će se dio ukupne struje $3I_0$ zatvoriti kroz zaštitno uže, a koliki kroz zemlju izražava se tzv. redukcionom faktorom zaštitnog užeta:

$$\bar{k} = 1 - \frac{\bar{Z}_{ag}}{\bar{Z}_{gz}},$$

tj. omjerom između struje preko zemlje i ukupne struje dozemnoga kratkog spoja. U ovom je izrazu:

$\bar{Z}_{ag}$ - impedancija ulančanih zamki (fazni vodič-zemlja) i (zaštitno uže-zemlja)

$\bar{Z}_{gz}$ - impedancija zamke (zaštitno uže-zemlja).

Treba naglasiti da navedeni izraz vrijedi za kvar na dalekovodu na većoj udaljenosti od trafostanice; ako se kvar dogodi u blizini stanice, redukcionni faktor zaštitnog užeta smanjuje se pod djelovanjem vrlo malog otpora uzemljenja trafostanice pa je potrebna korekcija ($\bar{k}_k$). Ukupni redukcionni faktor zaštitnog užeta sad iznosi:

$$\bar{k}_{uk} = \bar{k} \cdot \bar{k}_k = \bar{k} \cdot \frac{\bar{Z}_{gz}}{\bar{Z}_{gz} + \frac{R}{1}} = \frac{\bar{Z}_{gz} - \bar{Z}_{ag}}{\bar{Z}_{gz} + \frac{R}{1}}$$

$$R = R_{tr} + R_{st} \sqrt{\frac{\bar{Z}_{gz}}{4 \cdot a \cdot R_{st} + \bar{Z}_{gz}}}$$

pri čemu je:

R_{tr} - otpor uzemljenja trafostanice (Ω)

R_{st} - otpor uzemljenja stupa u kvaru (Ω)

a - srednji raspon (m)

l - udaljenost mjesta kvara od transformatorske stanice (m)

U izgradnji naših prvih dalekovoda kao zaštitno uže, u nestašici drugih materijala, upotrebljavano je čelično uže presjeka 50, 70 i 95 mm² koje je zadovoljavalo u pogledu mehaničkih svojstava. Sa sve većim zahtjevima u pogledu smanjenja utjecaja struja dozemnoga kratkog spoja čelično uže zbog svog velikog električkog otpora, i time lošeg redukcionog faktora, nije zadovoljavalo pa se počelo koristiti vodljivo uže Al/Č presjeka 50/30 i 95/55 mm². Ova užad ima oko čelične jezgre plašt aluminijskih žica čija je osnovna namjena da svojom vodljivošću smanje utjecaje na telekomunikacijske vodove prilikom dozemnih kratkih spojeva te zaštita čelične jezgre od korozije. Vodljivim zaštitnim užetom poboljšani su i uvjeti uzemljenja stupova (posebno na terenima s velikim specifičnim otporom zemlje).

Problematika zaštitnog užeta, a posebno čeličnog i alučeličnog, iscrpno je obradjena u (L.3.2) i rezimirana na savjetovanju CIGRE referatom (L.3.6.).

Medjutim, alučelična užad sa svojim mekim aluminijskim vodljivim plaštom nije u potpunosti odgovarala u mehaničkom smislu, posebno u predjelima s većim dodatnim opterećenjem od leda i snijega pa je dolazilo do pucanja aluminijskog plašta u nosivim stezaljkama (aluminijskih žica stisnutih između čelične jezgre i stezaljke).

Projektom "Osnovne 380 kV mreže Jugoslavije" revidirano je u smislu naglašenih zahtjeva na električna svojstva i ekonomiku takodjer i pitanje zaštitne užadi. Obnavljanju te problematike pogodovalo je i izdavanje novih JUS standarda: za tvrdo vučene okrugle žice iz E-AlMg1 legure za nadzemne vodove (JUS N.C1.501, XII 1973), za izradu užadi od legure E-AlMg1 (JUS N.C1.502, XII 1973), odnosno čelične užadi za nadzemne vodove (JUS N.C1.551, XII 1973).

Alternativa alučeličnoj zaštitnoj užadi zbog njihove nedovoljne mehaničke čvrstoće bila je užad od alumoweld žica (čelične žice visoke mehaničke čvrstoće presvučene aluminijskim slojem minimalne debljine 10 % od promjera čelične žice) te užad AlMg1E/Č.

U praksi se pokazalo da su mehanička i električka svojstva užadi od legure AlMg1 sasvim konkurentna onima od alumowelda i da ih mogu uspješno zamijeniti pa je presudna bila činjenica da je užad AlMg1E/Č jeftinija i da se proizvodi u našoj zemlji, dok je upotreba alumoweld užadi vezana uz uvoz (sa svime što iz toga slijedi). Osim toga alumoweld uže ima i slabije termičke karakteristike, tj. za jednaku struju i vrijeme više se zagrije nego AlMg1E/Č uže, što djeluje na mehaničku čvrstoću.

Kritička analiza i usporedba najčešće upotrebljavane zaštitne užadi i ove od AlMg1E žica te odgovarajući prijedlog dani su u (L.3.10.).

U pogledu zaštitne užadi "Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova" ZJE Beograd 1980. godine, u članu 21 određuje: "Zaštitno uže mora biti dimenzionirano tako da kod jednopolnih kratkih spojeva ne bude termički preopterećeno."

3.3. DOZVOLJENO STRUJNO OPTEREĆENJE VODIČA

U planiranju i u eksploataciji sistema, najinteresantnije su prijenosne mogućnosti vodova. Dominantan ograničavajući faktor prijenosnog kapaciteta voda je granica termičke opteretivosti vodiča, utjecajna naročito kod kraćih vodova i u dobro uzamčenoj mreži.

Pristup i filozofija termičke opteretivosti vodiča u različitim zemljama svijeta objedinjeni su u izvještaju sastavljenom iz ankete radne grupe CIGRE studijskog komiteta br. 31 (Planiranje sistema) i objavljenom u (L.3.13.).

Termička granica opteretivosti, odnosno najveća trajno dozvoljena strujna opteretivost prijenosnih nadzemnih vodova, ovisi o temperaturi iznad koje se užadi vodova (konkretno aluminiju) smanjuje mehanička čvrstoća. Ta najviša dozvoljena temperatura užadi određena je sa $+ 80^{\circ}\text{C}$ i ona limitira najveću pogonsku trajno dozvoljenu struju. Osim toga ta je temperatura i prag kada se javlja intenzivnija oksidacija površine kontakata spojnica i stezaljki između pojedinih dionica vodova čime se povećava prijelazni otpor (što izaziva opet daljnje zagrijavanje itd.). Pri dužem trajanju takve temperature vodiča povećava se provjes i smanjuje sigurnosni razmak.

Strujno zagrijavanje vodiča ovisi o njegovim karakteristikama i o stanju okoliša - temperaturi, vjetru. U najnepovoljnijem slučaju ljetnih uvjeta kod nas se smatra da se neopterećeni vodič pod djelovanjem okoliša zagrijava do $+ 40^{\circ}\text{C}$ pa dozvoljena nadtemperatura zbog strujnog zagrijavanja iznosi $+ 40^{\circ}\text{C}$.

Uočena je već kontradikcija u našem Pravilniku u kojem se članom 20 dozvoljava zagrijavanje vodiča do 80°C , a u članu 4 i 5 daje se maksimalna temperatura od $+ 40^{\circ}\text{C}$. kao pretpostavka za proračun provjesa vodiča i zaštitne užadi. U točki 28 člana 4 u specijalnim slučajevima "za provodnike visokonaponskih vodova, za koje se predviđa da u toku ljeta mogu imati u normalnom pogonu visoko specifično strujno opterećenje, preporučuje se računanje na temperaturu vodiča od $+ 60^{\circ}\text{C}$."

Ova razlika u nazivnoj računskoj temperaturi vodiča (od 40°C na 80°C) znači prosječno povećavanje provjesa za 1,25 do 1,5 m. Takva se mogućnost smanjenja sigurnosnog razmaka prema našoj praksi uzima u obzir empirijski ocijenjenom rezervom.

S obzirom na malu vjerojatnost relevantnih koincidencija, obrazloženih u komentaru Pravilnika, naši propisi nisu mijenjani, iako za to postoje i konkretni prijedlozi, u posljednje vrijeme (L.3.14.). Tu se općenito za visokonaponske prijenosne vodove predlaže "da se trajno dozvoljene struje i visine stupova fiksiraju na osnovi temperature vodiča 60°C ."

U točki 3.3.3. izračunata je i trajno dozvoljena struja te slučaj maksimalne tempera-

ture vodiča + 60 °C, i to samo za slučaj prijedloga tipiziranog Al/Č užeta 240/40.

Dodajmo još da u mnogim zemljama nisu objedinjene temperatura maksimalnoga trajnog opterećenja vodiča i ona za koju se računa sigurnosni razmak (pregled u L.3.15.).

3.3.1. Deterministički model određivanja dozvoljenih strujnih opterećenja vodiča

Za određivanje trajno dozvoljene struje najviše se koristi deterministički model. Njega definiraju dva konačna stanja: najveća trajno dozvoljena temperatura vodiča i referentno, obično najnepovoljnije pretpostavljeno stanje okoliša. Primjena ovakvog determinističkog modela daje iz perspektive probabilističkih modela konzervativnije vrijednosti dozvoljene struje. Propisi favoriziraju deterministički model; u našem su Pravilniku definirana oba uvjeta u članu 20:

"Presjek žice i užadi mora biti dovoljno veliki da im temperatura kod zagrijavanja strujom ne prelazi 80 °C. Pri tom se računa s temperaturom okoliša 40 °C."

To je ujedno sve što naši propisi govore o nadtemperaturi i opterećenju. Da taj zahtjev izrazimo u električkim veličinama - budući da strujna opterećenja kod kojih se temperatura užadi povisi za 40 °C nisu dana ni u Pravilniku ni u JUS standardima - poslužit ćemo se važećom DIN normom 48204 iz 1974. u kojoj je navedeno maksimalno trajno opterećenje. U njemačkim propisima temperatura okoliša definirana je nešto niže nego u našim: 35 °C, a propisan je i vjetar 0,6 m/s (vjerojatno preuzet iz američke prakse: 2 ft/s).

Zato će trebati izvršiti preračunavanje da bi se dozvoljena granična vrijednost struje korigirala na našu temperaturu okoliša 40 °C.

Za stanje definirano temperaturom okoliša 40 °C i vodiča 80°C te brzinom strujanja okolnog zraka 0,6 m/s, granično strujno opterećenje vodiča može se izračunati prema formuli danoj u Pravilniku:

$$I = 5,6 \sqrt{\frac{910}{d(169 + \frac{910}{\sqrt{d}})}} \sqrt{\frac{1}{R}} \quad [A]$$

u kojoj je:

$R = R_{20} (1 + 60 \alpha)$ - električni otpor (Ω) za 1 km vodiča pri temperaturi + 80 °C.

d - promjer vodiča (cm).

Koincidencija temperature okoliša 40°C i maksimalnog opterećenja je rijetka pa je

opravdano istražiti opteretivost i pri drugim temperaturama okoliša i tako ustanoviti nekoliko nivoa moguće opteretivosti. Proračun je izvršen za Al/Č užad

110 kV	150/25
	240/40
220 kV	360/57
400 kV	490/65

Rezultate dajemo u tabličnom i grafičkom prikazu u točki 3.3.3.

3.3.2. Probabilistički i real-time modeli odredjivanja dozvoljenih struja opterećenja vodiča

Suptilniji uvid u odredjivanje trajno dozvoljene struje dao bi probabilistički ili statistički model termičkog stanja vodiča, u kojem se probabilistički kombiniraju različita stanja okoliša sa strujom iz krivulje trajanja opterećenja.

U prvo vrijeme, sedamdesetih godina, takav je model predložen za odredjivanje vijeka trajanja vodiča. Simulirane su posljedice stanja okoliša i struje tereta na temperaturu vodiča i gubitak mehaničke čvrstoće. Predviđen vijek trajanja vodiča odredjen je izjednačavanjem akumuliranog gubitka čvrstoće zbog zagrijavanja kroz neki period s ukupno dozvoljenim slabljenjem čvrstoće vodiča (obično 12 do 20 %).

U daljnjoj razradi uveden je parametar statičkog stanja okoliša. U odredjenoj zoni snimljene su satne temperature (t_0), brzina vjetra (v) i solarna radijacija (S) za jednu ili više godina i ustanovljene su njihove međusobne vjerojatnosti. Iz tih podataka razradjeno je dnevno probabilističko stanje okoliša za ljetno i zimsko razdoblje.

Vjerojatnost $P(t_0, v, S)$ odredjene kombinacije nezavisnih varijabli stanja okoliša za svaki od 24 sata je:

$$P(t_0, v, S) = P(t_0) \cdot P(v),$$

a nivo solarne radijacije pretpostavljen je linearno ovisan o temperaturi okoliša.

U sljedećem koraku uvedena je i nezavisna varijabla nekoliko nivoa strujnog opterećenja pa je vjerojatnost neke kombinacije struja/okoliša:

$$P(t_0, v, S, I) = P(t_0) \cdot P(v) \cdot P(I).$$

Temperatura vodiča sada se odredjuje iz termičke ravnoteže za svaku kombinaciju

navedenih parametara. Vjerojatnost takve temperature vodiča jednaka je zajedničkoj vjerojatnosti stanja okoliša i struje tereta:

$$P(t_v) = P(t_o, v, S, I).$$

Osim prethodno navedenih, dosta konzervativnih metoda za određivanje opteretivosti vodiča nadzemnih elektroenergetskih vodova (čiji rezultati su uvijek na strani veće sigurnosti), u zadnje vrijeme razvijene su nove metode koje daju znatno realnije rezultate. Zbog toga bi ih u rješavanju problematike termičke opteretivosti trebalo više preferirati. Radi se o sljedećim metodama:

- parametarska (statistička) metoda u realnom vremenu
- statistička metoda vodič - temperatura
- metoda realnog vremena vodič - temperatura.

a) Parametarska (statistička) metoda u realnom vremenu

Ova metoda polazi od istih pretpostavki kao i prethodno navedeni probabilistički model (statističko - parametarski model). Naime odabire se odgovarajući interval promatranja Δt (npr. 1 h), a u toplinsku jednadžbu, koja daje ovisnost dovedene topline vodiču (Jouleovo zagrijavanje zbog protjecanja struje, sunčevo zračenje i tzv. magnetski efekt - efekt histereze i skin efekt) i topline odvedene od vodiča (prirodna i prisilna konvekcija, zračenje i isparavanje), uvrštavaju se stvarno izmjerene vrijednosti meteoroloških parametara opterećenja te se na taj način određuje temperatura vodiča kao rješenje prethodno spomenute toplinske jednadžbe.

Odmah je vidljivo da ova metoda zahtijeva sistematsko praćenje meteoroloških podataka i njihovo ažuriranje.

Napomenimo da se u novije vrijeme i u našoj praksi pristupilo rješavanju problema termičke opteretivosti koristeći upravo ovu metodu.

Mjerenja stvarnih meteoroloških parametara i struje opterećenja vodiča vršena su za 2x220 kV dalekovod Konjsko-Vrboran.

Na elektroničkom računalu razrađen je i testiran model za određivanje temperature vodiča, za različite meteorološke uvjete, te su dane granice termičke opteretivosti za prethodno spomenuti dalekovod. (Studija "Termičke opteretivosti vodiča visokonaponskih nadzemnih vodova DV 2x220 kV Konjsko-Vrboran," izradio Dalekovod OOUR Inženjering, Zagreb 1986.)

b) Statistička metoda vodič - temperatura

Osnova ove metode jest u izradi određenog modela, pri čemu je taj model postavljen u meteorološke uvjete identične onima kojima je izložen vod za koji se želi odrediti strujna operativost, a također je potrebno da i vodič bude identičan onome na vodu. Kroz vodič tako formiranog modela propušta se istosmjerna konstantna struja, a prate se temperature vodiča i zraka u vremenskom periodu od najmanje godinu dana. Na taj način moguće je odrediti distribuciju zagrijavanja vodiča kao funkciju distribucije meteoroloških parametara. Ovaj se postupak može ponoviti za neke druge vrijednosti struja, odnosno varijacija zagrijavanja vodiča može se izvesti iz izraza:

$$\frac{I_1^2}{I_2^2} = \frac{Q_1 (1 + \alpha_0 Q_2)}{Q_2 (1 + \alpha_0 Q_1)},$$

pri čemu su I_1 i I_2 struje pri određenim temperaturama Q_1 i Q_2 , a α_0 temperaturni koeficijent ovisan o vodiču.

c) Metoda realnog vremena vodič - temperatura

Ova se metoda bazira na mjerenju temperature vodiča pod visokom naponom (direktno s vodiča dalekovoda) kontinuirano ili u kratkom intervalima. Mjerenja se vrše pomoću odgovarajućih pretvaračkih uređaja, a signal se prenosi optički do željenog mjesta. Odmah je vidljivo da ova metoda daje najrealnije rezultate, međutim iziskuje montažu vrlo skupih instrumenata za svaki vod posebno, a za duže vodove koji prolaze kroz više klimatskih zona zahtijeva i montažu više takvih instrumenata. Zbog toga, a u okviru ove metode, razrađeni su modeli voda, kroz koji protječe izmjenična struja niskog napona. Model se sastoji od cilindra dovoljne duljine da se zanemari aksijalni protok topline, istog promjera, površinskih osobina i toplinske vremenske konstante kao i vodič na dalekovodu čije strujno opterećenje se promatra. Struja u vodiču modela mora biti u korelaciji sa strujom u vodičima dalekovoda, odnosno njen efektivni iznos mora biti identičan, kako bi i razvijena toplina po Jouleu bila identična.

Temperaturu vodiča na modelu mjerimo pomoću odgovarajućih uređaja u njegovoj sredini.

Prednost je ovakvih modela što su znatno jednostavniji i jeftiniji za izradu, a moguće ih je postaviti više na različita mjesta te ako u okolini postoje vodovi (npr. transformatorska stanica) s istom užadi (tipizacija) uz drugu orijentaciju voda (azimut), moguće je isti model koristiti za više vodova.

Rezimirajući prethodno navedeno, vidi se da je problematika termičke opteretivosti trenutno u svijetu vrlo aktualna, dok se kod nas rješavanju te problematike tek pristupilo, naročito nakon "ispada" pojedinih teško opterećenih dalekovoda u ljetnim mjesecima.

U sljedećem poglavlju dana su strujna opterećenja vodiča primjenom determinističke metode.

Vjerojatni sat da temperatura vodiča bude t jednak je produktu vjerojatnosti te temperature vodiča, dakle $P(t, v, S, I)$, i ukupnog broja sati vremenskog intervala promatranja (L.3.16). Projektant voda može s takvim probabilističkim modelom okoliša nadogradjenim s različitim režimima strujnog opterećenja za različite presjeke vodiča lako ocijeniti provjese, naprezanja, gubitke, zagrijavanje vodiča i ostale limitirajuće kriterije koji su funkcija okoliša i strujnog opterećenja.

U ideji probabilističkog modela osnovno je, dakle, da se deterministički pristup primjenjuje na proračunavanje prosječnih satnih vrijednosti temperature vodiča. Ta temperatura slijedi kao funkcija prosječnih satnih vrijednosti probabilistički definiranih ambijentalnih uvjeta u kombinaciji sa strujama tereta prema histogramu dnevnog dijagrama opterećenja. Rezultirajuća krivulja vremenske promjene temperature vodiča može se onda interpretirati ovisno o cilju istraživanja: utvrđivanja mehaničke čvrstoće vodiča, rizika od preskoka i povećavanja provjesa (L.3.17.).

Probabilistički ili statistički pristup primjenjivan je u analizi parametara ovisnih o termičkom stanju vodiča za 400 kV mrežu (L.3.18.), dok za vodove nižih napona nije u literaturi ništa pronadjeno. Proračuni prema probabilističkom modelu vrlo su složeni i zahtijevaju kontinuirano poznavanje mnogih meteoroloških i pogonskih podataka pa se taj model šire ne primjenjuje.

3.3.3. Tablični prikaz dozvoljenih strujnih opterećenja za predložene tipizirane presjeke vodiča

Prema poglavlju 3.3.1. izračunata je najveća dozvoljena trajna strujna opteretivost vodiča za različita stanja okoliša i dana je u tabl. 3.14.

Tablica 3.14.

Najveća dopuštena trajna strujna opteretivost vodiča

t_0 (C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
110 kV (A)	613	595	576	555	534	512	489	465	439
150/25 (MVA)	117	113	110	106	102	97	93	88	84
110 kV (A)	843	817	791	764	735	705	673	640	605
240/40 (MVA)	160	155	150	145	140	134	128	122	115
220 kV (A)	1084	1054	1020	985	948	910	869	826	780
360/57 (MVA)	413	401	388	375	361	346	331	314	297
400 kV (A)	1322	1282	1241	1198	1154	1107	1058	1006	951
490/65 (MVA)	915	887	859	829	798	766	732	696	658

Za verifikaciju upotrijebljenog postupka kontrolirane su prema DIN normi konačne veličine struje za temperaturu okoliša 35°C za 150/25 Al/Č: 470 A (u tablici preračunavanja: 465 A); za 240/40 Al/Č: 645 A; presjeka 360/57 Al/Č nema u DIN-u ali je za 340/30 Al/Č: 790 A, a za 380/50 Al/Č: 480 A; za 490/65 Al/Č: 960 A. Iz toga se vidi da se jedino vrijednosti za Al/Č 490/65 nešto razlikuju, pa se može konstatirati primjerenost korištene metode preračunavanja.

Ako se pretpostavi mirna atmosfera, da nema vjetra, strujno se opterećenje smanjuje za 30 %.

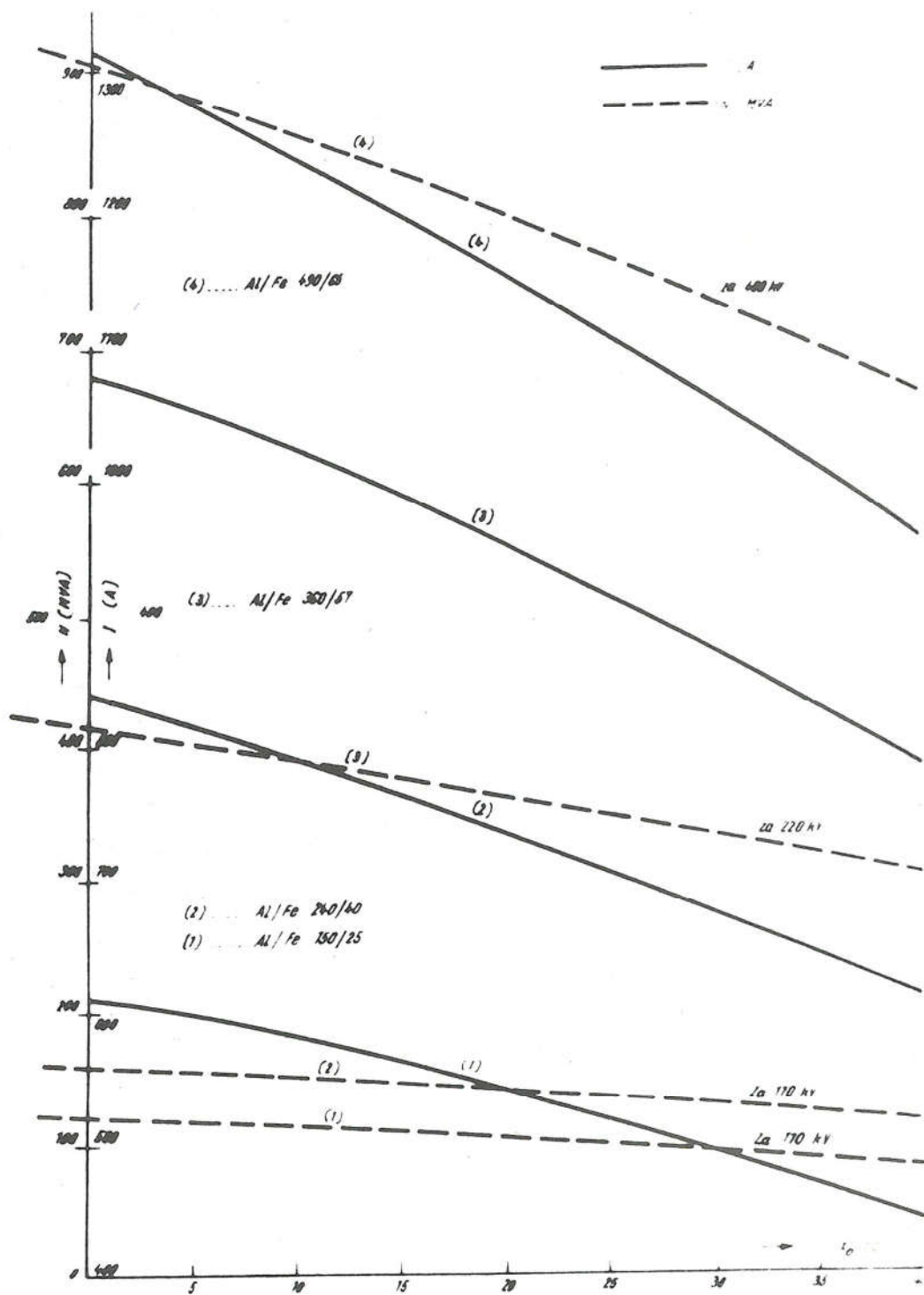
U tab.3.15. i dijagramu na sl.3.13. dane su snage za navedene naponske razine. Ako su vodiči upotrijebljeni na drugim naponima treba preko struje izračunati nove dozvoljene snage. Na primjer presjek 240/40 mm² upotrebljava se u 220 kV mreži pa je granična snaga 230 MVA (a ne 115 MVA) ili npr. presjek 490/65 mm² koristi se i u 220 kV mreži pa je granična snaga 360 MVA. Ako postoje vodiči u snopu, a to su u našoj praksi radovito dva, treba udvostručiti odgovarajuće vrijednosti. Posebno u 400 kV mreži svi su vodovi sa po dva vodiča u snopu pa je termička granica 1 320 MVA.

Ako je dozvoljena temperatura zagrijavanja vodiča 60°C, za Al/Č uže 240/40 voda 110 kV, vrijednosti maksimalno dozvoljene trajne struje za različitu temperaturu okoliša (uz pretpostavljeno strujanje u okolišu vodiča 0,6 m/s) navedene su u tabl.3.15. i prikazane u dijagramu na sl. 3.14.

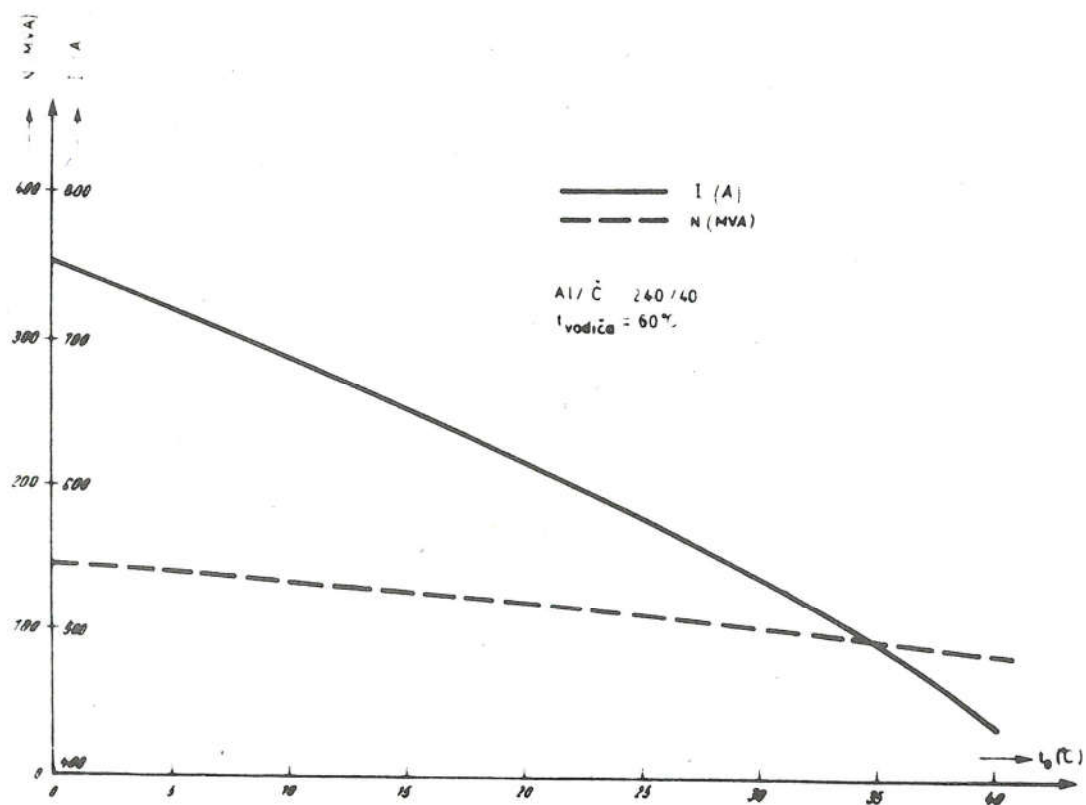
Tablica 3.15.

Opterećenje vodiča Al/Č 240/40 uz dopuštenu temperaturu od 60°C

t_0 °C	0	5	10	15	20	25	30	35	40
(A)	749	718	686	652	616	577	535	489	439
(MVA)	143	137	131	124	117	110	102	93	84



Dijagram opterećenja vodiča u ovisnosti o temperaturi okoliša
Slika 3.13.



Dijagram opterećenja vodiča 240/40 Al/Č pri dopuštenoj graničnoj temperaturi od 60°C
 Slika 3.14.

3.4. KONSTANTE VODA

3.4.1. Proračun konstanti - općenito

Proračun direktnih (inverznih) i nultih uzdužnih impedancija i poprečnih admitancija po jedinici duljine voda kod struja pogonske frekvencije uobičajeno se vrši na računskom stroju (L.3.3). Proračun uzdužnih impedancija polazi od matrice uzdužnih impedancija voda, a proračun poprečnih admitancija od matrice potencijalnih koeficijenata. Nakon redukcije zaštitne užadi i (eventualnih) snopova vodiča (uzdužne i poprečne konstante) i nakon inverzije inverzne matrice ekvivalentnih faznih susceptancija (poprečne konstante) dobivamo matricu ekvivalentnih faznih impedancija odnosno matricu ekvivalentnih faznih susceptancija. U nastavku se jednostavno postupcima ekvivalentnih transformacija formiraju matrice simetričnih komponenata.

Matrica udužnih impedancija definirana je na sljedeći način:

$$|Z| = \begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1n} & \dots & Z_{1,n+m} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2n} & \dots & Z_{2,n+m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & & Z_{nn} & & Z_{n,n+m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Z_{n+m,1} & Z_{n+m,2} & \dots & Z_{n+m,n} & \dots & Z_{n+m,n+m} \end{vmatrix}$$

Matrica impedancija je reda $N+M$, gdje je N -broj vodiča, a M -broj zaštitne užadi. Dijagonalni članovi matrice impedancija $Z_{ii} = R_{ii} + j \omega L_{ii}$ predstavljaju vlastite impedancije petlji koje tvore vodič, odnosno zaštitno uže i povratnu stazu kroz zemlju, a vandijagonalni članovi $Z_{ij} = R_{ij} + j \omega L_{ij}$ predstavljaju uzdužne međuiimpedancije između petlji i -ti vodič-zemlja i j -ti vodič-zemlja.

Ulazni podaci za proračun matrice impedancija:

N	- broj vodiča
M	- broj zaštitne užadi
S	- broj vodiča u snopu
d_s (m)	- vlastita SGU vodiča u proračunu induktiviteta, uz $\mu_r = 1$
d_{sc} (m)	- vlastita SGU vodiča u proračunu kapaciteta
R_1 (Ω/km)	- djelatni otpor vodiča kod $+20^\circ\text{C}$, uz utjecaj skin efekta
d_g (m)	- vlastita SGU zaštitnog užeta u proračunu induktiviteta, uz $\mu_r = 1$
d_{gc} (m)	- vlastita SGU zaštitnog užeta u proračunu kapaciteta

R_g (Ω/km)	-	djelatni otpor zaštitnog užeta kod $+20^\circ\text{C}$ uz utjecaj skin efekta
x, y	-	koordinate vodiča
x, y	-	koordinate zaštitne užadi
Ωm)	-	specifični otpor tla

Dijagonalni članovi matrice impedancija određuju se iz izraza:

$$R_{ii} = R_1 + \pi^2 f \cdot 10^{-4} \quad [\Omega/\text{km}]$$

$$X_{ii} = 2\pi \frac{H_e^2}{d_g} \cdot 10^{-2} \quad [\Omega/\text{km}]$$

odnosno:

$$R_{ii} = R_g + \pi^2 f \cdot 10^{-4} \quad [\Omega/\text{km}]$$

$$X_{ii} = 2\pi \ln \frac{H_e^2}{d_g} \cdot 10^{-2} \quad [\Omega/\text{km}]$$

Prva dva izraza odnose se na vodiče, a druga dva odnose se na zaštitnu užad.

Vandijagonalni članovi matrice impedancije određuju se iz izraza:

$$R_{ij} = \pi^2 \cdot f \cdot 10^{-4} \quad [\Omega/\text{km}],$$

$$X_{ij} = 2\pi \ln \frac{H_e^2}{D_{ij}} \cdot 10^{-2} \quad [\Omega/\text{km}]$$

gdje su:

$$H_e^2 = 93,1036 \sqrt{\rho} \text{ (m stopa)} \quad - \quad \text{kvadrat ekvivalentne visine po Carsonu}$$

$$D_{ij} = \quad (\text{m}) \quad - \quad \text{udaljenost između vodiča, odnosno zaštitnog užeta "i" i vodiča, odnosno zaštitnog užeta "j" (vodič i zaštitno uže su ravnopravno tretirani)}$$

Tvorba matrice impedancija odvija se u skladu s sljedećim pravilima:

- matrica uzdužnih impedancija je reda $N+M$, gdje je N ukupni broj vodiča, a M ukupni broj zaštitne užadi
- vodiči imaju manji redni broj od zaštitne užadi, tj. vodiči se navode od 1 do N , a zaštitna užad od $N+1$ do $N+M$.
- vodiči u snopu također se pojedinačno zadaju u skladu s pravilom da se po redu navode prvi vodiči po fazama, zatim drugi itd.

Matrica potencijalnih koeficijenata definirana je na sljedeći način:

$$|P| = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} & \dots & P_{1,n+m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} & \dots & P_{2,n+m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ P_{n,1} & P_{n,2} & \dots & P_{nn} & \dots & P_{n,n+m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ P_{n+m,1} & P_{n+m,2} & \dots & P_{n'+m,n} & \dots & P_{n+m,n+m} \end{vmatrix}$$

Vrijedi ponovno da je matrica potencijalnih koeficijenata reda $N+M$, gdje N i M imaju već ranije opisano značenje.

Svi ulazni podaci za proračun matrice impedancija grana također su i ulaz za matricu potencijalnih koeficijenata (s iznimkom specifičnog otpora zemlje).

Dijagonalni članovi matrice potencijalnih koeficijenata određuju se iz izraza:

$$P_{ii} = 18 \ln \frac{H_{ii}}{d_{sc}} 10^6 \quad \left[\frac{\text{km}}{F} \right]$$

odnosno:

$$P_{ii} = 18 \ln \frac{H_{ii}}{d_{gc}} 10^6 \quad \left[\frac{\text{km}}{F} \right]$$

Prvi izraz odnosi se na vodiče, a drugi izraz na zaštitnu užad.

Vandijagonalni članovi matrice potencijalnih koeficijenata određuju se iz izraza:

$$P_{ij} = 18 \ln \frac{H_{ij}}{D_{ij}} 10^6 \quad \left[\frac{\text{km}}{\text{F}} \right]$$

gdje su:

- H_{ii} (m) - udaljenost vodiča odnosno zaštitne užadi od svoje zrcalne slike
- H_{ij} (m) - udaljenost vodiča odnosno zaštitnog užeta "i" od zrcalne slike vodiča, odnosno zaštitnog užeta "j" (vodič i zaštitno uže su ravnopravno tretirani)
- D_{ij} (m) - udaljenost između vodiča odnosno zaštitnog užeta "i" i vodiča odnosno zaštitnog užeta "j" (vodič i zaštitno uže ravnopravno su tretirani).

3.4.2. Direktne i nulte uzdužne impedancije i poprečne admitancije po jedinici duljine voda kod struja pogonske frekvencije

Jedinične direktne (inverzne) i nulte impedancije i poprečne admitancije općenito slijede iz matrica simetričnih komponenata :

$$|A| = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$$

gdje je $|Z_{\text{sim}}| = |A|$ u proračunu uzdužnih impedancija i $|B_{\text{sim}}| = |A|$ u proračunu poprečnih admitancija odnosno susceptancija (odvod G je zanemaren).

U matrici simetričnih komponenata član a_{11} predstavlja rezultatnu jediničnu nultu impedanciju z_0 u proračunu uzdužnih impedancija, odnosno susceptancija b_0 u proračunu poprečnih admitancija (susceptancija). Slično vrijedi za direktnu jednaku inverznoj impedanciji odnosno susceptanciji:

$$z_d = z_i = a_{22} = a_{33} \text{ odn. } b_d = b_i = a_{22} = a_{33}$$

3.4.2.1. Jednostruki vod

Proračun jednostrukog voda sa S vodiča u snopu i M zaštitne užadi polazi od matrice uzdužnih impedancija reda $N \times S + M$, gdje je $N=3$ za jednostruki vod. Nakon redukcije snopova vodiča i redukcije zaštitne užadi matrica je veličine 3×3 . Matrica poprečnih susceptancija prolazi pri tom i postupak inverzije matrice.

Provedba ekvivalentnih transformacija (L3.3 i L3.12.) konačno rezultira matricom simetričnih komponenata prema prethodnom izrazu s gore opisanim značenjem pojedinih dijagonalnih članova, dok su vandijagonalni članovi za potpuno prepleten vod praktički jednaki nuli.

3.4.2.2. Dvostruki vod odnosno paralelni vodovi

Proračun dvostrukog voda odvija se ekvivalentno jednostrukom sve do proračuna simetričnih komponenata. Poslije provedbe svih redukcija, a prije proračuna matrice simetričnih komponenata, matrica uzdužnih odnosno poprečnih parametara je reda 3x3, dok je za dvostruki vod reda 6x6. Nakon provedbe linearnih transformacija pomoću matrica transformacija za dvostruke vodove, resultantna matrica simetričnih komponenata takodjer je reda 6x6.

Matrica simetričnih komponenata za dvostruke vodove može se općenito podijeliti na četiri podmatrice.

$$|A| = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \\ \hline a_{41} & a_{42} & a_{43} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ \hline a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{vmatrix}$$

Podmatrice A_{11} odnosno A_{22} opisuju prvu odnosno drugu trojku dvostrukog voda, dok podmatrice A_{12} i A_{21} sadrže sve informacije o vezi između njih.

Proračun uzdužnih i poprečnih konstanta dvostrukog voda može se prema tome svesti na proračun pojedinih trojki zajedno s proračunom utjecaja koji vlada između njih. Na slici 3.15. ilustriran je taj problem na proračunima induktiviteta odnosno kapaciteta dvaju vodiča 1 i 2 iznad zemlje. Kasnije se razmatranja mogu prenijeti na trojke dvostrukog voda.

Prema sl. 3.15. i pripadnim izrazima impedancija kruga vodič-zemlja iznosi:

$$z_0 = \frac{z_{11} + z_{12}}{2} = \frac{R_1}{2} + R_z + j 2 \pi 10^{-2} \ln \frac{H_e^2}{\sqrt{(d_s \cdot D_{12})}} \quad [\Omega/\text{km}]$$

gdje su:

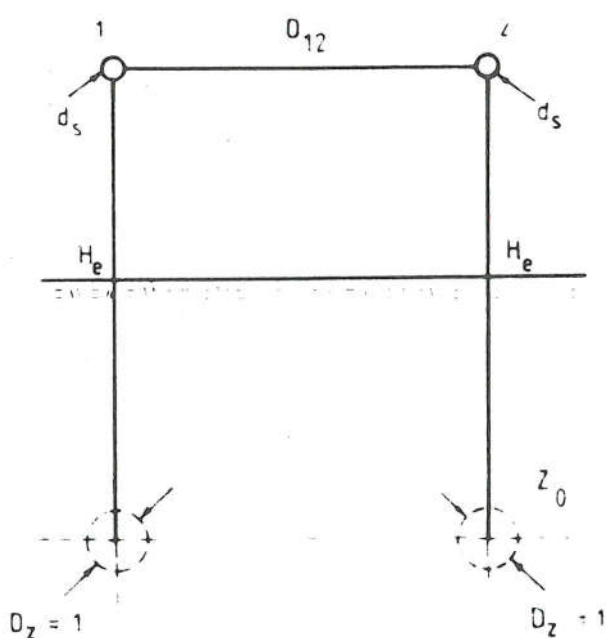
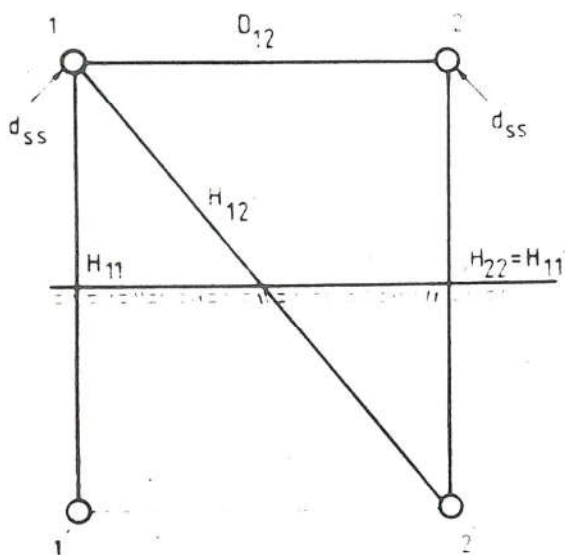
R_1 - djelatni jedinični otpor vodiča (Ω/km)

R_z - jedinični otpor zemlje po Carsonu (Ω/km)

H_e - kvadrat ekvivalentne visine po Carsonu (stopa)

d_s - vlastita SGU vodiča u proračunu induktiviteta (m)

D_{12} - razmak vodiča 1 i 2 (m).



a) proračun impedancija

b) proračun kapaciteta odnosno susceptancija

Proračun uzdužnih i poprečnih konstanti dvostrukog voda.

Slika 3.15.

Na sl.3.15. pretpostavljeno je da su vodiči 1 i 2 ekvivalentnih karakteristika.

Djelovanje medjuinduktiviteta očituje se u ovom slučaju u povećanju impedancije za svaki pojedini vodič.

Analogno vrijedi i za proračun kapaciteta i susceptancija, tj. poprečnih konstanta. Poslije sređivanja izlazi:

$$b_o = 2 (b_{11} + b_{12}) = \frac{10^2 \pi}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{\sqrt{H_{11} \cdot H_{12}}}{\sqrt{d_{sc} \cdot D_{12}}}} \quad [\text{S/km}]$$

gdje su:

- H_{11} (m) - udaljenost vodiča 1 od njegove zrcalne slike
- H_{12} (m) - udaljenost vodiča 1 od zrcalne slike vodiča 2
- D_{12} (m) - udaljenost vodiča 1 od vodiča 2
- d_{sc} (m) - vlastita SGU vodiča u proračunu kapaciteta

Djelovanje parcijalnog kapaciteta drugog vodiča očituje se u ovom slučaju u smanjenju ukupnog kapaciteta odnosno susceptancije za svaki pojedini vodič.

Poopćavanje gore izloženog problema vodi na proračun konstanta dvostrukog voda.

Poznato je da element s adresom 1,1 matrice simetričnih komponenata predstavlja nultu konstantu, element s adresom 2,2 direktnu konstantu, a element s adresom 3,3 inverznu konstantu. Za vod su direktna i inverzna konstanta međusobno jednake. Spomenute elemente lako je prepoznati u podmatricama A_{11} i A_{22} koje opisuju prvu odnosno drugu trojku dvostrukog voda.

Analogno u podmatricama $A_{12} = A_{21}$ član adrese 1,4 određuje nultu međusobnu konstantu, 2,5 direktnu, 3,5 inverznu.

Prema tome konstante, uzdužne i poprečne jesu:

uzdužne:

$$a_{10} = (a_{11} + a_{14})/2$$

$$a_{20} = (a_{22} + a_{25})/2$$

$$a_{30} = (a_{33} + a_{36})/2$$

poprečne:

$$a_{10} = 2 (a_{11} + a_{14})$$

$$a_{20} = 2 (a_{22} + a_{25})$$

$$a_{30} = 2 (a_{33} + a_{36})$$

odnosno

Uzdužne konstante dvostrukog voda odnose se kao otpori, a poprečne kao vodljivosti.

Preostali članovi pojedinih podmatrica predstavljaju elemente veze između nultog, direktnog i inverznog sistema.

3.4.3. Parametri neovisni o duljini voda

3.4.3.1. Valni otpor

Pri razmatranju prilika na idealnom vodu u praznom hodu općenito vrijedi da su energija magnetskog polja po jedinici duljine voda na mjestu maksimuma struje i energije električnog polja na mjestu maksimuma napona međusobno jednake:

$$\frac{I_{\max}^2 \cdot L_1}{2} = \frac{U_{\max}^2 \cdot C_1}{2}$$

pa slijedi:

$$\frac{U_{\max}}{I_{\max}} = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = Z_v, \quad Z_v = \sqrt{\frac{Z_1}{Y_1}}$$

Omjer drugog korijena jediničnog induktiviteta i drugog korijena jediničnog kapaciteta ima dimenziju u Ω i naziva se valni otpor. Lijevi izraz vrijedi za idealan vod, a desni izraz za realan vod, tj. vod s gubicima.

Valni otpor je veličina koja karakterizira vod. Induktivitet i kapacitet su funkcija geometrijskih dimenzija voda i svojstava materijala.

3.4.3.2. Konstanta prodiranja

U prijenosnim jednadžbama susreće se još jedna konstanta, ovisna o geometriji voda i svojstvima materijala. To je konstanta prodiranja γ :

$$\gamma = (Z_1 \cdot Y_1)^{1/2} = \alpha + j\beta$$

gdje su:

α - konstanta gušenja

β - fazna konstanta

Budući da su u račun uzeti djelatni otpor i odvod voda, javljaju se i gubici energije. Prigušenje amplituda napona i struja karakterizirano je konstantom prigušenja α , a za veličinu promjene faznog kuta mjerodavna je fazna konstanta β . Način prodiranja vala kroz vod definiran je dakle ukupnom konstantom koja je poznata pod nazivom konstanta prodiranja.

3.4.3.3. Valna brzina

Valna duljina je treća konstanta koja ovisi o geometriji voda i o materijalu vodiča. Definirana je kao omjer kružne frekvencije i fazne konstante β :

$$v = \frac{w}{\beta}.$$

Brzina širenja vala u idealnom vodu jednaka je brzini svjetlosti u vakumu:

$v = 3 \times 10^5$ km/s, dok je za realan vod nešto manja.

3.4.3.4. Valna dužina

Četvrta konstanta ovisna o geometriji stupa i o materijalu vodiča je valna duljina. Ona se jednostavno dobiva kao omjer valne brzine i frekvencije:

$$\lambda = \frac{v}{f}.$$

Za idealan vod $v = 3 \times 10^5$ km/s i frekvenciju $f = 50$ Hz izlazi da valna duljina iznosi 6 000 km.

Duljina vala definirana je kao udaljenost između one dvije točke na kojima su momentalne vrijednosti napona odnosno struje međusobno jednake.

3.4.4. Parametri ovisni o duljini voda

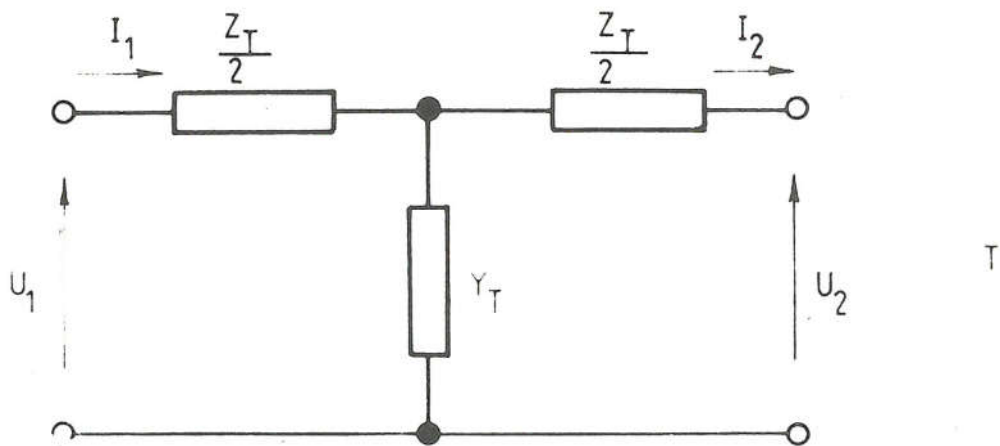
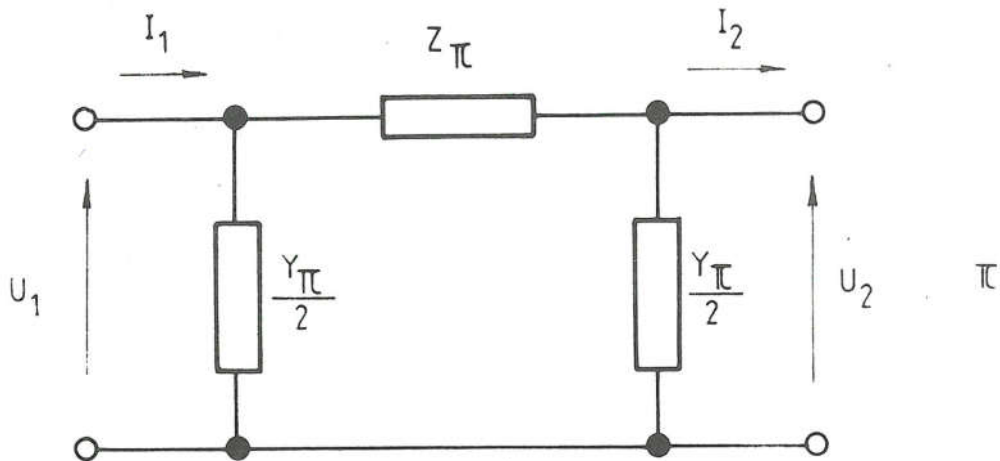
3.4.4.1. Nadomjesna π i T-shema

Približno rješenje kratkih vodova svodi se na koncentriranje svih uzdužnih grana u sredinu voda, a poprečne se grane koncentriraju pola na početku, a pola na kraju voda (π - shema), ili na koncentriranje uzdužnih grana pola na početku i pola na kraju voda, s koncentriranjem svih poprečnih grana u sredini voda (T-shema) - vidi sliku 3.16.

Treba naglasiti da takav način prikazivanja vodova nije egzaktni jer su konstante voda kontinuirane, a ne koncentrirane. Ovakav postupak ima opravdanja kod kratkog voda i može se primijeniti za naše 110 kV vodove. Ekvivalentan proračun sada se, na primjer, po π - shemi može provesti uz:

$$Z = Z_1 \cdot l = (R_1 + j\omega L_1) l$$

$$Y = Y_1 \cdot l \approx j\omega C_1 l$$



Nadomjesna π -shema i T-shema nadzemnog voda
Slika 3.16.

3.4.4.2. Opće konstante prijenosnih jednadžbi

Za svaki pasivni prijenosni sistem s linearnim elementima mogu se postaviti opće prijenosne jednadžbe:

$$U_1 = A \cdot U_2 + B \cdot I_2$$

$$I_1 = D \cdot I_2 + C \cdot U_2,$$

odnosno

$$U_2 = D \cdot U_1 - B \cdot I_1$$

$$I_2 = A \cdot I_1 - C \cdot U_1$$

U navedenim su izrazima A, B, C i D opće konstante prijenosnog sistema. Odnos među konstantama, koje su kompleksni brojevi, jest:

$$A \cdot D - B \cdot C = 1.$$

Konstanta A predstavlja odnos napona praznog hoda, konstanta B je impedantna karakteristika (ima dimenziju Ω), konstanta C je admitantna karakteristika (ima dimenziju S), dok konstanta D predstavlja odnos struja kratkog spoja. U simetričnim prilikama vrijedi $A = D$.

Opće konstante π -sheme određuju se slijedećim izrazima:

$$A = 1 + \frac{Z_{\pi} Y_{\pi}}{2}$$

$$B = Z_{\pi}$$

$$C = Y_{\pi} + \frac{Z_{\pi} Y_{\pi}^2}{4}$$

$$D = 1 + \frac{Z_{\pi} Y_{\pi}}{2} = A$$

Opće konstante T-sheme određuju se slijedećim izrazima:

$$A = 1 + \frac{Z_T Y_T}{2}$$

$$B = Z_T + \frac{Z_T^2 Y_T}{4}$$

$$C = Y_T$$

$$D = 1 + \frac{Z_T Y_T}{2}$$

Gornji izrazi vrijede za simetrične prilike i rezultatski su identični.

3.4.4.3. Impedancija praznog hoda i impedancija kratkog spoja

Impedancija praznog hoda Z_{PH} i impedancija kratkog spoja Z_{KS} mogu se jednostavno izvesti iz T-sheme za otvoreni odnosno kratko spojeni sekundar. U oba slučaja konačno se dobivaju identični izrazi:

$$Z_{PH} = Z_v \cdot \operatorname{cth} \gamma l$$

$$Z_{KS} = Z_v \cdot \operatorname{th} \gamma l$$

3.4.4.4. Formule za izračunavanje konstanata voda

Za brzo praktično računanje direktnih konstanata voda, tj. induktiviteta L , odnosno induktivnog otpora ωL i kapaciteta C , odnosno kapacitivnog otpora $1/\omega C$, mogu dobro poslužiti formule koje daju dovoljno točne rezultate. Na taj se način mogu izračunati potrebni elementi nadoknadne π -sheme.

a) Induktivitet trofaznog prepletenog voda po fazi

$$L = 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_m}{D_s} \quad [\text{H/km}]$$

gdje je:

D_m (m) - međusobna srednja geometrijska udaljenost faza

$$D_m = (D_{12} D_{13} D_{23})^{1/3} [\text{m}]$$

D_s (m) - vlastita srednja geometrijska udaljenost jedne faze

$$D_s = k \cdot r$$

r (m) - polumjer vodiča

D_s

--- = k (faktor manji od 1) za užad vodova 110 kV može se uzeti $k = 0,82$.

Za vodiče u snopu sa n vodiča uzima se izraz kao za vod s pojedinačnim vodičima, samo se uvrštava odgovarajući

$$D_s = r' \cdot \sqrt[n]{k}$$

r' (m) je nadoknadni polumjer koji odgovara onom pojedinačnom vodiču koji bi imao jednaki L i C kao promatrani snop

$$r' = \sqrt[n]{nR^{n-1}}$$

U ovom izrazu R označuje polumjer snopa, tj. polumjer kružnice na čijem se obodu nalaze središta užadi snopa.

U slučaju dvostrukog voda, tj. dviju trojki na istim stupovima, induktivitet jedne trojke, zbog utjecaja susjedne, povećava se otprilike 2 do 3 %.

Induktivni otpor po fazi:

$$X_L = \omega L \quad [\Omega/\text{km}]$$

b) *Kapacitet trofaznog voda po fazi*

Izraz za kapacitet je sljedeći:

$$C = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \cdot \ln \frac{D_m}{D_{ss}}} \quad [\text{F}/\text{km}]$$

Ovdje je:

$D_{ss} = r$ (m) - polumjer užeta kod vodova s jednim užetom po fazi

$D_{ss} = r'$ (m) - nadoknadni polumjer kod vodova s vodičima u snopu

Kapacitivni otpor po fazi

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad [\Omega/\text{km}]$$

Iz izračunatih vrijednosti za L i C može se izračunati valni otpor voda

$$Z_v = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad [\Omega]$$

a zatim i prirodna snaga voda pri međufaznom naponu U_m

$$P_{\text{nat}} = \frac{U_m^2}{Z_v}$$

Kao kontrola o ispravno izračunatim L i C, može se izračunati približna brzina svjetlosti c (vrijednost nešto ispod stvarne brzine):

$$\frac{1}{LC} \simeq c.$$

c) *Omski otpor i odvod*

Omski otpor R po fazi uzima se redovno jednak otporu koji bi izazvala istosmjerna struja, jer za promjere vodiča koji se primjenjuju na vodovima 110 kV skinefekt nije značajan.

Odvod, veličina koja se teško procjenjuje, redovno se zanemaruje.

3.4.5. Tablični pregled konstanta izgrađenih karakterističnih vodova 110 kV na području SR Hrvatske

U mreži SR Hrvatske glavni reprezentant vodova 110 kV je jednostruka "jela", koja je u odnosu na "portal" zastupljena u omjeru približno 10:1 (orijentacijski podaci). Dvostruki su vodovi još manje zastupljeni (u odnosu na duljinu trase) dok su najmanje zastupljeni vodovi u snopu.

Nadzemni trofazni vodovi sa stupovima tipa "jela" susreću se s presjekom vodiča 240/40 Al/Č (60 %), vodičima 150/25 Al/Č (35 %), dok se ostatak od 5 % odnosi na druge presjeke i materijale.

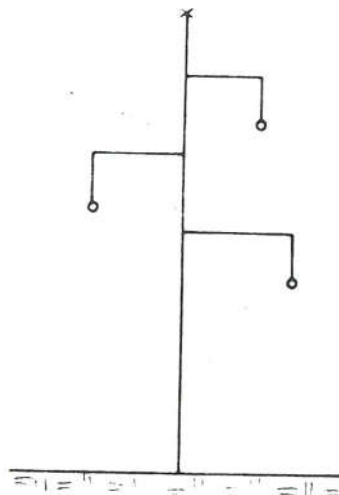
U najvećem broju slučajeva reprezentira ih nosivi stup sljedećih dimenzija glave stupa: duljine konzola su 2,5, 3,0 i 3,5 m s razmakom između konzola 2,2 m i visinom vrha 3,0 m. Veće dimenzije susrećemo kod stupova s vodičima u snopu.

Učinjen je tablični pregled konstanta izgradjenih karakterističnih vodova u SR Hrvatskoj, s pripadnim slikama glave stupova (sl. 3.17 i 3.18) iz kojeg se vidi da se u mreži 110 kV SR Hrvatske susreću karakteristični vodovi navedeni pod brojem 1-10. Pri tom su vodovi 1-6 jednostruki, a 6-9 dvostruki. Konačno je pod brojem 10 u tablici naveden primjer paralelnih vodova sa stupovima "jela".

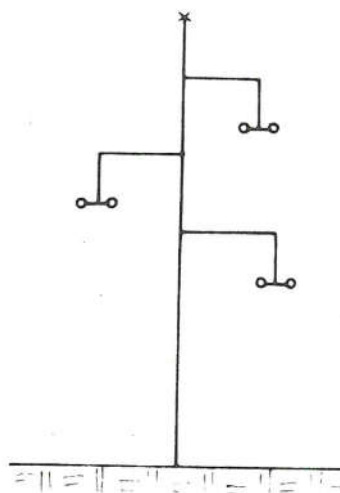
Tablica 3.16. sadrži jedinične direktne (inverzne) i nulte konstante za karakteristične vodove 110 kV u SR Hrvatskoj, dok se tabl. 3.17. i 3.18. odnose na dvostruke odnosno paralelne vodove, s nešto širim prikazom konstanta za jednu trojku, međusobni utjecaj i dvostruki vod. Prikaz rezultata odnosi se na ne-prepletene vodove, s podacima za specifični otpor zemlje $\rho = 50 \Omega\text{m}$ (ravničarski tereni), $100 \Omega\text{m}$ (prijelazni tereni) i $200 \Omega\text{m}$ (kraški tereni), obuhvativši time moguće varijacije u iznosima specifičnog otpora zemlje.

I, konačno, tabl. 3.19. sadrži parametre neovisne o duljini voda: valni otpor Z_v , konstantu prodiranja γ , valnu brzinu v i valnu duljinu λ .

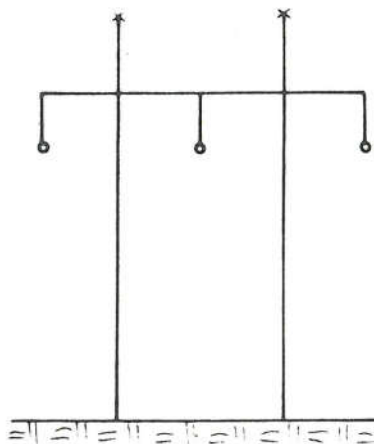
stup "jela",
vodovi 1, 2, 3



stup "jela" s vodičima u
snopu, vodovi 5, 6

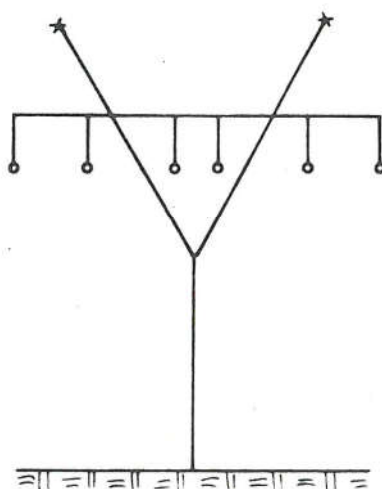


*stup "portal",
vod 4*

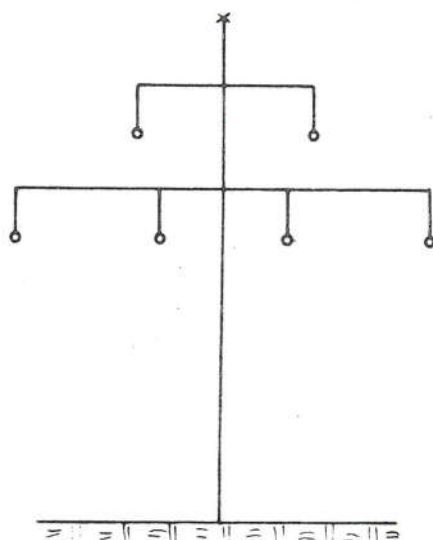


*Silhueta stupova vodova 110 kV s jednom trojkom vodiča
Slika 3.17.*

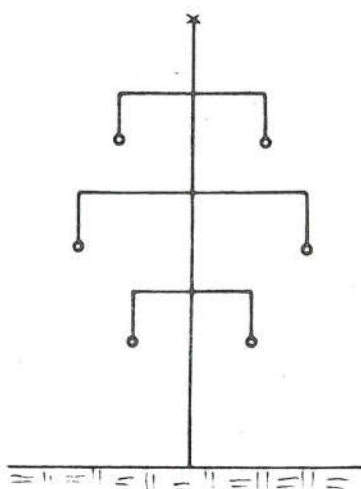
*stup "Y",
vod 7*



*stup "Dunav,"
vod 8*



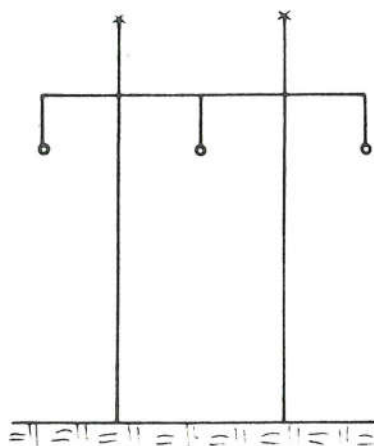
*stup "bačva",
vod 9*



*Silueta stupova vodova 110 kV sa dvije trojke vodiča
Slika 3.18.*

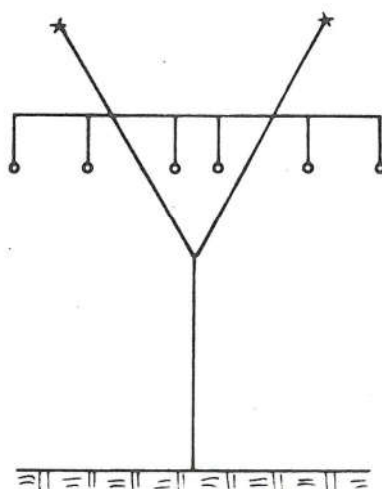
Vodovi broj 10 predstavljaju jednostruke vodove tipa "jela" s međusobnim udaljenostima trasa od 50 m.

*stup "portal",
vod 4*

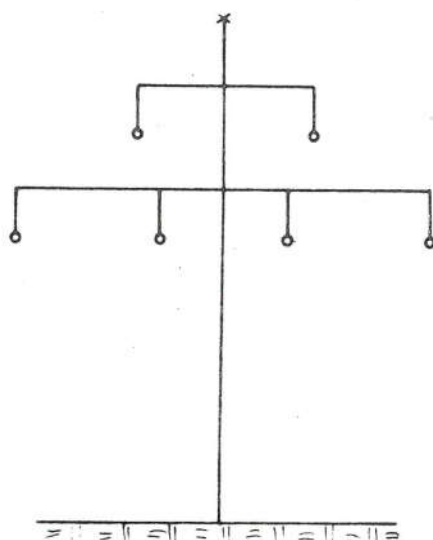


*Silhueta stupova vodova 110 kV s jednom trojkom vodiča
Slika 3.17.*

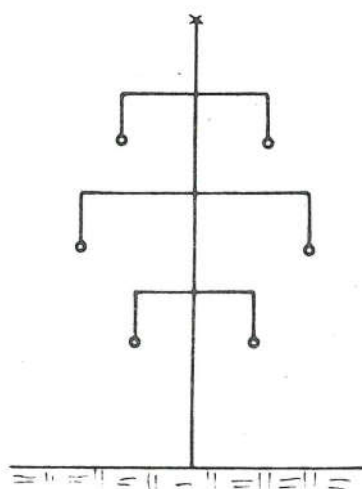
*stup "Y",
vod 7*



stup "Dunav,"
vod 8



stup "bačva",
vod 9



*Silueta stupova vodova 110 kV sa dvije trojke vodiča
Slika 3.18.*

Vodovi broj 10 predstavljaju jednostruke vodove tipa "jela" s međusobnim udaljenostima trasa od 50 m.

Tablica 3.16.

Jedinične direktne (inverzne) i nulte konstante u (Ω/km)
odnosno ($\mu \text{ s/km}$) za karakteristične jednostruke vodove 110 kV

Red. broj	Materijal i presjek vodiča i	Specifični otpor zemlje	Direktne konstante			Nulte konstante		
			-----	-----	-----	-----	-----	-----
	zaštitne užadi	(m)	r_d	x_d	b_d	r_o	x_o	b_o
1	3x150/25	50	0,194	0,421	2,71	0,405	1,274	1,68
	Al/Č + 1x50 ČII	100	0,194	0,421	2,71	0,416	1,334	1,68
	(stup "jela")	200	0,194	0,421	2,71	0,427	1,394	1,68
2	3x240/40	50	0,120	0,406	2,81	0,330	1,259	1,72
	Al/Č + 1x50 Č2	100	0,120	0,406	2,81	0,341	1,319	1,72
	(stup "jela")	200	0,120	0,406	2,81	0,352	1,379	1,72
3	3x240/40 Al/Č + 1x95/55	50	0,120	0,406	2,81	0,310	1,013	1,66
	AlMg1E/Č	100	0,120	0,406	2,81	0,320	1,041	1,66
	(stup "jela")	200	0,120	0,406	2,81	0,329	1,068	1,66
4	3x240/40	50	0,120	0,413	2,79	0,394	1,189	1,91
	Al/Č + 2x50 ČII	100	0,120	0,413	2,79	0,413	1,242	1,91
	(stup "portal")	200	0,120	0,413	2,79	0,434	1,293	1,91
5	3x2x240/40 Al/Č + 120/70	50	0,060	0,299	3,79	0,225	0,889	1,93
	AlMg1E/Č	100	0,060	0,299	3,79	0,233	0,916	1,93
	(stup "jela")	200	0,060	0,299	3,79	0,240	0,942	1,93
6	3x2x360/57 Al/Č	50	0,041	0,282	4,03	0,275	0,954	1,99
	+ 1x126 Alw	100	0,041	0,282	4,03	0,291	0,991	1,99
	(stup "jela")	200	0,041	0,282	4,03	0,307	1,027	1,

Tablica 3.17.

Jedinične nulte konstante u (Ω/km) odnosno ($\mu\text{S}/\text{km}$) za karakteristične dvostruke i paralelne vodove 110 kV

Red. br.	Materijal i presjek vodiča i zaštitne užadi	Sp. ot.	Jedna trojka			Međusobni utj.			Dvostruki vod		
			zem.	r	b	r	x	b	r	x	b
			50	0,36	1,22	0,80	0,23	0,67	0,35	0,30	0,94
7	2x3x240/40 Al/č+2x50 č II		100	0,37	1,28	0,80	0,25	0,72	0,35	0,31	0,90
			200	0,39	1,33	0,80	0,27	0,77	0,35	0,33	0,95
			50	0,32	1,30	0,72	0,20	0,77	0,46	0,26	0,84
8	2x3x240/40 Al/č+1x50 č II		100	0,33	1,36	0,72	0,21	0,83	0,46	0,27	0,81
			200	0,34	1,42	0,72	0,22	0,89	0,46	0,28	0,86
			50	0,30	1,04	0,77	0,19	0,56	0,62	0,24	0,80
9	2x3x240/40 Al/č+1x95/55 Al/č		100	0,31	1,06	0,77	0,19	0,59	0,62	0,25	0,83
			200	0,32	1,09	0,77	0,20	0,61	0,62	0,26	0,85
			50	0,28	0,96	0,70	0,13	0,20	0,04	0,20	0,58
10	2x(3x240/40 Al/č+ +1x95/55 Al/č)		100	0,28	0,98	0,70	0,13	0,22	0,04	0,21	0,60
			200	0,29	0,99	0,70	0,14	0,23	0,04	0,22	0,61

Tablica 3.18.

Jedinične direktne (inverzne) konstante u (Ω/km) odnosno ($\mu\text{S}/\text{km}$) za karakteristične dvostruke i paralelne vodove 110 kV

Red. br.	Materijal i presjek vodiča i zaštitne uzadi	Jedna trojka			Međusobni utjecaj			Dvostruki vod		
		r	x	b	r	x	b	r	x	b
7	2x3x240/40 Al/č+2x50 č II	0,12	0,41	2,82	0,01	-0,01	0,06	0,06	0,20	5,76
8	2x3x240/40 Al/č+1x50 č II	0,12	0,39	2,94	-0,00	0,00	0,00	0,06	0,20	5,88
9	2x3x240/40 Al/č+1x95/55 Al/č	0,12	0,40	2,85	0,00	0,02	-0,11	0,06	0,21	5,49
10	2x(3x240/40 Al/č+1x95/55 Al/č)	0,12	0,41	2,81	0,00	0,00	0,00	0,06	0,20	5,63

Tablica 3.19.

Parametri neovisni o duljini voda: valni otpor, Z_v , konstanta prodiranja γ ,
valna brzina v i valna duljina λ za karakteristične vodove 110 kV

Redni broj	Materijal i presjek vodiča i zaštitne užadi	Parametri neovisni o duljini vodiča			
		Z_v [Ω]	γ [1/km]	v [km/s]	λ [km]
1	3x150/25 Al/Č + 1x50 Č 2	414,1	$1,12 \cdot 10^{-3}$	287 000	5 740
2	3x240/40 Al/Č + 1x50 Č 2	387,8	$1,09 \cdot 10^{-3}$	290 800	5 816
3	3x240/40 Al/Č + 1x95/55 AlMg1/Č	387,9	$1,09 \cdot 10^{-3}$	291 100	5 822
4	3x240/40 Al/Č + 2x50 Č 2	392,6	$1,09 \cdot 10^{-3}$	290 100	5 801
5	3x2x240/40 Al/Č + 1x120/70 AlMg1/Č	283,6	$1,08 \cdot 10^{-3}$	293 700	5 874
6	3x2x360/57 Al/Č + 1x126 Alw	265,9	$1,07 \cdot 10^{-3}$	294 200	5 884
7	2x3x240/40 Al/Č + 2x50 Č 2	190,6	$1,10 \cdot 10^{-3}$	289 200	5 784
8	2x3x240/40 Al/Č + 1x50 Č 2	186,0	$1,09 \cdot 10^{-3}$	290 300	5 807
9	2x3x240/40 Al/Č + 1x95/55 Al/Č	199,6	$1,10 \cdot 10^{-3}$	289 700	5 793
10	2x(3x240/40 Al/Č + 1x95/55 Al/Č)	193,9	$1,09 \cdot 10^{-3}$	291 000	5 819

3.4.6. Zaključak

1. Provedeni proračuni direktnih (inverznih) i nultih konstanta karakterističnih vodova 110 kV navode na sljedeće zaključke u odnosu na utjecaj konfiguracije užadi na pojedine konstante voda:

a) direktne (inverzne) i nulte konstante voda se kod stupova "jela" neznatno razlikuju u odnosu na odgovarajuće portalne stupove ; direktne konstante ($\bar{z}_d$) nešto su manje, dok su nulte ($\bar{z}_0$) veće, uz zakretanje kuta nulte impedancije za par stupnjeva prema imaginarnoj osi; nulte poprečne konstante (b_0) su manje u odnosu na odgovarajući vod s portalnim stupovima zbog veće prosječne visine užadi iznad zemlje;

b) vodovi s vodičima u snopu imaju značajnije manje konstante ($\bar{z}_{sim}$) u odnosu na vodove s jednostrukim vodičima; poprečne konstante (b_{sim}) su međutim značajnije veće;

c) kod dvostrukih vodova direktne konstante po fazi padnu na polovicu, što nije slučaj kod nultih vodova, zbog značajnijeg međusobnog utjecaja trojki dvostrukog voda; direktne poprečne konstante narastu za dva puta, dok se nulte poprečne konstante povećaju u manjem iznosu, zbog međusobnog utjecaja trojki dvostrukog voda;

d) veoma povoljno na smanjenje nultih konstanti djeluje uvođenje vodljive zaštitne užadi u odnosu na nevodljivu, pogotovo u primjeru stupova za dva zaštitna užeta.

2. Utjecaj prepleta vodiča na simetriranje konstanti vodova nije u ovim razmatranjima uzet u obzir, jer on postaje interesantan tek kod većih duljina i viših napona dalekovoda.

3. Zaključno još treba istaknuti da se mjerene konstante postojećih vodova u izvjesnoj mjeri razlikuju u odnosu na rezultate proračuna. Dok se kod direktnih konstanti rezultati mjerenja i proračuna veoma dobro slažu, zapaženo je odstupanje kod nultih konstanta, koje ovisi o više promjenljivih parametara i teško se može precizno računski obuhvatiti.

Preporučuje se stoga, mjerenje stvarnih konstanta svakog izgrađenog voda i taj bi se podatak mogao dalje koristiti kao mjerodavan u budućim bankama podataka elektroenergetske mreže. U Institutu za elektroprivredu već postoje određena iskustva u mjerenjima konstanti vodova pa se preporuča daljnji rad u traženju najpogodnije metode za mjerenje konstanta vodova, koja bi onda bila mjerodavna za mjerenje konstanta u nastojanjima unificiranja ulaznih podataka elektroenergetske mreže.

3.5. ZAŠTITA OD PRENAPONA

Može se konstatirati da, općenito, postoje tri osnovne grupe prenapona koje naprežu izolaciju voda:

- atmosferski prenaponi
- sklopni prenaponi
- dugotrajni prenaponi.

Za prvu grupu atmosferskih prenapona kažemo da su vanjskog porijekla, a ostali su unutrašnjeg porijekla.

U naponskom području 110 kV prenaponi unutrašnjeg porijekla redovno ne mogu, osim u nekim iznimnim situacijama, utjecati na dimenzioniranje izolacije.

To znači da će na ovom naponskom nivou upravo zaštita od prenapona atmosferskog porijekla biti dominantan kriterij za dimenzioniranje izolacije.

Prenaponi atmosferskog porijekla mogu, općenito, biti posljedica direktnog udara groma u vod ili indukcije pri udaru groma u tlo ili objekte u neposrednoj blizini voda. Dosadašnja istraživanja pokazala su da niti u najnepovoljnijem slučaju indukcijom ne mogu nastati prenaponi na vodu veći od oko 300 kV. Budući da, kao što smo vidjeli, minimalni podnosivi udarni napon izolacije 110 kV voda iznosi 450 kV, ovaj oblik naprezanja izolacije redovno se ni ne razmatra.

Direktni udar groma u vod može po mjestu udara, a time i efektima koje uzrokuje, biti dvojak:

- udar groma u vodiče
- udar groma u stup ili zaštitno uže

U prvom slučaju, pri udaru groma u fazne vodiče, dolazi do najvećeg naprezanja izolacije voda jer se formira udarni val koji iznosi:

$$U = 1/2 \cdot (I_u Z_v)$$

gdje je:

I_u (kA) - udarna struja groma

Z_v (Ω) - valna impedancija vodiča reda veličine 300-500 Ω .

Lako se može dokazati da praktično svaki direktni udar groma u fazne vodiče stvara naponske valove koji se šire lijevo i desno od mjesta udara, i svojom veličinom višestruko premašuju dielektričku čvrstoću i izolacije u rasponu (fazni i međufazni razmaci) i izolacije na stupu.

Posljedica takvog udara su višestruki proboji izolacije i, potencijalno, mogućnost trajnijeg oštećenja.

Osnovni način zaštite od direktnog udara groma u fazne vodiče je primjena zaštitnog užeta.

Posljedica druge vrste udara, u stup ili zaštitno uže, je razvoj putnih valova, ali bitno manjeg iznosa nego u prethodnom slučaju. U stvari ovdje je riječ prije svega o naprezanju fazne izolacije, odnosno izolatorskog lanca na stupu, pri čemu u određenim uvjetima može doći do tzv. povratnog preskoka, odnosno preskoka s uzemljenih dijelova voda na fazne vodiče.

Mogući negativni efekti povratnog preskoka smanjuju se optimalnim dimenzioniranjem uzemljenja stupa i, ako je do preskoka ipak došlo, gašenjem luka primjenom tehnike automatskoga ponovnog uklopa. Budući da se u direktno uzemljenim mrežama, pa tako i na 110 kV sistemu, redovno primjenjuje tehnika automatsko-

ga ponovnog uklopa, pažnju treba usmjeriti prije svega na pitanje izbora optimalnog rješenja uzemljenja.

Osnovni parametar u suvremenoj praksi kojim se određuje potencijalna ugroženost dalekovoda od prenapona atmosferskog porijekla, općenito je prosječni godišnji broj udara groma u vod:

$$NS = 4 TD 10^{-5} (D + 4 H_s^{1,09}) L \quad [\text{udara u vod/god.}]$$

gdje je:

TD - broj grmljavinskih dana u godini

H_s - prosječna visina zaštitnog užeta (m)

D - horizontalni razmak između zaštitne užadi (m)

L - duljina voda (m).

Riječ je o empirijskom izrazu koji se temelji na terorijskim razmatranjima i eksperimentalnim istraživanjima za različite oblike gromobranske hvataljke, a može se naći u različitim varijacijama, s obzirom na još uvijek do kraja nerazjašnjen mehanizam pražnjenja atmosferskih prenapona (opširnije L 3.42. do L 3.47.).

Udar groma u vod može i ne mora dovesti do nepoželjnih posljedica, u ovom slučaju preskoka na izolaciju i eventualnog prekida ili kvara na dalekovodu. Zato je odgovarajućim analitičkim postupkom potrebno prije svega razlučiti da li i koliki broj od mogućih udara završava na vodiču i time gotovo u pravilu dovodi do preskoka na izolaciju te koliki broj od preostalih udara u stup ili zaštitno uže može dovesti do povratnog preskoka.

Razina stvarne ugroženosti dalekovoda s obzirom na ukupne efekte udara groma u vod je specifični broj prekida na 100 km voda godišnje STR (Specific Tripout Rate), koji se radi usporedivosti s podacima različitih vodova u različitim uvjetima redovno preračunava na specifični broj udara NS izračunat za prosjek od 40 grmljavinskih dana godišnje.

U cilju kvalitativne analize mjesta zaštite dalekovoda od atmosferskih prenapona, E. R. Whitehead (L 3.53.) predložio je da se stvarne performance vrednuju preko relacije:

$$STR = 2^M,$$

gdje je:

M - koeficijent čija vrijednost može biti, ovisno o uvjetima zaštite od prenapona, u okviru kategorija navedenih u tabl.3.20.

Tablica 3.20.

Koeficijent M

Koeficijent performance M	Broj prekida na 100 km voda godišnje	Kvalitativna interpretacija
- 4	0,00 - 0,0625	dalekovod neosjetljiv na udare groma
- 3	0,125	uzemljenje i zaštita (od udara u fazne vodiče) izvrsna
- 2	0,250	uzemljenje i zaštita odlični
- 1	0,500	dobro uzemljenje i zaštita
0	1,00	dobro ili zadovoljavajuće uzemljenje; zadovoljavajuća ili dobra zaštita
1	2,00	dobro uzemljenje zadovoljavajuća zaštita
2	4,00	zadovoljavajuće uzemljenje; slaba zaštita
3	8,00	slabo uzemljenje i/ili slaba zaštita
4-5	16-32	slabo uzemljenje, slaba zaštita; nizak izolacijski nivo ili nezaštićeni vodiči

U našoj praksi postoje mogućnosti da se preispitaju performance naših dalekovoda s obzirom na zaštitu od atmosferskih prenapona jedino preko statistike pogonskih događanja, koristeći podatke registrirane u rubrici "atmosferski prenaponi" i "nevrijeme", pri čemu ostaje otvoreno pitanje u kojoj mjeri ili u kojem postotku i ovaj drugi uzrok treba uključiti u ukupni zbir. Bez obzira na stanovitu nepouzdanost podataka, takva analiza i usporedba s orijentacijskim kriterijima iz tabl. 3.20. može poslužiti za donošenje valjanog suda o ponašanju dalekovoda u uvjetima udara groma u vod.

3.5.1 Zaštitno uže

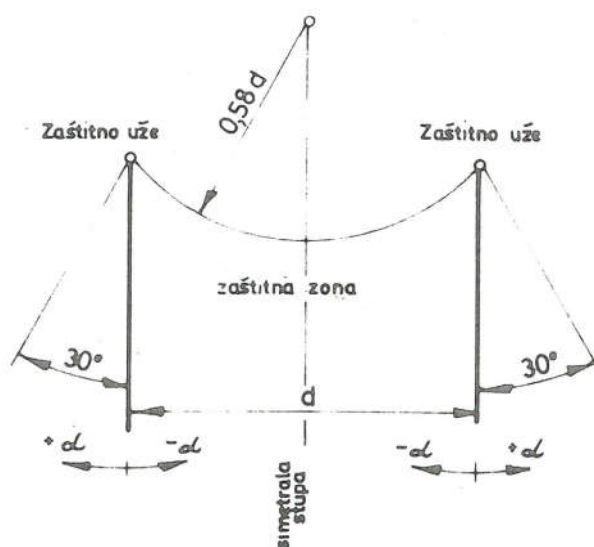
U okviru problematike zaštite od prenapona pitanje primjene zaštitnog užeta ograničeno je isključivo na njegovu dispoziciju u odnosu na fazne vodiče.

Propisima je definirano da zaštitno uže mora biti u takvom položaju u odnosu na fazne vodiče da kut zaštite ne bude veći od 30° i to za temperaturni interval od 0° do $+40^\circ\text{C}$.

Dosadašnja iskustva kod nas i u svijetu pokazala su da kut zaštite od 30° u većini slučajeva pruža zadovoljavajuću zaštitu od direktnog udara groma u fazne vodiče.

U situacijama kada se takva zaštita ne može smatrati dovoljnom (područja vrlo velikih pražnjenja atmosferskih prenapona, vodovi vrlo velike važnosti) treba preispitati opravdanost primjene dva zaštitna užeta i manjeg kuta zaštite od 30° .

Po propisima osnovni kut zaštite i pri primjeni dva zaštitna užeta ostaje 30° ali je zaštitna zona nešto drugačije definirana. Prikaz konstrukcije zaštitne zone dan je na sl. 3.19.



Zaštitna zona zaštitne užadi
Slika 3.19.

Preispitivanje opravdanosti kuta zaštite manjeg od 30° moguće je primjenom elektroteometrijskog modela za proračun rizika direktnog udara na fazne vodiče (3.31.)

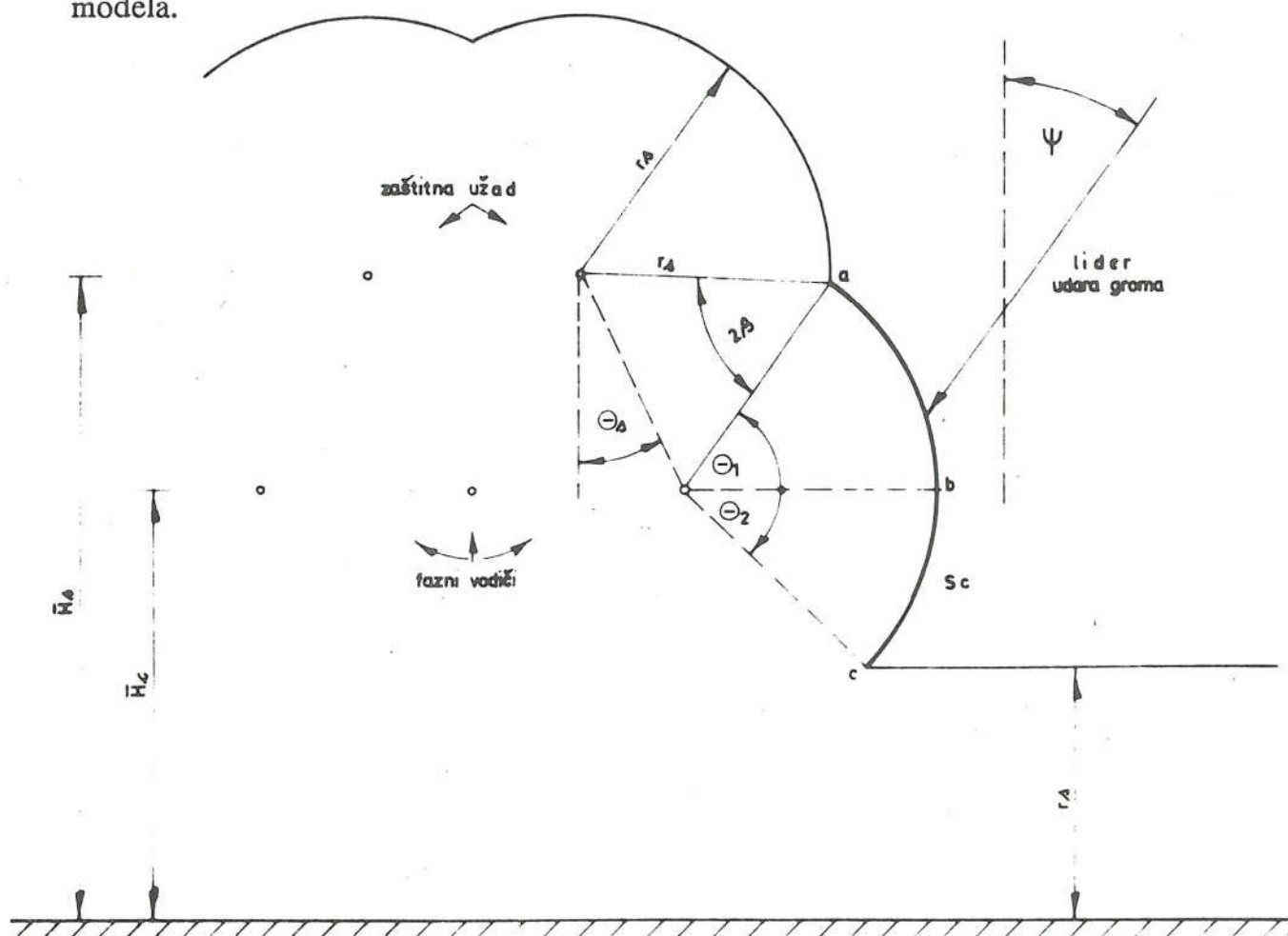
Osnovna ideja pri razvoju elektroteometrijskog modela bila je u nastojanju da se utvrdi kako geometrija određenog objekta na površini tla utječe na preferencijalnu orijentaciju groma prema određenoj točki, odnosno da se utvrdi odnos između tzv. udarnog razmaka i intenziteta atmosferskog pražnjenja. I ovdje možemo naići na različita rješenja, ali s nebitnim varijacijama u odnosu na relaciju:

$$r_s = 2,0 + 30 (1 + e^{-I_{oc}/0,6})$$

gdje je:

r_s (m) - srednja vrijednost udarnog razmaka
 I_{oc} (kA) - udarna struja u kanalu groma.

Na slici 3.20. grafički je prikazana osnovna ilustracija elektroteometrijskog modela.

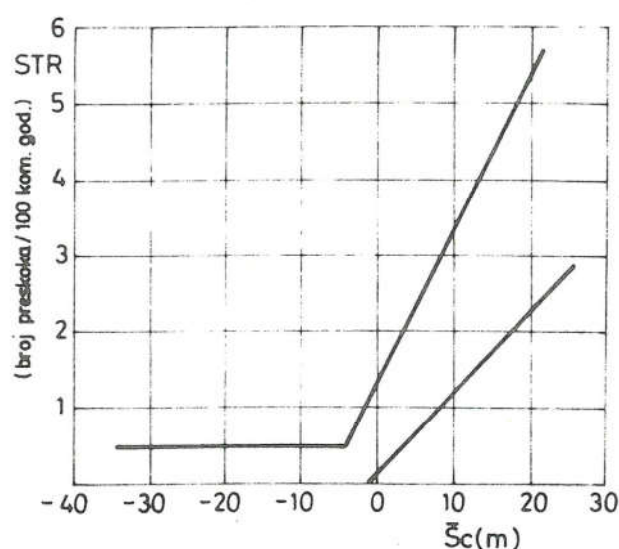


Elektroteometrijski model zaštitne zone
Slika 3.20.

prema kojem postoje dva referentna uvjeta efikasne i neefikasne zaštite. U prvom slučaju (efikasna zaštita) svi udari groma završavaju ili na uzemljenim dijelovima voda ili u tlu, ako je udarni razmak r_s dovoljno velik da duljina luka S_c postane jednaka nuli. U drugom slučaju postoji određeni broj udara, proporcionalan duljini luka S_c , koji završavaju upravo na vodiču. Duljina luka S_c , koji se inače određuje na temelju vrijednosti udarnog razmaka r_s i geometrijskih odnosa sa slike 3.20, mjera je specifičnog broja preskoka prema rezultatima eksperimentalnih istraživanja u okviru odnosa prema dijagramu na slici 3.21.

Gornji pravac je za vodove na potpuno otvorenom, ravnom terenu. Na taj način moguće je odrediti specifični broj prekida STR (1/100 km god.) varirajući različita rješenja, s jednim ili dva zaštitna užeta, s različitim kutovima zaštite i sl.

Ovaj kratki opis osnove elektrogeometrijskog modela tek je naznaka teorijskih mogućnosti koje stoje na raspolaganju i koje treba koristiti pri utvrđivanju kriterija konfiguracije zaštitnog užeta na razini razrade osnovnih rješenja jedne prijenosne mreže ili pojedinih vodova na posebno ugroženim područjima.



Specifični broj preskoka u ovisnosti o luku Sc .
Slika 3.21.

Pitanje presjeka zaštitnog užeta i konstrukcije, posebno kada je u pitanju primjena vodljivog užeta, rješava se u okviru funkcije užeta pri pojavi kratkog spoja na vodu.

3.5.2. Uzemljenje stupova dalekovoda

Osnovne funkcije uzemljenja stupova dalekovoda su:

- zaštita od djelovanja napona na mjestu zemljospoja
- zaštita od povratnog preskoka.

U prvom slučaju riječ je o takvom oblikovanju uzemljivača stupa kojim se postiže efikasna zaštita ljudi u slučaju zemljospoja faznih vodiča. Dosadašnjom

praksom došlo se do saznanja da je za ovu ulogu uzemljivača dovoljno na određenim, ugroženim, mjestima ugraditi jedan ili dva prstenasta uzemljivača oko svakog temelja stupa ili oko svih temelja stupa.

U drugom slučaju riječ je o direktnom utjecaju na iznos prenaponskog vala pri udaru groma u stup ili zaštitno uže, odnosno na vjerojatnost povratnog preskoka.

Osnovni parametri za optimalno dimenzioniranje uzemljenja stupa u cilju sprečavanja povratnog preskoka su:

- podnosivi napon izolacije (450 kV za vodove nazivnog napona sistema 110 kV)
- pretpostavljeni intenzitet udarne struje groma I_u (kA)
- učestalost pražnjenja (izokeraunički nivo) ili prosječni broj udara u tlo na km^2 god.
- specifični otpor tla.

Intenzitet udarne struje groma utvrđuje se projektnim zadatkom za određeni vod na osnovi podataka o učestalosti atmosferskih pražnjenja, iskustava s vodova u eksploataciji, uvjeta uzemljenja i važnosti voda.

Kao osnovna orijentacija može poslužiti tabl. 3.21.

Tablica 3.21.
Statistička vjerojatnost veličine udarne struje groma

Redni broj	Pretpostavljena udarna struja I_u (kA)	Statistička vjerojatnost	P r i m j e d b a
1.	30	90 %	teški uvjeti uzemljenja i/ili vod manje pogonske sigurnosti
2.	40	95 %	prosječni uvjeti uzemljenja
3.	50	98 %	vrlo dobri uvjeti uzemljenja i/ili vod visoke pogonske sigurnosti

Što se tiče određivanja učestalosti pražnjenja, za vodove na teritoriju SR Hrvatske zasad je jedini relevantan izvor izokeraunička karta SFRJ koju je 1970. godine izdao JUGEL.

Razvojem mreže brojača udara groma u tlo moći će se postepeno preći i na korištenje pouzdanijih podataka - specifičnog broja pražnjenja na km² god.

Specifični otpor tla mjeri se metodama geoelektričnog sondiranja. Za potrebe dimenzioniranja uzemljivača vodova standardna dubina prospekcije je 10 m.

Specifični otpor tla mjeri se, u principu, duž cijele trase voda na reprezentativnim lokacijama.

U teškim uvjetima uzemljenja i pri čestoj izmjeni geološke strukture tla preporučuju se mjerenja na svakom stupnom mjestu.

Prema nazivnoj vrijednosti podnosivog udarnog napona izolacije i prema odabranoj vrijednosti udarne struje groma u okviru općih kriterija iz gornje tablice, potreban otpor uzemljenja stupa utvrđuje se u skladu s važećim propisima pomoću relacije:

$$R_{uz} \leq \frac{U_i}{I_u},$$

gdje je:

$R_{uz} (\Omega)$ - otpor uzemljenja stupa, bez spoja sa zaštitnim uz užetom

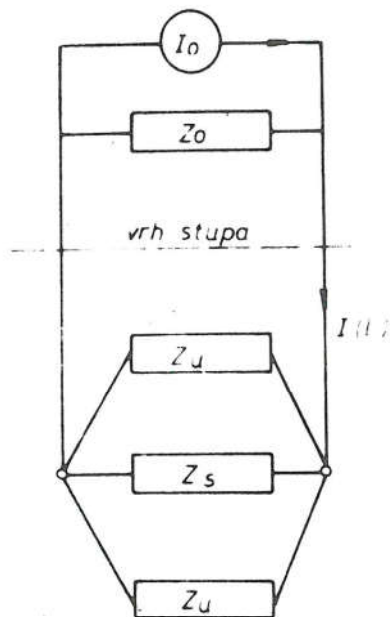
U_i (kV) - podnosivi udarni napon izolacije u suhom

I_s (kV) - tjemena vrijednost udarne struje groma

Treba istaći da je gornji izraz izveden uz znatna zanemarenja pa može tek približno dati vrijednost otpora do čijeg iznosa nije vjerojatan povratni preskok na izolaciji. Svaki pokušaj sigurnijeg vrednovanja performanci voda u uvjetima udara groma u stup ili uže vodi znatno složenijim modelima, od kojih se najčešće primjenjuje metoda proračuna refleksije udarnog vala.

Udarom groma u stup nastaje proces širenja udarnog vala kroz stup i zaštitno uže na jednu ili drugu stranu od mjesta udara.

Ekvivalentna shema početka procesa širenja udarnog vala predstavljena je na slici 3.22.



Ekvivalentna shema početka procesa širenja udarnog vala
Slika 3.22.

Značenje pojedinih oznaka na slici 3.22. je sljedeće:

- $I_0(t)$ - intenzitet struja groma u funkciji vremena (kA)
- $I(t)$ - intenzitet struja na mjestu udara groma u vod (kA)
- Z_0 - valni otpor u strujnoj stazi groma (Ω)
- Z_u - valni otpor zaštitnog užeta (Ω)
- Z_s - valni otpor stupa (Ω)
- R - otpor uzemljenja (Ω) stupa.

Ukupni valni otpor uzemljenih dijelova voda u momentu udara groma u vrh stupa je:

$$Z = \frac{Z_u Z_s}{Z_u + 2 Z_s}$$

Pri daljnjem razvoju procesa širenja udarnog vala kroz uzemljene dijelove voda dolazi do višestruke refleksije u točkama diskontinuiteta valnog otpora. Postoje

četiri karakteristične točke diskontinuiteta koje karakteriziraju sljedeći faktori refleksije:

$$k_r = \frac{R - Z_s}{R + Z_s}$$

prostiranje udarnog vala kroz stup i refleksija na uzemljivaču

$$k_s = \frac{Z_u - 2 Z_s}{Z_u + 2 Z_u}$$

prostiranje udarnog vala kroz stup i refleksija na vrhu stupa

$$k_1 = \frac{Z - Z_u}{Z + Z_u}$$

u prostiranje udarnog vala zaštitnim užetom i refleksija na vrhu stupa

$$k_m = 0,5$$

udar groma u sredinu raspona, valni otpor za jednu i drugu stranu od mjesta udara je jednak

Kada se na odredenom primjeru konkretizira ovaj proces višestruke refleksije udarnog vala dolazi se do vremenske funkcije napona na stupu, a time i do funkcije naprezanja same izolacije na stupu, kako je ilustrirano na slici 3.23.

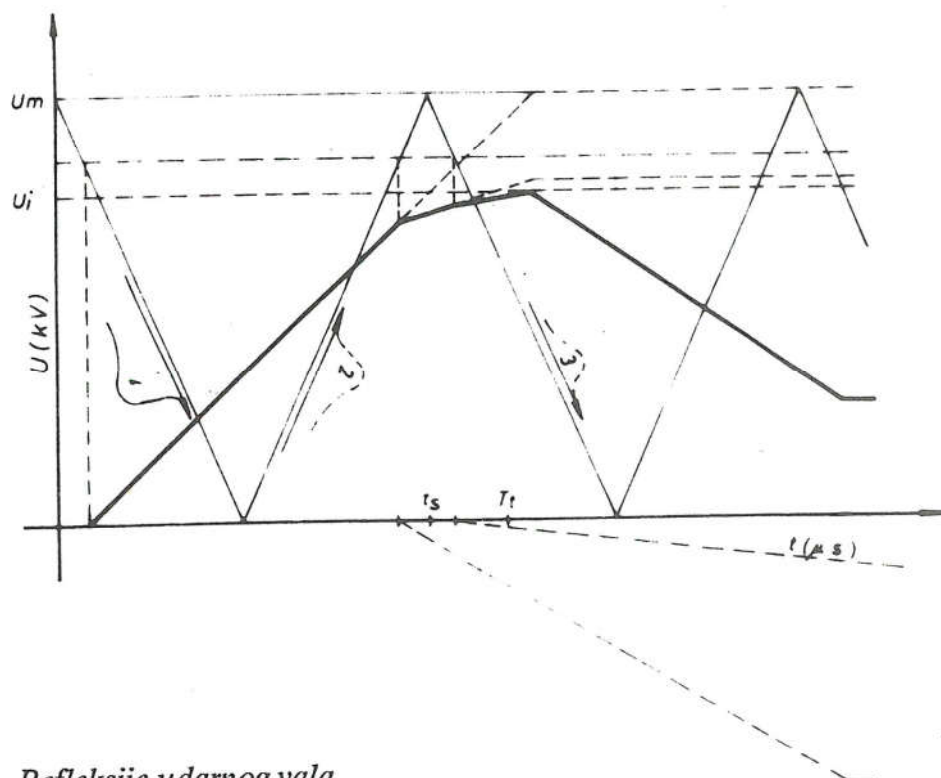
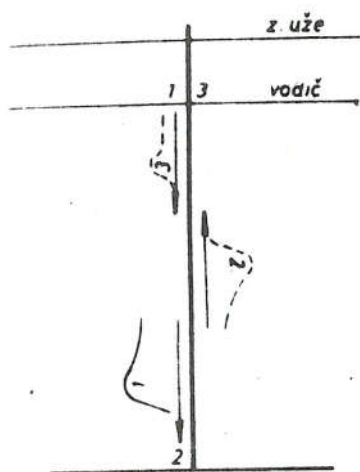
Ako pretpostavimo da je napon na vrhu stupa približno jednak naponu u točki ovješnja izolacije, onda se maksimalni napon u izolaciji voda doseže nakon refleksija udarnog vala na uzemljivaču, čiji broj iznosi približno:

$$n \approx \frac{T_{\check{c}}}{t_s}$$

gdje je:

$T (\mu s)$ - vrijeme trajanja čela vala udarne struje groma

$t (\mu s)$ - povratno vrijeme potrebno da udarni val predje udaljenost od ovješnja vodiča do podnožja stupa i nazad



Refleksije udarnog vala
Slika 3.23.

Maksimalni napon na izolaciji može se odrediti i potpuno analitički računajući sumu pojedinih komponenti udarnog vala upravo na prethodno određeni broj refleksije na uzemljivaču:

$$U_i = U_m \left[1 + \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{i \cdot t_1 + (i-1) \cdot t_2}{T_{\check{c}}} \right) \cdot k_r(i) \cdot k_s(i-1) + \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{i \cdot t_s}{T_{\check{c}}} \right) \cdot k_r(i) \cdot k_s(i) \right]$$

Tek na ovaj način određenim naponom na izolaciji voda, uvažavajući nadalje valne karakteristike uzemljivača, distribuciju tjemene vrijednosti udarne struje

groma i prosječno trajanje čela udarnog vala, ostvaruju se mogućnosti pouzdanijeg određivanja naprezanja izolacije pri udaru groma u stup ili zaštitno uže.

Nadalje, time se ostvaruje mogućnost da se i u ovom slučaju performancu voda odredi na istoj osnovi kao i pri udaru groma u vodiče, a to znači proračun specifičnog broja prekida STR polazeći i ovdje od ukupnog broja udara groma u vod NS umanjenog za broj udara groma u vodiče.

Vjerojatnost preskoka računa se iz vjerojatnosti pojave ove struje groma koja premašuje I (kA) izračunate upravo za maksimalno naprezanje izolacije, koje odgovara podnosivom naponu. Drugim riječima računamo vjerojatnost onog broja mogućih udara pri kojima će se u koraku pojaviti groma struja veća od kritične, čija naponska naprezanja izolacija još može podnijeti. Ako bismo pretpostavili npr. takvo rješenje zaštitnog užeta pri kojem su odabrani uvjeti apsolutne zaštite, tj. uvjeti pri kojima svaki udar u vod završava na zaštitnom užetu ili stupu, onda bi broj svih udara u uzemljene dijelove iznosio:

$$NG = NS,$$

a specifični broj mogućih prekida:

$$STR = NG [1 - P(I_o)] \quad [\text{udara}/100 \text{ km.god.},]$$

gdje je $P(I_o)$ funkcija vjerojatnosti pojave određenog intenziteta udarne struje groma.

3.5.3. Osnovni zaključci

Elementarni prikaz problematike zaštite dalekovoda od prenapona imao je ovdje za cilj tek naznaku osnova konvencionalnog, propisima definiranog postupka i mogućnosti unapređenja primjenom suvremenijih metoda. Navedena literatura uputiti će zainteresiranog čitaoca u detalje koje ovaj prikaz iz razumljivih razloga ne sadrži.

Praktična primjena suvremenijih, kompleksnijih metoda, posebno kada je u pitanju određivanje kuta zaštite zaštitnog užeta i uzemljenja stupa, doći će u obzir uglavnom samo na razini studija određenih mreža ili dijelova mreža, razrade potpuno novih konstrukcija vodova i sl.

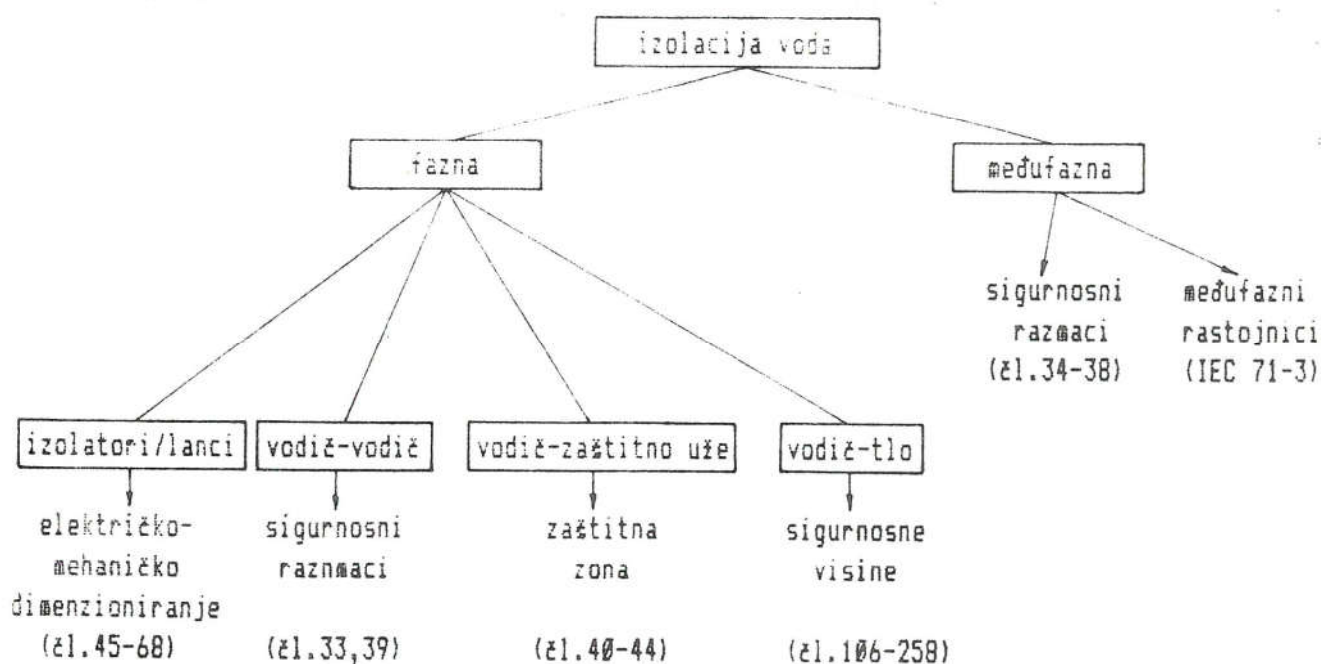
Bez obzira što novije metode redovno vode primjeni složenijih matematičkih modela, njihova vrijednost nije ni u kakvom "egzaktnijem" tretiranju pojave prenapona, nego u mogućnosti znatno pouzdanije komparativne analize različitih varijanti i uvjeta za dimenzioniranje.

3.6. Izolacija voda

Pod izolacijom voda u najopćenitijem smislu podrazumijevamo skup svih dielektrika koji razdvajaju fazne vodiče od uzemljenih dijelova voda, tla ili objekata na tlu te fazne vodiče međusobno.

Na slici 3.24. shematski je prikazana podjela izolacije na osnovne vrste te oznake pojedinih članova propisa kojima se regulira problematika dimenzioniranja pojedinih vrsta izolacije.

Najčešće se pod izolacijom voda podrazumijeva upravo izolatorski lanac, kao ovješeno faznog vodiča. Zato će ovdje biti riječi prije svega o električkim i mehaničkim parametrima koji određuju osnovne dimenzije i ostale karakteristike izolatorskih lanaca.



Osnovne vrste izolacije voda
Slika 3.24.

3.6.1. Električki parametri za dimenzioniranje izolatorskih lanaca

Dalekovodi napona 110 kV pripadaju prema JUS N.BO.030 objektima naponskog područja B za koje se izolacija voda dimenzionira u uvjetima nezagadjene atmosfere prema:

- podnosivom naponu industrijske frekvencije 185 kV
- podnosivom udarnom (atmosferskom) naponu 450 kV

Oznaka stupnja izolacije za vodove 110 kV je:

123 Si 185/450

što znači da je najviši pogonski napon 123 kV.

Ovo je u stvari sniženi stupanj izolacije koji se primjenjuje za mreže s kruto uzemljenom nul točkom, što je uvijek slučaj s našom 110 kV mrežom.

Navedeni iznosi podnosivih napona odnose se na standardne atmosferske uvjete:

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| - karakteristični pritisak | 1 014 m bar |
| - temperatura | + 20 °C |
| - vlaga | 11 g/m ³ . |

Dielektrička ispitivanja kojima se utvrđuje da li određena izolacija zadovoljava minimalne uvjete propisane podnosivim naponima provode se u visokonaponskim laboratorijima u atmosferskim uvjetima koji mogu odstupati od naprijed navedenih, ali se moraju proračunati na standardne primjenom korekcijskih faktora u skladu sa IEC publikacijom 60-1.

Mjerenje jednominutnoga podnosivog napona industrijske frekvencije vrši se standardiziranom vrijednošću izmjeničnog napona izraženom efektivnom vrijednošću u toku jedne minute na kiši intenziteta 1,5 mm/min.

To su konvencionalna ispitivanja pri kojima se srednja vrijednost utvrđuje iz pet pokusa.

Mjerenje podnosivoga udarnog atmosferskog napona provodi se naponom aperioidičkog oblika s trajanjem čela vala 1,2 μ s i začelja (hrpta) 50 μ s. Zbog neznatnog utjecaja atmosferskih uvjeta, ispitivanja se vrše samo u suhom. U principu mjerenjem bi trebalo utvrditi vrijednosti za oba polariteta (pozitivni i negativni), ali je moguće ograničiti se isključivo na ispitivanja pozitivnim polaritetom, ako je prethodno nedvojbeno pokazano da ispitivanja negativnim polaritetom daju više vrijednosti.

Vrijednost podnosivog napona utvrđuje se iz serije ispitivanja pri kojoj se statističkom metodom određuje srednja vrijednost U (kV) i standardno odstupanje σ (kV). Podnosivim naponom smatra se 90 %-tna vrijednost svih prethodno mjerenih preskoka pa je:

$$U_{90\%} = \bar{U} (1 - 1.28 \sigma)$$

U nedostatku laboratorijski utvrđenih vrijednosti standardnog odstupanja σ , može se računati s prosječnom procentualnom vrijednošću za ispitivanja atmosferskim udarom u iznosu od 3 %.

U važećim tehničkim propisima ne postoje kriteriji za dimenzioniranje izolacije u uvjetima zagađene atmosfere pa treba koristiti odgovarajuće odredbe nacrtanovih propisa i dokumenata IEC-a. Na osnovi utvrđenog tipa i intenziteta zagađenja potrebno je odrediti optimalan oblik izolatora (tip izolatora) i odrediti minimalnu duljinu strujne staze izolatora, odnosno izolatorskog lanca.

Jednako kao za uvjete zagađene atmosfere, naši važeći propisi ne tretiraju niti kriterije za određivanje napona korone niti nivoa radiosmetnje i tv smetnje, pa se treba koristiti kriterije JUS standarda za ovjesnu i spojnu opremu i kriterije priznatih svjetskih propisa.

U nedostatku kriterija za napon korone, prema važećim propisima u praksi se koriste za izolatorske lance kriteriji dani u JUS N.F2.010 za ovjesnu i spojnu opremu, koja takodjer ulazi u sastav izolatorskih lanaca.

Po navedenom standardu za napon 110 kV ispitni izmjenični napon iznosi 88 kV. Pri ispitivanju laboratorij se zamračí najmanje 5 minuta prije početka ispitivanja. Zatim se na ispitivani predmet priljuči ispitni izmjenični napon u trajanju od 5 minuta. U toku ispitivanja ne smije doći do vidljive pojave korone. Slično se postupa i pri ispitivanju nivoa radio smetnji i tv smetnji izolatorskih lanaca, ali se koriste kriteriji koje daju strani standardi, jer ova materija nije tretirana našim važećim propisima i standardima. U tom smislu najčešće se koristi britanski standard BS 137, dio II, koji daje vrlo selektive kriterije za nivo radiosmetnji i tv smetnji i često se koristi u tenderskim dokumentacijama pri licitacijama izgradnje dalekovoda u svijetu. Tako je za najviši napon sistema 123 kv, što odgovara našem nazivnom naponu 110 kV, pri ispitnom naponu 75 kV, granica zvučnih smetnji 34 dB. Detalji uvjeta i načina ispitivanja su u (L 3.57.).

3.6.2. Mehanički parametri dimenzioniranja izolatora ili izolatorskih nizova

Osnovni uvjeti mehaničkog dimenzioniranja izolatorskih nizova definirani su Pravilnikom o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova.

Mehaničko dimenzioniranje izolatora izolatorskih nizova obuhvaća dimenzioniranje izolatora ili izolatorskog niza koji ulazi u montažni sklop izolatorskog lanca.

Nosivi izolatorski nizovi dimenzioniraju se prema težini vodiča s dodatnim teretom, uzimajući u obzir faktor sigurnosti 3, a zatezni izolatorski lanci dimenzioniraju se prema sili zatezanja vodiča, uzimajući isti faktor sigurnosti.

Višestruki nosivi i zatezni izolatorski lanci koriste se u smislu Pravilnika kao pojačana mehanička sigurnost.

3.7. Osnovni mehanički parametri voda

3.7.1. Elektromehanički i mehanički faktori sigurnosti

Oba faktora sigurnosti vezana su uz mehaničko dimenzioniranje opreme dalekovoda (vodiči, zaštitna užad, izolatori te ovjesni i spojni pribor) na koju djeluju vanjske mehaničke sile, a za izolatore se pretpostavlja da su još i pod naponom. Mehaničko dimenzioniranje opreme provodi se prema Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova.

- Užad

Normalna i izuzetna dopuštena naprezanja užadi od najčešće upotrebljivanih materijala za vodiče i zaštitnu užad dana su u Pravilniku o tehničkim normativima. Za užad od materijala koji nisu navedeni u Pravilniku dan je način određivanja naprezanja, odnosno:

- normalno dopušteno naprezanje može iznositi najviše 40 % od prekidne čvrstoće užeta
- izuzetno dopušteno naprezanje ne smije biti veće od 75 % prekidne čvrstoće užeta.

Nastavljanje užeta u rasponu dopušteno je pomoću spojnice koje u mehaničkom pogledu moraju izdržati najmanje 90 % prekidne sile užeta, uz napomenu da treba nastojati da se primjenjuju spojnice od istog materijala od kojeg je izrađeno i uže.

Tablica 3.22.

Pregled sila kidanja užeta

UŽE	Računska sila kidanja (N)	Sila kidanja (N)
Al/Č uže 240/40 JUS N.C1.351	86 400	77 760
Al/Č uže 150/25 JUS N.C1.351	55 250	49 725
Seil 150/37 DIN 48201-E-Cu(Cu 150)	60 100	57 095
AlMg1E/Č uže 95/55 JUS N.C1.551 ($\varnothing = 16,0$ mm) 88 200		79 380
Č uže 50 JUS N.C1.702	56 405	53 580
Seil 50/7 DIN 48201-St II(Č II 50)	32 900	31 255
Seil 50/7 DIN 48201-St III(Č III 50)	63 000	59 850

Spojnice koje po svojoj konstrukciji daju pouzdan vodljivi spoj i jamče najmanje 100 % sile kidanja užeta ne smatraju se nastavcima, tako da takav spoj zadovoljava uvjete prijelaza pojedinih objekata gdje se traži izvodjenje raspona neprekinutim užetom.

U tabl. 3.22. dan je pregled računskih sila kidanja i sila kidanja za najčešće primjenjivanu užad 110 kV vodova.

Kod toga treba napomenuti da su sile kidanja izračunate u skladu s uputama iz Pravilnika, odnosno da je sila kidanja 95 % od računске sile kidanja za jedno-metalnu užad, a 90 % za dvometalnu užad.

3.7.1.1. Izolatorski lanci

Nosivi izolatorski lanci sastavljeni od kapastih izolatora moraju imati elektro-mehanički teret najmanje 3 puta veći od težine vodiča s dodatnim teretom, a izolatori u zateznim izolatorskim lancima najmanje 3 puta veći od maksimalne sile radnog zatezanja vodiča. Što je rečeno za kapaste izolatore vrijedi i za masivne i štapne izolatore, s time da je ovdje mjerodavan prijelomni teret.

Na mjestima gdje propisi zahtijevaju mehaničko pojačanje izolacije, za visokonaponske vodove s visećim izolatorima, smatra se da je izolacija mehanički

pojačana ako se izolatorski lanac sastoji od dvaju ili više paralelnih nizova izolatora kod kojih je opterećenje ravnomjerno raspoređeno na sve lance. U slučaju prekida jednog niza lanca preostali smiju biti opterećeni najviše s polovinom elektromehaničkog tereta. Kod izolatorskih lanaca sastavljenih od kapastih izolatora, odnosno polovinom minimalnog prijelomnog tereta kod primjene masivnih i štapnih izolatora.

3.7.1.2. Stezaljke i ostali dijelovi izolatorskih lanaca i opreme

Stezaljke i ostali dijelovi izolatorskih lanaca i opreme za učvršćenje i montažu zaštitnog užeta trebaju biti dimenzionirani tako da izdrže teret s mehaničkim faktorom sigurnosti 2,5 u odnosu na prekidnu silu opreme.

U slučaju mehanički pojačane sigurnosti kod višestrukih izolatorskih lanaca kad je opterećenje jednoliko raspodijeljeno na sve lance, metalni dijelovi opreme moraju biti dimenzionirani tako da pri prekidu jednog lanca ostali izdrže opterećenje maksimalnim vanjskim silama s mehaničkim faktorom sigurnosti od najmanje 1,7 u odnosu na prekidnu silu opreme.

Sila izvlačenja vodiča odnosno zaštitne užadi od nosivih stezaljki ne smije biti manja od 60 % sile maksimalnoga radnog zatezanja vodiča, odnosno zaštitnog užeta.

Kao primjer navest ćemo dalekovod 110 kV s vodičima Al/Č uže 240/40 JUS N.C1.351 i zaštitnim užetom AlMg1E/Č uže 95/55 JUS N.C1.551.

Minimalne sile kidanja ovjesnog materijala za pojedine izolatorske lance moraju biti:

- jednostruki nosivi (maksimalna vertikalna sila 12 000 N)
 $P_{\min} = 2,5 \cdot 12\,000 = 30\,000\text{ N}$
- dvostruki nosivi (maksimalna vertikalna sila 13 000 N)
 $P_{\min} = 2,5 \cdot 13\,000 = 32\,500\text{ N}$
- jedan niz dvostrukog nosivog izolatorskog lanca (maksimalna vertikalna sila 13 000 N)
 $P_{\min}^1 = 1,7 \cdot 13\,000 = 22\,100\text{ N}$
- jednostruki zatezni (maksimalna sila zatezanja 25 425 N)
 $P_{\min} = 2,5 \cdot 25\,425 = 63\,562,5\text{ N}$
- dvostruki zatezni (maksimalna sila zatezanja 25 425 N)
 $P_{\min} = 2,5 \cdot 25\,425 = 63\,562,5\text{ N}$
- jedan niz dvostrukoga zateznog izolatorskog lanca (maksimalna sila zatezanja 25 425 N)
 $P_{\min} = 1,7 \cdot 25\,425 = 43\,222,5\text{ N}$

- sila izvlačenja užeta iz nosne stezaljke izolatorskog lanca (za maksimalnu silu zatezanja užeta od 25 425 N)

$$P_{iz} = 0,6 \cdot 25\,425 = 15\,255 \text{ N.}$$

3.7.2. Maksimalno radno naprezanje vodiča i zaštitnog užeta

Uže zategnuto između dva uporišta poprima oblik lančanice. Horizontalna komponenta naprezanja užeta uzduž lančanice konstantna je za određeni raspon i temperaturu užeta. Ona poprima maksimalnu vrijednost pri temperaturi $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ s normalnim dodatnim teretom ili pri $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ bez dodatnog tereta. Ovo maksimalno naprezanje užeta u vodu nazivamo maksimalnim radnim naprežanjem koje ne smije prekoračiti vrijednosti normalnoga dopuštenog naprezanja određenih Pravilnikom.

Osim ove odredbe o maksimalnom radnom naprežanju postoji odredba prema kojoj naprezanje u ovjesištu pri temperaturi $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ s izuzetnim dodatnim teretom ne smije prijeći vrijednosti izuzetnoga dopuštenog naprezanja, koje su također tablično dane u Pravilniku za razne vrste užadi.

Kad se vrši izbor maksimalnog radnog naprezanja svakako treba poštivati odredbe Pravilnika koje se odnose na prijelaze energetskih vodova preko raznih objekata gdje je potrebno smanjiti dopuštena naprezanja. Tako se npr. na prijelazima preko registriranih sportskih igrališta, autocesta, gradskih ulica i gusto naseljenih mjesta, tramvajskih pruga i prometnica kojima voze trolejbusi te plovnih rijeka i kanala normalno i izuzetno dopušteno naprezanje smanjuje na 75 % vrijednosti od navedenih u Pravilniku.

Želi li se izvršiti prijelaz preko niskonaponskog voda bez zaštitne (odbojne) užadi tada normalno dopušteno naprezanje vodiča i zaštitnog užeta iznad niskonaponskog voda ne smije biti veće od $1/3$ prekidne čvrstoće upotrijebljena užadi.

Pri prijelazima preko telekomunikacijskih vodova za međunarodni promet te vodova za promet između glavnih gradova republika i autonomnih pokrajina, normalno dopušteno naprezanje užadi, koja služe kao vodiči i zaštitno uže, ne smije biti veće od $1/3$ njihove prekidne čvrstoće. Pri prijelazima preko ostalih telekomunikacijskih vodova, ako nije zadovoljeno upravo navedenom zahtjevu za normalno dopušteno naprezanje, izuzetno dopušteno naprezanje računa s trostrukim normalnim dodatnim teretom.

Za prijelaz vodova 110 kV preko željezničkih pruga kojima se vrši putnički promet normalno dopušteno naprezanje za vodiče i zaštitno uže smanjuje se na 85 % od vrijednosti navedenih u Pravilniku.

Za izbor maksimalnoga radnog naprezanja zaštitnog užeta postoji još i dodatni zahtjev prema kojem se vodiči u pravilu moraju nalaziti u granicama zaštitne zone uzduž svih raspona u intervalu od 0 do 40 °C.

Već pridržavanjem ovog kriterija, uvažavajući činjenicu da bi odgovarajući optimalni kut zaštite trebao biti utvrđen na temelju određenih prosječnih uvjeta grmljavinske aktivnosti, a to u ovom slučaju znači prosječne temperature onog perioda godine u kojem je registrirana grmljavinska aktivnost, ostvarujemo povoljniji kut zaštite u rasponu nego što je na stupu. Osim toga redovna je praksa da se izbor naprezanja zaštitnog užeta vrši tako da je provjes vodiča u prosjeku oko 10 % veći od provjesa zaštitnog užeta. Ova praksa pretezanja zaštitnog užeta u odnosu na vodič iz već navedenih razloga data je često u svijetu, što pokazuju i rezultati jedne međunarodne ankete u tabl. 3.23.

U našem slučaju na 110 kV vodovima primjenom kriterija prema propisima i prosječnim pretezanjem za oko 10 % (odnosi se na kut od 30 ° na stupu), u sredini prosječnog raspona kut zaštite iznosi oko 22 °. Dosadašnja iskustva govorela su uglavnom u prilog ovakvog rješenja.

Ako se pri izboru maksimalnoga radnog naprezanja vodiča i zaštitnog užeta pridržavamo nabrojenih odredbi pravilnika dobit ćemo dovoljnu sigurnost za statičko naprezanje užeta. Osim statičkog naprezanja pojavljuje se i dinamičko naprezanje koje je posljedica vibracije užeta od djelovanja vjetra. O tom naprezanju bit će govora u sljedećem poglavlju.

Tablica 3.23.

Komparacija uobičajenih rješenja provjesa i kuta zaštite zaštitnog užeta
u osnovi na fazne vodiče

Država	Nazivni napon voda (kV)	Provjes u sredini raspona ----- vod. z.u. fc(m) fg(m)		Relativni iznos razlike provjesa fe-fg ----- 100 fc	Kut zaštite na stupu (°)	Kut zaštite u sredini raspona (°)	Sigurnosni razmak u sredini raspona (m)
USA	220	10,0	7,0	30 %	18	14	8,3
USA	345	17,3	7,0	60 %	-19	-15	14,4
USA	500	12,5	9,0	28 %	20	16	10,4
Australija	330	17,0	13,0	24 %	30	21	8,2
Australija	500	13,8	7,9	43 %	20	14	15,4
Čehoslov.	400	9,4	7,5	20 %	25	23	14,5
Kanada	345	14,0	7,0	50 %	14	9	13,8
Kanada	735	14,0	7,0	50 %	20	15	18,3
Švedska	400	12,9	10,2	21 %	31	30	9,3
Švedska	400	10,3	8,3	19 %	29	26	12,7
Japan	275	12,0	9,0	25 %	14	12	16,4
V.Britanija	400	11,0	11,0	0 %	26	26	23,7
Jugoslavija	110	8,7	7,2	17 %	28	22	5,0
Jugoslavija	400	11,8	11,1	6 %	29	26	7,2

3.7.3. Srednje godišnje naprezanje vodiča i zaštitnog užeta

Pod srednjim godišnjim naprežanjem užeta voda podrazumijeva se ono naprežanje koje se pojavljuje u užetu pri srednjoj godišnjoj temperaturi za vrijeme eksploatacije voda, a da se pri tom na užetu ne pojave oštećenja zbog vibracija. Ovo naprežanje izražava se u postotku od čvrstoće užeta. Inače je to naprežanje poznato u svijetu pod nazivom Every Day Stress ili skraćenicom EDS. U cijelom svijetu rasla je potrošnja električne energije, a time i broj prijenosnih vodova. Svuda je bila prisutna težnja da se grade što ekonomičniji vodovi. U tim nastojanjima išlo se na sve veće raspone, veće presjeke užeta i veća naprežanja, što je dovelo do problema oštećivanja užeta od vibracija.

Oštećenja užeta u praksi pojavljuju se ponajviše u ovjesištima nosivih stupova. To su mjesta gdje se pojavljuju maksimalna statička i dinamička naprežanja.

U statička naprežanja ubrajamo vlačno naprežanje užeta koje postiže svoj mak-

simum u ovjesištu, a osim njega imamo zbog zakrivljenosti stezaljke i određene krutosti užeta naprezanje na savijanje. Tome valja pribrojiti i tlačna naprezanja zbog mase užeta i učvršćenja užeta u stezaljci koje sprečava klizanje užeta kad se pojavi diferencija sila do određene veličine.

Vibracije užeta, koje nastaju pod određenim uvjetima djelovanja vjetra na uža, uzrokuju na području nosive stezaljke izmjenično naprezanje na savijanje koje se superponira statičkim naprezanjima. O veličini ukupnog naprezanja ovisi da li će uža biti oštećeno ili ne.

Osim nabrojenih naprezanja valja spomenuti da su Fricke i Rawlins pokusima vibriranja užeta utvrdili da u blizini stezaljke dolazi do rasplitanja užeta i do međusobnog trenja između žica, koje dovodi do oksidacije i konačno do loma žica. Uzroci nastajanja i djelovanja još uvijek nisu dovoljno istraženi pa se u novije vrijeme u svijetu prišlo temeljitijem ispitivanju uzroka i posljedica ove pojave.

U okviru Međunarodne konferencije za velike električne mreže CIGRE Studijski komitet za nadzemne vodove inicirao je osnivanje posebne komisije EDS sa zadatkom da statistički obradi postojeće vodove i preporuči vrijednosti EDS. Kao rezultat velikog broja ispitanih uzoraka priozašla je i tablica predloženih vrijednosti EDS (izraženih u postocima od prekidne sile užeta) za različite vrste užadi (tabl.3.24.).

Tablica 3.24.

Relativne vrijednosti EDS za pojedine vrste užadi

Materijal užadi	Nezaštićena užad %	Zaštićena užad prutovima %	Zaštićena užad prigušivačima %	Zaštićena užad prutovima i prigu- šivačima %
aluminij	17	-	-	-
aldrej	18	-	26	-
alučelik	18	22	24	24
bakar	26	-	-	-

Objavljivanjem podataka iz tabl. 3.24. dobiveni su osnovni kriteriji za procjenu dinamičke čvrstoće užadi.

Kasnija su istraživanja pokazala da EDS vrijednosti nisu jedini način borbe protiv vibracija i njihovih posljedica. Što više, dokazano je da se mogu graditi ekonomičniji vodovi ako se poduzmu neke od sljedećih zaštitnih mjera protiv vibracija:

Tablica 3.25.

Pregled dopuštenih srednjih godišnjih naprezanja užadi (prema VDE 0210)

Vrsta vodiča (omjer Al/Č)	Najveće dopušteno naprezanje (N/mm ²)	Dopušteno srednje naprezanje za raspone do 500 m i više				Trajno (iznimno) napreza. (N/mm ²)
		promjer vodiča od-do (mm)	srednje naprez. bez za- štite od vibrac. (N/mm ²)	promjer vodiča od-do (mm)	srednje naprez. bez za- štite od vibrac. (N/mm ²)	
Al/Č 1,4	240	< 25	90	-	-	401
Al/Č 1,7	220	< 25	84	-	-	368
Al/Č 4,3	140	12...25	57	-	-	240
Al/č 6,0	120	12...25	52	> 25	56	208
Al/Č 7,7	110	12...25	48	> 25	52	189
Al/Č 11,3	95	12...25	40	> 25	44	165
AlMg1E/Č 1,4	270	< 25	104	-	-	464
AlMg1E/Č 1,7	255	< 25	102	-	-	435
AlMg1E/Č 4,3	190	12...25	69	-	-	328
AlMg1E/Č 6,0	175	12...25	62	> 25	67	310
AlMg1E/Č 7,7	165	12...25	58	> 25	63	284
AlMg1E/Č 11,3	155	12...25	48	> 25	53	265
AlMg1E/Č	140	12...25	40	> 25	44	240
Č I	160	9...25	-	-	-	320
Č II	280	9...25	120	-	-	560
Č III	450	9...25	130	-	-	900
Č IV	550	9...25	150	-	-	1 100

- odabere se zaštićena trasa voda,
- upotrijebi se uže odgovarajućeg materijala i konstrukcije,
- primijeni se što gibljivija nosiva stezaljka,
- odabere se što povoljniji tip prigušivača i izvrši njegova ispravna montaža
- izvede se jedno od pojačanja užeta u nosnoj stezaljci.

Primjenom navedenih mjera omogućen je izbor povećane vrijednosti srednjega godišnjeg naprezanja.

Naš Pravilnik o tehničkim normativima u poglavlju u kojem se govori o dopuštenim naprezanjima užeta upozorava na opasnost od zamora materijala od vibracija koje treba spriječiti montažom prigušivača ili smanjenjem radnog naprezanja. Budući da nema detaljnije razradjenih kriterije za borbu protiv toga prisiljeni smo služiti se stranim propisima gdje je to razradjeno.

Praktična primjena i preporuke za primjenu odgovarajućih sredstava za smanjenje vibracije razradjene su u VDE 0210. U tablici 3.25. dane su vrijednosti dozvoljenih srednjih godišnjih naprezanja, ovisno o vrsti užeta, za koje se ne preporuča primjena dodatnih sredstava za smanjenje vibracija.

Podaci o naprezanjima odnose se na raspone 500 m, s time da se za raspone od 500 do 150 m dopušta linearno povećanje dopuštenog naprezanja za 15 %, dok se za raspone između 500 i 700 m treba linearno smanjiti naprezanje za 10 %.

U novije vrijeme razradene su aproksimativne metode koje na osnovi pogonskih iskustava u eksploataciji vodova, mjerenjima na terenu i u laboratoriju mogu dati očekivane vrijednosti trajanja vodiča, ovisno o vibracijama u rasponima. U svim tim metodama EDS ke tek jedan od kriterija za ocjenu ugroženosti voda u uvjetima mehaničkih oscilacija.

3.7.4. Rasponi i zatezna polja

U praksi projektiranja dalekovoda susrećemo se sa sljedećim kategorijama, odnosno definicijama raspona:

- raspon a(m), kao horizontalni razmak između dva stupa
- raspon c(m), kao najkraći razmak između točki ovješnja užeta; često se, za razliku od prethodnoga, naziva i "kosi raspon"
- kritični raspon, onaj kojem pri naprezanju u uvjetima pretpostavljenog normalnog dodatnog opterećenja i temperature -5 °C horizontalna komponenta naprezanja postaje veća nego pri naprezanju na -20 °C bez dodatnog opterećenja
- granični raspon, pri kojem naprezanje užeta u točki ovješnja postaje jednako iznimno dozvoljenom

- idealni raspon, srednji (prosječni) raspon u zateznom polju; može se računati za pretpostavku horizontalnih raspona, dakle zanemarenjem visinskih razlika ovjesišta, ili za pretpostavku kosih raspona
 - vjetrovni (mehanički) raspon - aritmetička sredina ili poluzbroj dvaju susjednih raspona; fizikalno predstavlja onu duljinu užeta s jedne i druge strane ovješnja koja reprezentira vjetrovno opterećenje promatranog stupa
 - totalni raspon, izračunat za pretpostavku jednakih ovješnja užeta, jednakoga horizontalnog naprezanja kao u stvarnome i jednakih naprezanja u točkama ovješnja
 - gravitacioni raspon -horizontalni razmak najnižih točaka lančanice s jedne i druge strane ovješnja užeta; reprezentira ukupno vertikalno opterećenje (težinu) u točki ovješnja užeta
 - ekonomski raspon - optimalna veličina mehaničkog raspona za određeno rješenje stupa; računa se za ukupne, direktne i indirektne troškove građenja voda.
- Ako je riječ o odnosu broja raspona a veličine zateznih polja, i s tim u vezi i o odnosu nosivih i zateznih stupova, treba imati na umu i postavke navedene u daljnjem tekstu.

Svaki vod predstavlja određenu konstruktivnu cjelinu koja se ponaša kruće ili elastičnije, što ovisi o broju ostvarenih veza vodiča i zaštitnog užeta sa stupovima. Zatezno ovješnje u vodu predstavlja krutu vezu, a nosivo elastičnu. Prema tim vezama razlikujemo danas dvije konstruktivne tehnike izvedbe vodova: krutu i elastičnu.

Pristalice krute tehnike pridaju upotrebi zateznih stupova u vodu naročito povoljno djelovanje na sigurnost voda pa ih zato češće upotrebljavaju. Pristalice elastične tehnike negiraju prednosti zateznih stupova u vodu i ograničavaju se samo na upotrebu krajnjih stupova i na rješavanje nekih problema kad se trasa lomi pod malim kutovima koji se ne mogu izbjeći zbog lokalnih uvjeta. Između te dvije ekstremne tehnike postoje i one prelazne koje ovise o broju ugrađenih stupova u vodu.

Naša praksa izgradnje vodova ubraja se u krutu tehniku. Mi praktički u svakoj kutnoj točki trase upotrebljavamo zatezni stup, bez obzira na terenske uvjete, premda Pravilnik predviđa upotrebu i kutno-nosivog stupa za kutove otklona trase do 5° . Osim toga, Pravilnik omogućava da se nosivi izolatorski lanci mogu koristiti na kutnim stupovima gdje kut otklona trase nije veći od 20° . Ovu mogućnost projektanti uglavnom ne koriste jer kutni stup za kut skretanja trase veći od 5° mora biti dimenzioniran kao zatezni, pa bi se upotrebom nosivog izolatorskog lanca ušteda iskazala samo u razlici koštanja između nosivog i zateznog lanca.

Duljina zateznog polja, tj. udaljenost između dva susjedna zatezna stupa, ograničena je prema Pravilniku i u normalnim uvjetima ne treba biti veća od 8 km ili zatezno polje ne treba obuhvatiti više od 30 raspona. U težim klimatskim i terenskim uvjetima mogu zatezna polja biti i kraća.

Pravilnikom nije reguliran odnos veličina susjednih raspona u vodu kako je uobičajeno u nekim zemljama koje preporučaju da razlika između susjednih raspona ne bude veća od 20 %. Na taj se način pri promjenama temperature ograničavaju vlačne razlike u ovjesištima vodiča, a time i veći otkloni nosivih izolatorskih lanaca u smjeru voda.

3.8. Struje kratkog spoja i njihova raspodjela

3.8.1. Općenito

Za potrebe projektiranja trofaznih nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona 110 kV, s brzim automatskim isklapanjem jednopolnih i višepolnih kvarova, kakvi se grade i na području SRH, načelno je prikazan proračun najviših mogućih vrijednosti ukupnih početnih struja trolnog i jednopolnog kratkog spoja, kao i njihove raspodjele u trasi bolesnog voda, kod neistodobnih potpunih kratkih spojeva na različitim mjestima duž trase projektiranog voda, u određenoj elektroenergetskoj mreži.

Sa stajališta kratkospojne čvrstoće stanovitog voda najznačajnije je odrediti najveće očekivane vrijednosti struja u faznim vodičima (trolni kratki spoj) i zaštitnoj užadi voda (jednopolni kratki spoj) koje se mogu za vijeka trajanja voda pojaviti kod kvarova na jednom od njegovih krajeva. Kritične vrijednosti navedenih struja mjerodavne su, uz podatke o najduljim trajanjima kvarova i dozvoljenom kratkotrajnom ugrijavanju materijala, za toplinsko dimenzioniranje vodiča i zaštitne užadi projektiranog voda. U pomanjkanju domaćih normativa za proračune kratkog spoja i zagrijavanja slobodnih vodiča možemo se poslužiti inozemnim propisima (npr. (L.3.26.) i (L.3.8.)), no najveću poteškoću u našoj praksi čini nepoznavanje konfiguracija elektroenergetskih mreža na tako dugi rok kao što je vijek trajanja nadzemnog voda. Stoga često moramo i možemo prihvatiti, uz pretpostavke zanemarenja utjecaja gušenja početne struje kratkog spoja i zanemarenja odvođenja topline u kratkotrajnom razdoblju do konačnog isključenja kvara (uključivo i možebitne beznaponske pauze), još i pretpostavku ograničenja struje kratkog spoja u mreži 110 kV na stanovitu nazivnu kratkospojnu moć prekidača, tj. prema (L.3.11.) na 12,5, 20, 25 ili 40 kA, s napomenom da prekidači ugrađeni u naše mreže ne odgovaraju navedenom standardnom nizu, već najčešće iznose 26,2 kA (5 000 MVA) ili 31,5 kA (6 000 MVA).

Sa stajališta prenošenja opasnih napona od utjecajnih bolesnih vodova 110 kV na utjecane susjedne osjetljive objekte (dojavni vodovi, metalni cjevovodi i dr.)

najznačajnije je odrediti najveće očekivane vrijednosti struja u trasi voda, koje se u sljedećih 5 - 7 godina nakon stavljanja voda pod napon mogu pojaviti kod jednopolnih kratkih spojeva na za pojedine utjecane objekte kritičnim položajima projektiranog voda. Kritične vrijednosti navedenih struja mjerodavne su, uz podatke o međuinduktivitetima i faktorima redukcije, za proračun najviših mogućih vrijednosti napona opasnosti na utjecanim objektima. Ako potonji, prema rezultatima proračuna i mjerenja, premašuju dozvoljene vrijednosti smatra se da opasnost postoji pa je nužno poduzeti jednu od propisanih mjera zaštite ugroženih objekata. U našoj zemlji je na snazi zakon o zaštiti vodova elektroveza od električnih vodova, iz godine 1952. (L.3.30.), koji će najvjerojatnije biti zamijenjen standardima JUS N.CO.101-105 (u izradi).

Proračun napona opasnosti u susjednim osjetljivim objektima provodi se za elektroenergetske mreže srednjoročne budućnosti, čije su nam konfiguracije već bolje poznate, a to je razdoblje sa stajališta vijeka trajanja postojećih dojavnih vodova, izgradjenosti rasprostranjenih uzemljenih metalnih objekata, očekivanog razvoja tehnologije izgradnje dojavnih mreža i poduzimanja mjera za ograničenje struja jednopolnoga kratkog spoja u utjecajnim elektroenergetskim mrežama sasvim dovoljno. U svakom slučaju navedene se provjere mogu po isteku navedenog roka odnosno prema ukazanoj potrebi ponoviti, ako se sumnja da bi koji od zaštićenih ili nezaštićenih osjetljivih objekata naknadno mogao biti doveden u nedozvoljeni položaj.

Konačno navedimo uvodno još i to da su 110 kV vodovi električki dovoljno udaljeni od generatora pa otpada potreba provjere zagrijavanja njihovih vodiča strujama dvopolnoga kratkog spoja, kao što radi ugrađene relejne zaštite mreža od jednostrukih (jednopolnih i višepolnih) kvarova ne treba očekivati mogućnost nastanka višestrukih kvarova, tj. istodobnog nastanka dvaju ili više kvarova na različitim mjestima u promatranoj mreži.

3.8.2. Vrste kvara

Na trofaznim elektroenergetskim nadzemnim vodovima u mrežama s uzemljenim zvjezdištem i brzom automatskom zaštitom od jednopolnih i višepolnih kvarova, pa i na našim vodovima nazivnog napona 110 kV, moramo u pogonu očekivati kvarove na izolaciji jednoga faznog vodiča prema zemlji, tzv. jednopolni kratki spoj, i kvarove na izolaciji između dva ili sva tri fazna vodiča, tzv. dvopolni ili trolpolni kratki spoj, sa ili bez istodobnog kvara dozemne izolacije na istom mjestu u mreži. Pri tom su izrazi "kvar" i "kratki spoj" sinonimi pa jednopolni kratki spoj nerijetko nazivamo još i jednofazni kvar, dok za dvopolni i trolpolni kvar upotrebljavamo još i skupni pojam višepolni kvarovi. S višestrukim kvarovima, tj. s istodobnim kvarovima izolacije na dva ili više različitih mjesta u mreži, ne moramo računati jer ugrađena automatska zaštita od jednostrukih kvarova treba djelovati brzo, selektivno i pouzdano. Posljedice zatajenja rada relejne

zaštite mreže ovdje nećemo razmatrati.

Kvarovi na vodovima 110 kV mogu biti prolazni ako se po obostranom isključenju bolesnih faza električni luk ugasi, a izolacija spontano obnovi, ili trajni, kao npr. proboj izolatorskog lanca, lom vodiča ili zaštitne užadi, rušenje stupova i dr. Intermitirane kvarove na vodovima 110 kV ne treba očekivati, jer radi visokih vrijednosti struja kratkog spoja nije moguće spontano gašenje električnog luka.

Kada na izvjesnom vodu 110 kV nastupi jednopolni kvar iskopčat će se bolesna faza, odnosno kod višepolnih kvarova sve tri faze bolesnog voda, i to automatski obostrano i sinhrono, u namjeri da se za trajanja beznaponske pauze omogući gašenje električnog luka i samoobnova oštećene izolacije. Uspije li to znači da je kvar bio prolazne naravi te će nakon obostranoga automatskog ponovnog uklopa vod ostati u pogonu. Nakon neuspješnoga ponovnog uklopa vod će biti obostrano iskopčan trolno i definitivno pa se ponovno smije staviti pod napon tek nakon pregleda i popravka. U pogonu su najbrojniji prolazni jednopolni kvarovi na nekom od stupova voda, dok su trajni kvarovi znatno rjeđi, ali zato uvijek s težim posljedicama.

Trolni, odnosno jednopolni kvarovi na jednom od krajeva voda najopasniji su za ugrijavanje vodiča odnosno zaštitne užadi voda, dok su jednopolni kratki spojevi u trasi voda mjerodavni za prenošenje napona opasnosti na susjedne osjetljive objekte.

Trenutni nastanak potpunoga trolnog (simetričnog) kratkog spoja, na izvjesnom mjestu u stanovitoj trofaznoj simetričnoj elektroenergetskoj mreži, pogonske frekvencije $f = 50$ Hz, odnosno kružne frekvencije $\omega = 314,16$ /s, popraćen je pojavom ukupne nesimetrične prigušene struje trolnog kratkog spoja, koja teče na bolesnom mjestu u mreži, pri čemu je vektorski zbroj struja u sve tri faze na svakom mjestu u mreži ravan nuli. Vremenski tok struje u pojedinim fazama ovisi o trenutku nastanka kvara, a najvišu trenutnu vrijednost struje, koja se može u najnepovoljnijem slučaju pojaviti neposredno po nastanku kvara u jednom od faznih vodiča, nazivamo udarna struja trolnoga kratkog spoja.

Navedenu ukupnu struju možemo matematički rastaviti na njezine također prigušene komponente: izmjeničnu i istosmjernu.

Prigušenje izmjenične komponente struje trolnoga kratkog spoja od vrijednosti početne, preko prelazne, do trajne struje (koja bi se po iščezavanju svih prelaznih pojava ustalila u bolesnoj mreži, kada za trajanja kvara ne bi djelovala relejna zaštita mreže) ovisi o reakciji armature i automatskoj regulaciji uzbude generatora odnosno napona u bolesnoj mreži. Budući da su kvarovi na vodovima 110 kV najčešće električki relativno dosta udaljeni od generatora, zanemarit ćemo ovdje u prvom približenju utjecaj gušenja izmjenične komponente struje

kratkog spoja I_k tj. uzet ćemo da su početna I'' , prelazna I' i trajna I struja, simetričnog (tropolnog) i, pogotovo, nesimetričnih kvarova međusobne jednake:

$$I_k = I_k / \varphi = I'' = I' = I$$

Vrijednost struje tropolnoga kratkog spoja pri tom je obrnuto proporcionalna nadomjesnoj subtranzientnoj impedanciji promatrane mreže, reducirane na bolesno mjesto i naponsku razinu mjesta kvara:

$$I_{k,3} = \frac{E}{Z''_d \varphi}$$

Pri tom se za nadomjesnu elektromotornu silu E uzima da je jednaka faznom naponu koji odgovara bilo nazivnom naponu mreže, bilo pogonskom naponu, bilo najvišem pogonskom naponu povećanom za faktor čija se vrijednost uzima u području od 1 do 1,1 i to stoga što je zamišljena elektromotorna sila iza subtranzientne reaktancije generatora dakako viša od napona koji je na bolesnom mjestu vladao prije nastanka kvara u opterećenoj mreži. U našoj se zemlji u zadnje vrijeme proračuni kratkog spoja češće provode s nadomjesnom elektromotornom silom koja odgovara najvišem (dozvoljenom) pogonskom naponu mreže tj. u našem slučaju vodova nazivnog napona 110 kV sa $E = 123 / (3)^{1/2}$.

Istosmjerna komponenta struje tropolnoga kratkog spoja može u najnepovoljnijem slučaju doseći iznos koji je u trenutku nastanka kvara jednak tjemenoj vrijednosti početne struje kratkog spoja, dok je njezino gušenje isključivo ovisno o kutu početne nadomjesne impedancije mreže, tako da za njezinu vremensku konstantu vrijedi:

$$T = \tan \varphi / 314,16$$

pa za vremenski tok navedene istosmjerne komponente možemo pisati:

$$I_{ist,3} = (2)^{1/2} I_{k,3} e^{(-t/T)}.$$

U našim mrežama 110 kV kreću se, uz kutove početnih impedancija od 70° do 80° , vremenske konstante istosmjerne komponente struje tropolnoga kratkog spoja približno u području do 10 do 20 ms, što znači da uz oko 10 puta dulja vremena iskapčanja kvara možemo u navedenim mrežama najčešće zanemariti utjecaj istosmjerne komponente na vrijednost rasklopne struje kratkog spoja I_r , odnosno uzeti da je toplinska struja, tj. efektivna vrijednost ustaljene izmjenične struje, koja u jednoj sekundi proizvede jednaku količinu topline, kao i ukupna struja kratkog spoja u cijelom vremenskm razdoblju do definitivnog iskapčanja kvara, također približno jednaka početnoj struji

$$I_{top} = I_r = I_{k,3} = I_3''.$$

Za mehanička naprezanja u kratkom spoju mjerodavna je, pak, već prije navedena udarna struja trolnoga kratkog spoja, koju određujemo kao produkt najviše tjemene vrijednosti početne struje trolnoga kratkog spoja i faktora udarne struje K:

$$I_{ud,3} = (2)^{1/2} \cdot K \cdot I_{k,3},$$

pri čemu za potonji vrijedi:

$$\ln \frac{K - 1}{\sin \varphi} = - \frac{\pi/2 (1 + \varphi/90)}{\tan \varphi}$$

U našim mrežama, uz već navedene kuteve početnih nadomjesnih impedancija sistema do oko 80 stupnjeva, koeficijent udarne struje trolnoga kratkog spoja iznositi će približno $K = 1,6$.

Da bismo odredili početnu struju trolnoga kratkog spoja, mjerodavnu za udarna mehanička i toplinska naprezanja vodiča projektiranog voda 110 kV, potrebno je, prema sl. 3.25, u nadomjesnom elektroenergetskom sistemu, očekivanom do kraja vijeka trajanja projektiranog voda, uz istodobno uvrštenje svih elemenata mreže (maksimalni kratki spoj), izračunati veći od udjela struje $I''_{m,3,A}$ odnosno $I''_{m,3,B}$ koji mogu dotjecati iz mreže 110 kV u vodiče, kod neistodobnih kvarova na oba kraja voda. Po potrebi može se na isti način izvršiti i proračun raspodjele početnih struja trolnog kratkog spoja kod kvarova na bilo kojoj točki trase projektiranog voda 110 kV u zadanom elektroenergetskom sistemu. Ako elektroenergetski sistem u daljoj budućnosti nije određen, moramo se zadovoljiti pretpostavkom da je vrijednost tražene struje jednaka nazivnoj rasklopnoj moći prekidača koji će biti ugrađeni u poljima na krajevima voda.

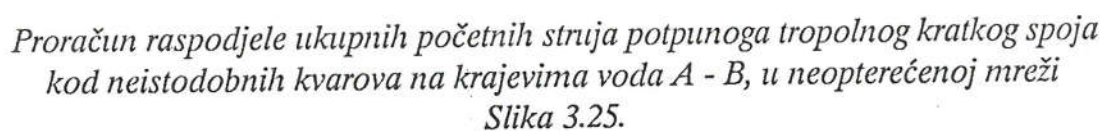
Slično vrijedi i za zaštitnu užad, ali uz jednopolne kvarove.

$$\bar{I}_{A(B)}'' = \bar{I}_{K,3,A(B)} = E : \left[\bar{Z}_N + \frac{\bar{Z}_{A(B)} [\bar{Z}_{B(A)} + \bar{Z}_{A-B}]}{\bar{Z}_A + \bar{Z}_B + \bar{Z}_{A-B}} \right]$$

$$\bar{I}_{m,3A(B)} = E \frac{\bar{Z}_{B(A)} + \bar{Z}_{A-B}}{\bar{Z}_{A(B)} [\bar{Z}_{B(A)} + \bar{Z}_{A-B}] + \bar{Z}_N [\bar{Z}_A + \bar{Z}_B + \bar{Z}_{A-B}]}$$

$$\bar{I}''_{v,3A(B)} = E \frac{\bar{Z}_{A(B)}}{\bar{Z}_{A(B)} [\bar{Z}_{B(A)} + \bar{Z}_{A-B}] + \bar{Z}_N [\bar{Z}_A + \bar{Z}_B + \bar{Z}_{A-B}]}$$

$$\bar{I}''_{A(B)} = \bar{I}''_{m,3,A(B)} + \bar{I}''_{v,3,B(A)}$$



185

na vodu i u tlu, strujno zavisne veličine na koje još može utjecati rasprostiranje metalnih uzemljenih objekata, pa stoga kod definicije pojma redukcionog faktora zaštitnog užeta (užadi) nadzemnoga elektroenergetskog voda pretpostavljamo da potonji utjecajni objekti ne postoje.

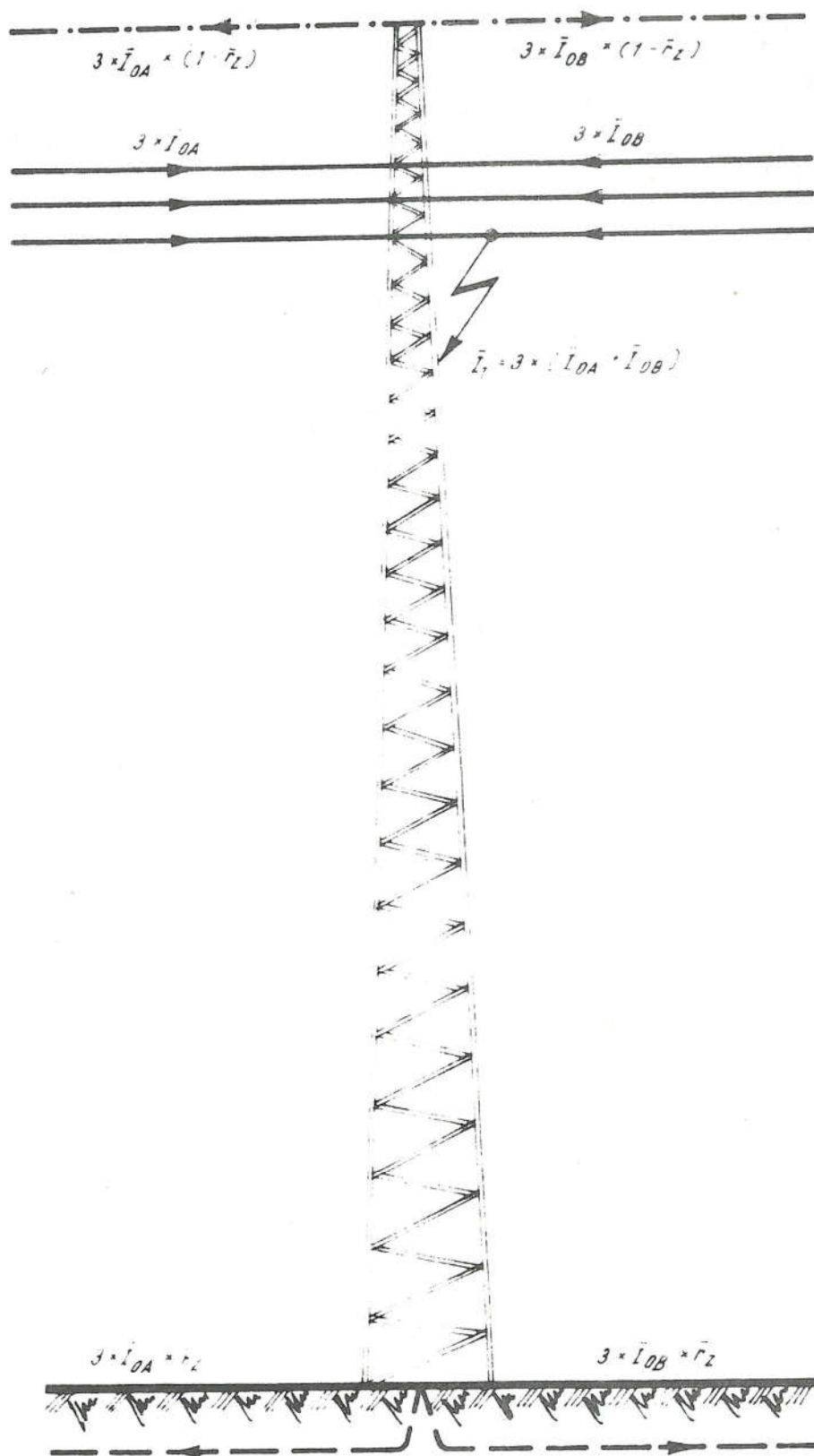
Nalazi li se u području utjecaja izvjesnoga elektroenergetskog voda stanovit osjetljivi objekt (dojavni vod, metalni cjevovod i sl.) inducirat će se, kod jednopolnih kvarova na elektroenergetskom vodu, u utjecanim osjetljivim objektima naponi opasnosti srazmjerni zbroju nultih struja u faznim vodičima promatranog voda, međuinduktiviteta i ukupnog faktora redukcije (zaštitne užadi nadzemnih elektroenergetskih vodova i ostalih rasprostranjenih uzemljenih metalnih objekata, kao npr. plaštev i odnosi ekrani elektroenergetskih i dojavnih kabela, vodovodne cijevi, tračnice i dr.) u području utjecaja. Pri tom zanemarujemo utjecaj smanjenja inducirajuće struje u rasponima bliskima mjestu kvara.

S toplinskog stajališta najviša struja u zaštitnom užetu može se pojaviti kod jednopolnog kratkog spoja na jednom od krajeva voda, tj. slično kao i kod trolinog kratkog spoja, s time da ona ovdje jedanput može biti veća kod kvara u postrojenju, a drugi put kod kvara na jednom od prvih stupova u blizini postrojenja. Najnepovoljnije mjesto kvara treba istražiti s obzirom na uklopna stanja buduće mreže i rasprostranjenost uzemljivača postrojenja. Ako je kritično mjesto kvara na vodu, može se u prvom približenju pretpostaviti da će se ukupna struja kvara vratiti kroz zaštitno uže.

Više o metodologiji proučavanja kratkog spoja u trofaznim elektroenergetskim mrežama visokog napona može se naći u brojnoj stručnoj literaturi od koje ovdje ukazujemo na (L 3.21. 3.23.).

3.8.3. Nadomjesne impedancije mreže

Proračun raspodjele napona i struja u zdravim i bolesnim trofaznim elektroenergetskim mrežama provodi se najčešće prema postupku simetričnih komponenata (L.3.28.), koji uz 1,2,0 komponente treba doslovno shvatiti samo kao jednu od pomoćnih računskih shema postavljenih radi pojednostavnjenja toka matematičkih proračuna u navedenim mrežama. Iako možda na prvi pogled ne izgleda baš tako, ipak iz činjenice, da se svaki trofazni nesimetrični sustav napona ili struja može prikazati sa tri simetrična sustava, od kojih, prema postupku simetričnih komponenta, prvi (1) ili (d) nazvan direktni, rotira po redosljedu faza 0 (R), 4 (S), 8 (T); dok drugi (2) ili (i) nazvan inverzni, ima suprotan smjer vrtnje, a treći (0), nazvan nulti, ne rotira već je jednofazan tj. istog smjera u sve tri faze. Slijedi mogućnost provodjenja jednofaznih proračuna u tri simetrična sustava, što je ipak jednostavnije od provodjenja trofaznih proračuna u jednom nesimetričnom sustavu. Dakako da uz simetričan prvobitni sustav, kao npr. kod simetričnih opterećenja i trolinog kratkih spojeva u simetričnim mrežama, postoji samo prvi direktni (1) sustav struja i napona, dok inverzni (2) i nulti (0) sustav iščezavaju.



Raspodjela struja kratkog spoja pri kvaru na stupu
Slika 3.26.

Omjere struja i napona u pojedinim nadomjesnim sustavima prema postupku simetričnih komponenata nazivamo nadomjesnom direktnom, inverznom odnosno nultom impedancijom, koje za razliku od komponenata napona ili struja na nekom mjestu u mreži ne predstavljaju komponente neke postojeće impedancije, a pri čemu je za svaki dio mreže, pa i za sistem u cjelini, direktna nadomjesna impedancija prividni otpor što ga simetrična mreža ili jedan njezin dio, u svakoj svojoj fazi, pruža trofaznom simetričnom sustavu napona koji rotira po redosljedu faza 0 (R), 4 (S), 8 (T): inverzna nadomjesna impedancija - prividni otpor, kao gore, ali uz suprotan (negativan) smjer vrtnje narinutoga naponskog sustava; nulta nadomjesna impedancija - prividni otpor što ga mreža ili jedan njezin dio pruža po svakoj fazi, jednofaznom naponu, narinutom u jednoj točki mreže između sve tri paralelno spojene faze i zemlje.

Kod aparata i vodova direktna i inverzna nadomjesna impedancija uvijek su jednake, a razlika postoji samo kod rotirajućih strojeva (generatori, kompenzatori i motori), čije su subtranzientne i inverzne reaktancije u pravilu približno jednake, pa kako su potonji električki relativno dosta udaljeni od elemenata mreže 110 kV (najmanje preko blokovskih transformatora gornjeg napona 110 kV), može se s dovoljnom točnošću pretpostaviti da su subtranzientna ili početna i inverzna nadomjesna impedancija u svim točkama mreže 110 kV međusobno jednake.

Na temelju rezultata mjerenja u postojećim mrežama možemo navedene impedancije odrediti iz omjera faznog napona, narinutog na jednu od faza, i struje u toj fazi. Nultu nadomjesnu admitanciju dobit ćemo ako jednofazni napon, narinut između sve tri faze, na jednom mjestu u mreži, i zemlje podijelimo sa strujom u jednoj od tri paralelno spojene faze (nulta struja). Ukupna struja u nultom nadomjesnom sistemu bit će stoga jednaka trostrukoj nultoj struji $3xI_0$.

Iznesene tvrdnje možemo matematički izraziti formalno jednakim sistemima jednadžbi za struje i za napone:

$$\bar{I}_R = \bar{I}_{d,R} + \bar{I}_{i,R} + \bar{I}_0$$

$$\bar{I}_S = \bar{a}^2 \bar{I}_{d,R} + \bar{a} \bar{I}_{i,R} + \bar{I}_0$$

$$\bar{I}_T = \bar{a} \bar{I}_{d,R} + \bar{a}^2 \bar{I}_{i,R} + \bar{I}_0$$

$$\bar{U}_R = \bar{U}_{d,R} + \bar{U}_{i,R} + \bar{U}_0$$

$$\bar{U}_S = \bar{a}^2 \bar{U}_{d,R} + \bar{a} \bar{U}_{i,R} + \bar{U}_0$$

$$\bar{U}_T = \bar{a} \bar{U}_{d,R} + \bar{a}^2 \bar{U}_{i,R} + \bar{U}_0$$

za koje uz

$$\bar{a} = -0,5 + j(3/2)^{1/2} \quad \bar{a}^2 = -0,5 - j(3/2)^{1/2} \quad j = (-1)^{1/2}$$

vrijedi

$$\bar{U}_{d,R} = E - \bar{Z}_d \bar{I}_{d,R}$$

$$\bar{U}_{i,R} = -\bar{Z}_i \bar{I}_{i,R}$$

$$\bar{U}_0 = -\bar{Z}_0 \bar{I}_0$$

pri čemu je E naprijed opisana nadomjesna elektromotorna sila za proračun kratkog spoja.

U neopterećenoj mreži možemo, uz zanemarenje prelaznog otpora na mjestu kvara $Z_K=0$, i uz identične subtranziente i inverzne nadomjesne impedancije $Z_d'' = Z_d = Z_i$, za početne struje pisati kod:

- trolnoga kratkog spoja	$\bar{I}_{k3} = \frac{E}{\bar{Z}_d''}$
- dvopolnoga kratkog spoja	$\bar{I}_{k2} = (3)^{1/2} \frac{E}{2\bar{Z}_d''}$
- jednopolnoga kratkog spoja	$\bar{I}_{k1} = \frac{3E}{2\bar{Z}_d'' + \bar{Z}_0}$

Raspodjela ukupnih struja u bolesnoj mreži može se po tom odrediti superpozicijom pogonskih struja i struja kratkog spoja u neopterećenoj mreži. Budući da su potonje u pravilu nekoliko puta veće od prvo navedenih struja, najčešće se zadovoljavamo pretpostavkom da su struje kratkog spoja u bolesnoj mreži identične strujama kvara u njezinom neopterećenom modelu (mreža u praznom hodu). U vezi zanemarenja prelaznog otpora na mjestu kvara, kod proračuna maksimalnoga kratkog spoja želimo podsjetiti da je kod kvara preko luka u visokom naponskim mrežama napon luka bitno manji od pogonskog napona, pa stoga smijemo zanemariti utjecaj otpora luka u visokonaponskim mrežama na proračun vrijednosti najviših mogućih struja kratkog spoja.

Da bismo, dakle, za potrebe proračuna kratkospojne čvrstoće i utjecaja na okoliš stanovitog voda 110 kV u našim mrežama odredili raspodjelu najviših mogućih početnih struja trolnoga i jednopolnog kratkog spoja nužno je nadomjesne

sheme početnih (inverznih) i nultih impedancija mjerodavnog sistema, uz isključen promatrani vod, najprije reducirati na krajeve nademnog voda i, dakako zvjezdišta odgovarajuće mreže, a potom tako dobivene sheme "preostale mreže" nadopuniti direktnom (inverznom) odnosno nultom impedancijom promatranog voda, određenim prema točki 3.4. ove studije.

Nadomjesna trokraka zvijezda početnih impedancija Z''_{dA} , Z''_{dB} i Z''_{dN} reducira mreže, uz isključen vod A-B, na čvorišta A i B te zvjezdište N (neutralnu točku) mreže, prikazana je radi proračuna kratkog spoja kod neistodobnih kvarova na krajevima navedenog voda na slici 3.25.

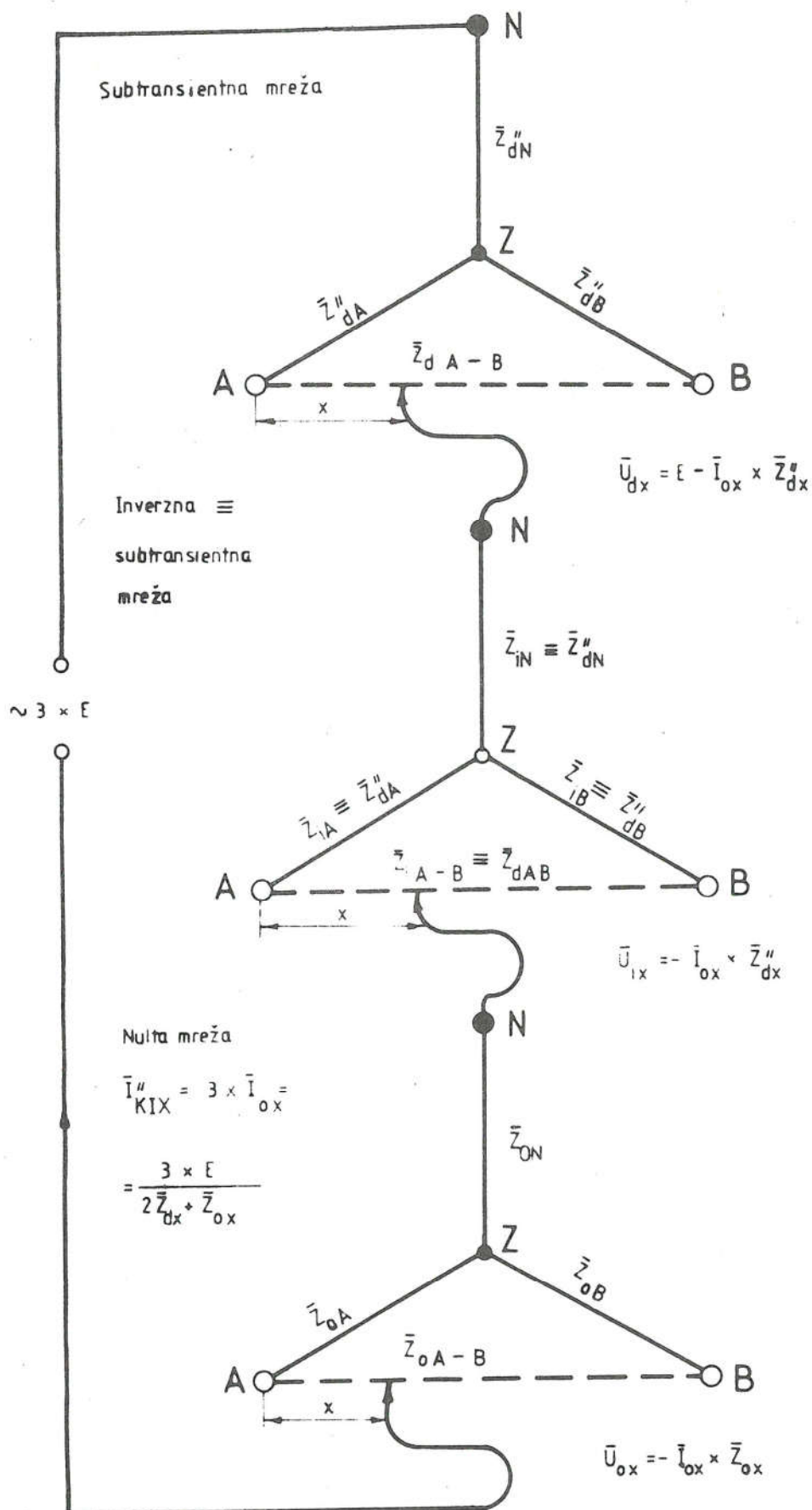
Slično je učinjeno i na slici 3.27, ali za proračun jednopolnoga kratkog spoja, prema postupku simetričnih komponentata.

Nadomjesne impedancije stanovitoga elektroenergetskog sistema mogu se pri tom modelirati bilo pojedinačno, postavljanjem nadomjesnih impedancija svakoga pojedinog elementa mreže (npr. kao kod provodjenja prvobitnog proračuna kratkog spoja u mreži određene konfiguracije), bilo u cjelini, sa tri reducirane impedancije po nadomjesnoj mreži, kao na sl. 3.25. i 3.27, koje se određuju postupkom redukcije prvobitne mreže uz isključen promatrani vod, ili postupkom provodjenja dopunskog proračuna kratkog spoja na temelju rezultata prvobitnog proračuna kratkog spoja u istoj mreži, bilo kombinacijom oba postupka, tj. redukcijom šireg dijela sistema na određena čvorišta, bili modeliranjem pojedinih elemenata užeg dijela mreže.

Za potrebe proračuna kratkog spoja na našim elektroenergetskim vodovima najčešće se primjenjuje postupak dopunskih proračuna i prikazivanje mjerodavnoga elektroenergetskog sistema s trokrakom zvijezdom nadomjesnih impedancija početne (inverzne) i nulte mreže, kako je prikazano na sl. 3.25. i 3.27.

3.8.4. Proračun struja kratkog spoja

Prema navedenom osnovna svrha proračuna raspodjele najvećih mogućih početnih struja trolnoga i jednopolnog kratkog spoja, kod neistodobnih kvarova na različitim mjestima duž trase promatranog voda 110 kV (maksimalni kratki spoj u srednjoročnoj i dugoročnoj budućnosti, do kraja vijeka trajanja voda), jest određivanje vrijednosti struja kratkog spoja mjerodavnih za provjeru udarnih mehaničkih i toplinskih naprezanja vodiča i zaštitne užadi (kratkospojna čvrstoća) voda u dugoročnoj budućnosti, odnosno za provjeru napona opasnosti koji se pri kvarovima na kritičnim mjestima mogu u srednjoročnoj budućnosti prenijeti iz bolesne elektroenergetske mreže na susjedne osjetljive objekte (zaštita okoliša). Napone dodira i koraka u blizini stupova nadzemnih elektroenergetskih vodova u mrežama s uzemljenim zvjezdištem odnosno s obaveznim brzim automatskim isklapanjem jednopolnih kvarova, ne treba prema našim tehničkim normativima (L.1.6.) posebno provjeravati, što znači da za naše vodove nazivnog napona 110 kV ne treba niti računati struje koje se kod dozemnih kvarova na stupovima zatvaraju preko njihovih uzemljivača u zemlju.



Shema nadomjesnih impedancija za proračun raspodjele početnih struja
jednopolnog kratkog spoja kod neistodobnih kvarova duž trase voda
u neopterećenoj mreži
Slika 3.27.

Proračuni maksimalnoga kratkog spoja provode se za buduće konfiguracije elektroenergetskih mreža uz istodobno uvrštenje svih njihovih elemenata (generatori, transformatori, vodovi, uzemljenje zvjezdišta i dr.), uz zanemarenje utjecaja pogonskih struja (kratki spoj u neopterećenoj mreži) i prelaznog otpora kvara te utjecaja istosmjernih komponente i gušenja izmjenične komponente struje kratkog spoja na ugrijavanje vodiča i zaštitne užadi odnosno uz pretpostavku da je nadomjesna elektromotorna sila $E = U/(3)^{1/2}$ na mjestu kvara unaprijed zadana prostorno i vremenski stalna veličina (U -nazivni ili pogonski ili najviši dozvoljeni pogonski napon, uvećan za najviše do 10 %).

Prema već izloženom navedene proračune raspodjele struje kratkog spoja moguće je provesti bilo istodobno s temeljnim proračunom kratkog spoja u stanovitoj mreži, uz uvođenje prividnih čvorišta na različitim položajima duž trase nekih ili svih vodova u mreži, ako je to prikladno. No u našoj je praksi češći slučaj, u okviru dopunskih proračuna kratkog spoja prema (L.3.29.), koji se po potrebi mogu za pojedine vodove provoditi naknadno, i to bilo u prvobitnim, bilo u novim tj. nešto izmijenjenim uvjetima prvobitne mreže. Potonji postupak omogućuje, da proračun struja kratkog spoja u stanovitom vodu na jednostavan način obuhvati i naknadne spoznaje o razvoju stanovite mreže.

Prema izloženome nužno je u potonjem slučaju mjerodavni elektroenergetski sistem u prvobitnim ili novim uvjetima reducirati na krajnje točke projektiranog voda i, dakako, na zvjezdište direktne (inverzne) odnosno nulte nadomjesne mreže. U svakoj nadomjesnoj mreži sistem treba prikazati, uz isključen promatrani vod, poligonom ili zvijezdom impedancija, reduciranim na naponsku razinu voda. Kao i prije, poslužit ćemo se trokrakom zvijezdom nadomjesnih impedancija sistema, nadopunjenom nadomjesnom impedancijom promatranog (isključenog) voda, pri čemu se utjecaj pogonskih kapaciteta u direktnoj inverznoj mreži zanemaruje, dok se utjecaj dozemnih kapaciteta u nultoj mreži često uzima u račun. Ako se promatrani vod nalazi pod utjecajem drugih elektroenergetskih vodova (npr. dvostruki ili paralelni vodovi i sl.) zakomplicirat će se, zbog utjecaja međuinduktiviteta duž trase promatranog voda, postavljanje nulte nadomjesne sheme odnosno njezinoga matematičkog modela, no u ovom općenitom pregledu nećemo dublje ulaziti u ovaj specijalistički problem.

a) Tropolni kratki spoj

Temelji ovog proračuna već su objašnjeni u prethodnoj točki (sl.3.25.), pa stoga ovdje navodimo samo da za vrijednosti nadomjesne početne impedancije elektroenergetskog sistema i ukupne početne struje potpunoga tropolnog kratkog spoja kod kvara na udaljenosti l_A od čvora (kraja voda) A odnosno l_B od čvora (kraja voda) B, na vodu ukupne duljine $L = l_A + l_B$ km i jedinične vrijednosti direktne nadomjesne uzdužne impedancije $\bar{z}_d$ Ω/km te uz zanemarenje utjecaja pogonskog kapaciteta $c_p = 0$, u sistemu nadomještenom trokrakom zvijezdom početnih impedancija, kao na sl.3.25, uz nadomjesnu elektromotornu silu E na mjestu kvara vrijedi:

- za nadomjesnu impedanciju mreže, reduciranu na mjesto kvara

$$\bar{Z}_K = \bar{Z}_N + \frac{(\bar{Z}_A + z_{lA})(\bar{Z}_B + z_{lB})}{\bar{Z}_A + \bar{Z}_B + L\bar{z}}$$

- za ukupnu početnu struju potpunoga trofaznog kratkog spoja

$$\bar{I}_{K,3} = \frac{E}{\bar{Z}_{K,3}} = \frac{E}{\bar{Z}_{d,K}} = \frac{E}{\bar{Z}''_{d,K}}$$

- za udjele gornje struje koji na mjesto kvara dotječu po vodičima iz čvorišta (krajeva voda) A i B

$$\bar{I}_{v,3,A(B)} = \frac{E \left(1 - \frac{\bar{Z}_{d,N}}{\bar{Z}_{d,K}}\right)}{\bar{Z}_{d,A(B)} + \bar{z}_{d,lA(B)}}$$

- s napomenom da zadnje jednačbe uz $l_A = 0$ odnosno $l_B = 0$ preprimaju oblik prikazan na slici 3.25.

b) Jednopolni kratki spoj

Radi proračuna struja jednopolnoga kratkog spoja moramo, prema postupku simetričnih komponenata, uz direktnu (subtranzientnu) nadomjesnu mrežu postaviti još potonjoj identičnu inverznu mrežu i odgovarajuću nultu mrežu, te ih prema sl. 3.27. međusobno spojiti serijski preko (prividnih) čvorišta postavljenih na mjestu zamišljenog kvara na promatranom vodu.

Zanemarimo li pri tom utjecaj dozemnih kapaciteta i utjecaj međuinduktiviteta prema susjednim elektroenergetskim vodovima, možemo kod potpunih jednopolnih kratkih spojeva na promatranom vodu 110 kV pisati:

za ukupnu početnu struju potpunoga jednopolnog kratkog spoja

$$\bar{I}_{K,1} = \frac{3E}{2\bar{Z}_{d,K} + \bar{Z}_{o,K}}$$

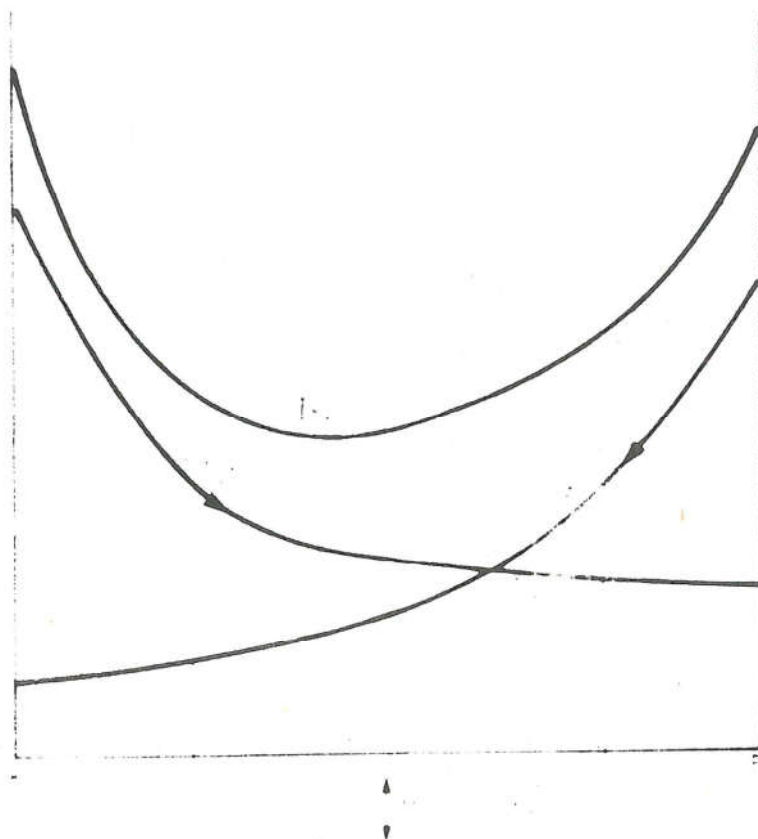
- za udjele gornje struje, tj. za trostruke nulte struje, koje na mjesto kvara dotječu po vodičima iz čvorišta (krajeva voda) A i B

$$\bar{I}_{v,l,A(B)} = \frac{3E [\bar{Z}_{0,K} - \bar{Z}_{0,N}]}{[2\bar{Z}_{d,K} + \bar{Z}_{0,K}] \cdot [\bar{Z}_{0,A(B)} + \bar{Z}_0 \cdot l_{A(B)}]}$$

Ako proračunom treba obuhvatiti utjecaj dozemnih kapaciteta ili/i međuinduktiviteta susjednih elektroenergetskih vodova kompliciraju se proračuni raspodjele struja jednopolnih kratkih spojeva pa ih je praktički moguće egzaktno provesti jedino pomoću elektroničkih digitalnih računskih strojeva.

U svakom slučaju prikazuju se rezultati proračuna raspodjele struja jednopolnoga kratkog spoja, tj. trostrukih nultih struja u faznim vodičima i inducirajućih struja u tlu, kod neistodobnih kvarova na različitim položajima duž trase stanovitog voda, tablično i grafički, kao na slici 3.28.

Nalazi li se pod utjecajem stanovitoga elektroenergetskog voda A - B, u određenoj mreži, na dionici a - b izvjesni utjecani objekt potrebno je s odgovarajućeg dijagrama raspodjele struja jednopolnoga kratkog spoja, poput onog na sl. 3.28 otčitati veći od neistodobnih udjela struja koje teku u navedenoj dionici, kod neistodobnih kvarova na njezinim krajevima, pa s otčitanim iznosom provesti proračun kritične vrijednosti napona opasnosti u utjecanom objektu.



Raspodjela početnih struja potpunoga jednopolnog kratkog spoja kod neistodobnih kvarova duž trase voda u neopterećenoj mreži i naponi opasnosti u susjednim objektima

Slika 3.28.

4. TIPIZACIJA ELEMENATA DALEKOVODA

4.1. STUPOVI

4.1.1. Izbor konstrukcije i oblika stupa za jednosistemske i dvosistemske dalekovode

4.1.1.1. Konstrukcija stupova

Kao što je navedeno u uvodu pod 1.1. postepeno se odustajalo od primjene drvenih i betonskih stupova za gradjenje nadzemnih vodova 110 kV te se na osnovi dosadašnjih iskustva u gradnji 110 kV dalekovoda kao optimalno rješenje pokazala primjena stupova u obliku čelično-rešetkaste konstrukcije od standardnih čeličnih L profila spojenih vijcima. Primjena takvih stupova je općeprihvaćena i raspostranjena u svjetskoj praksi gradjenja dalekovoda te su i propisi za čeličnorešetkaste konstrukcije tog tipa razradjeni u najvećoj mjeri.

Razvojem industrije čelika u nas te poboljšanjem kvalitete čelika i asortimana proizvoda, primjena čelično-rešetkastih konstrukcija za stupove dalekovoda 110 kV zasad nema alternative ako su u pitanju isključivo ekonomski aspekti izbora materijala. Unatoč tome što se asortiman standardnih vruće valjanih profila nalazi u proizvodnom programu naših željezara, ponekad se javljaju poteškoće oko nabavke određenih profila, što se uglavnom rješavalo zamjenom s raspoloživim, pretežno većim profilima. Izvedba konstrukcije je jednostavna. Nakon izrade pojedinih elemenata konstrukcije u radionici, konstrukcija stupova montira se spajanjem elemenata vijcima na samom stupnom mjestu dalekovoda. S obzirom na relativno malu težinu i duljinu elemenata konstrukcije, nema većih problema s transportom tih elemenata i do vrlo teških i nepristupačnih lokacija stupnih mjesta. Zaštita čelika od korozije vrućim cinčanjem, koje se obavlja prije montaže stupa, pokazala se veoma uspješnom. Na samom terenu se po potrebi vrši samo dodatna zaštita bojenjem već pocinčane konstrukcije.

Dalekovodni stupovi čelično-rešetkaste konstrukcije lagani su i vitki. Zbog svoje elastičnosti veoma su adaptabilni za sva opterećenja koja preuzimaju.

Variranjem širine stupa te veličine profila elemenata konstrukcije moguće je konstruirati stup za svako opterećenje koje se pojavljuje na dalekovodu. Optimalnim izborom geometrije stupa i profila elemenata konstrukcije može se postići efekt iskoristivosti glavnih elemenata konstrukcije za maksimalno opterećenje i do 100 %.

Iskustva u vezi s održavanjem čeličnorešetkaste konstrukcije dalekovodnih stup-

ova veoma su dobra. Prilikom mehaničkih oštećenja pojedinih elemenata konstrukcije, takav element se može brzo i jednostavno zamijeniti novim. U slučaju havarija, kompletni stupovi se mogu relativno brzo zamijeniti novim. Isto tako moguće je demontirati stup i ponovno ga montirati na nekoj drugoj lokaciji.

U specifičnim situacijama provođenja nadzemnih vodova kroz gusto naseljene urbane sredine postavljaju se visoki zahtjevi u pogledu estetike stupova i širine koridora. U takvim slučajevima razmišlja se o upotrebi limenih stupova jer se svojim oblikom i geometrijom mogu bolje uklopiti u okoliš, a isto tako zauzimaju malo prostora. Mane su im skupa izvedba i još nedovoljno sigurna antikorozivna zaštita te nisu za širu upotrebu u gradnji nadzemnih vodova.

4.1.1.2. Materijal konstrukcije

Za izradu čelično-rešetkastih konstrukcija dalekovodnih stupova upotrebljavaju se standardni vruće valjani profili i limovi prema JUS C, B0. a 500. Većinom su to istokračni pravokutni L profili minimalne dimenzije L 35.35.4 te NPU profili minimalne visine 65 mm. Oznaka čelika po JUS-u: Č.0370, a tehnička: ČN24-A2. Spojna sredstva su neobradjeni vijci prema JUS M.B1.023, klasa čvrstoće 4.6 ili 5.6. Prema propisima, najmanji profil vijka iznosi 12 mm. Zaštita od odvrtanja vrši se oštećenjem navoja vijka iznad matice (tzv. kirnanje) ili elastičnim podložnim pločicama. U nekim se slučajevima radi veće sigurnosti spoja, zaštita od odvrtanja vrši na oba načina istodobno.

4.1.1.3. Zaštita od korozije

Zaštita čelične konstrukcije od korozije regulirana je odredbama Pravilnika o tehničkim mjerama i uvjetima za zaštitu čelične konstrukcije od korozije, Sl.list SFRJ, broj 32/1972.

Prema dosadašnjem iskustvu sistem zaštite od korozije izveden sa vrućim cinčanjem se pokazao kao zadovoljavajuće rješenje. Sistem zaštite od korozije zavisi o uvjetima kojima je izložena čelična konstrukcija tj. zavisno od stepena korozivne agresivnosti okoline na čelične konstrukcije, Pravilnik predviđa 7 sistema zaštite. U pravilu se za dalekovodne stupove koristi jedan od sistema zaštite vrućim cinčanjem s tim da se za sredine s većim agresivnim utjecajem (blizina mora, industrijske zone i sl.) primjenjuje još bojanje hladnim premazom već montirane pocinčane konstrukcije stupa.

S obzirom na specifičnost dalekovoda da obično prolazi terenima gdje je otežan pristup te da su eventualna iskopčanja radi obnavljanja antikorozivne zaštite vrlo skupa, a negdje čak i nemoguća iz energetskih razloga, zahtijeva se takav sistem zaštite od korozije koji će imati trajnost na dulji rok, dvadeset godina i

više. Tim zahtijevima udovoljava sada već uobičajeni postupak zaštite od korozije vrućim cinčanjem. Naime od antikorozivne zaštite bojenjem stupa odustalo se zbog kratkog vijeka trajanja takve zaštite (3-5 godina) te potrebe češćeg obnavljanja. Unatoč vrlo dobrim svojstvima antikorozivne zaštite izvedene metalizacijom (cink, aluminij), takva zaštita je u odnosu na vruće cinčanje vrlo skupa, tako da se došlo do saznanja da je vruće cinčanje optimalan način zaštite od korozije čelične konstrukcije koje su locirane često tako da su teško dostupne, a kod kojih se zahtijeva dugački vijek trajanja.

Na izbor vrste i sistema zaštite od korozije utječu značenje, veličina i položaj objekta, korozijski uvjeti u kojima se objekt nalazi, uvjeti eksploatacije objekta te mogućnost održavanja čelične konstrukcije.

Prema Pravilniku, ovisno o atmosferskim uvjetima kojima se izlažu čelične konstrukcije, postoje sistemi zaštite za sredine s različitim atmosferskim uvjetima, sredine s normalnim industrijskim i primorskim atmosferskim uvjetima te sredine s ekstremno agresivnim uvjetima i druge.

Za sredine s normalnim atmosferskim uvjetima predviđa se vruće pocinčavanje bez pokrivnog premaza.

Prosječna masa prevlake cinka treba da iznosi 500 g/m^2 , a najmanja masa 450 g/m^2 površine profila, dok prosječna debljina prevlake treba da iznosi $71 \mu\text{m}$, a najmanja $64 \mu\text{m}$.

U sredinama s industrijskim i primorskim atmosferskim uvjetima predviđa se "dvostruki sistem" zaštite, tj. kao osnovno premazno sredstvo izvodi se vruće pocinčavanje, a nakon toga izvodi se ličenje, i to temeljni premaz (WASH PRIMER) koji uspostavlja dobar kontakt i osigurava prionljivost između pokrivnog premaza i pocinčane čelične površine. Nakon temeljnog premaza koji je debljine $5-10 \mu\text{m}$ izvodi se pokrivni premaz koji se nanosi u dva sloja (različitih nijansi, radi kontrole), debljine min $30 \mu\text{m}$ svaki. Prema dosadašnjim iskustvima pokrivni premaz pocinčane konstrukcije trebalo bi vršiti s premazima na bazi cinka, tj. sa što većim postotkom cinka u prahu u sastavu smjese (KOROCINK-P, KOROCINK-T).

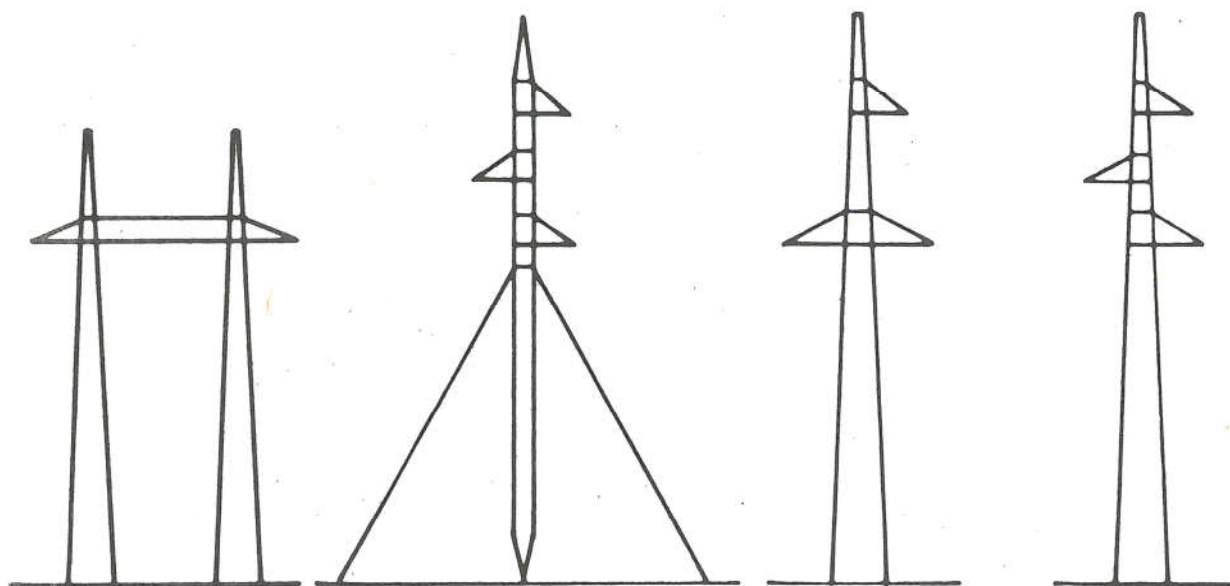
Rezultati istraživanja (L.4.12) trajnosti zaštite izvedene vrućim cinčanjem pokazuju da brzina propadanja zaštitnog sloja cinka ovisi o agresivnosti atmosferske sredine i iznosi $1-6 \mu\text{m}$ godišnje, a na nekim uzorcima izloženim u krugu industrijskog objekta uz more, brzina korozije je iznosila $10 \mu\text{m}$ godišnje u periodu od 6 godina. Za takve sredine zaštita izvedena samo vrućim cinčanjem nije dovoljna nego je, kao što i Pravilnik predviđa, potrebno primijeniti "dvostruke sisteme" zaštite, tj. cinčanje i nanošenje organskih premaza. Ova kombinirana zaštita primjenjuje se redovito na dalekovodima u priobalnom području i u industrijskim uvjetima.

Prema tim istraživanjima za čeličnu konstrukciju kojoj bi vijek trajanja trebao biti 20 godina dovoljna je prosječna debljina pocinčane zaštite od 70 do 80 μm . Primjenom dvostrukog sistema, znači nanošenjem još dvaju pokrivnih premaza, vijek konstrukcije se produžava zavisno od sredine za 5-10 godina. Redovitim pregledom antikorozivne zaštite i pravodobnim saniranjem lokalnih korozijskih oštećenja te obnavljanjem cijeloga pokrivnog premaza, vijek trajanja konstrukcije stupova se produžava.

U posljednje se vrijeme više ulaže u istraživanja kvalitete izrade antikorozivne zaštite u smislu produženja njenog trajanja. S tim u vezi obavljaju se ispitivanja kvalitete pocinčavanja čeličnih profila od različitih vrsta čelika. Naime primjećeno je da pocinčani profili izrađeni od čelika A kvalitete (ČN36-B1, Č.0561, umiren sa silicijem) nakon izvjesnog vremena dobiju tamniji ton na osnovi čega se sumnjalo u slabu kvalitetu cinčanja tih profila. Ispitivanja koja su u toku nisu ni dokazala niti opovrgla ovu sumnju jer je ipak potreban duži vremenski period kroz koji će se pratiti brzinu propadanja cinkove prevlake.

4.1.1.4. Izbor oblika stupa

Od početka primjene čeličnoredkastih konstrukcija za stupove dalekovoda tražio se optimalni oblik stupova za jednosistemske i dvosistemske dalekovode 110 kV. Na slici 4.1. prikazane su siluete nekih dosad primjenjivanih stupova za jednosistemske (3 vodiča i zaštitno uže) dalekovode 110 kV.



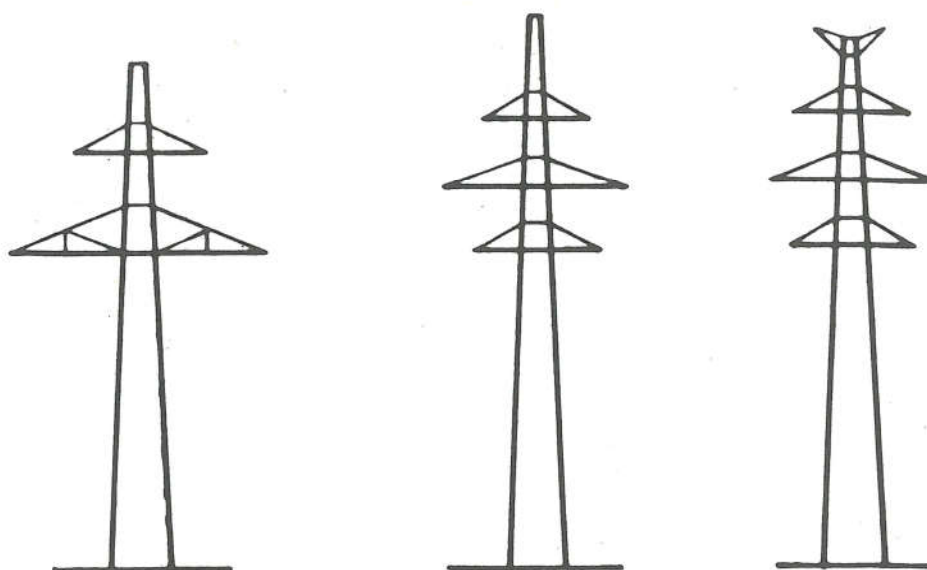
Siluate nekih dosad primjenjivanih stupova
Slika 4.1.

Prednost primjene portalnog stupa (slika 4.1.) je mala ukupna visina stupa, dok su nedostaci neiskorištenost konstrukcije za opterećenje vodova napona 110 kV, veće širine koridora, nužna upotreba dvaju zaštitnih užeta i teža upotreba na kosom terenu (različite visine stupova portala). Stup tipa "igla" (slika 4.1,b) ima prednost u maloj masi, međutim izvedba je relativno skupa, a primjena sidra za dalekovodne stupove nastoji se izbjegavati zbog velike površine terena koju sidra zauzimaju, teškoće kod izvedbe sidra na kosom i neravnom terenu te problema oko održavanja dalekovoda.

Stup sa siluetom na slici 4.1.c ima prednost što je težište opterećenja od vodiča smješteno niže, međutim to ne daje bitnije efekte na smanjenja mase stupa. Mana mu je što zahtijeva nešto veće širine koridora stupa na slici 4.1.d, nazvanog "jela", a osim toga nema mogućnost prilagođavanja konfiguraciji terena promjenom orijentacije konzola (vidi poglavlje 4.1.1.9).

Prema dosadašnjoj praksi gradjenja dalekovoda, kod nas i u svijetu, primjena stupa tipa "jela" je najrasprostranjenija za jednosistemske dalekovode 110 kV (3 vodiča, 1 zaštitno uže). Konstrukcija stupa je jednostavna, horizontalni razmak između krajnjih vodiča je takav da omogućuje koridore male širine, a estetski dojam je povoljan.

Kod gradnje dvosistemskih dalekovoda, manji broj vodova izgrađen je na stupu tipa "Dunav" (slika 4.2.a) koji je imao prednost što je težište napadnih sila opterećenja stavljeno niže, što daje određene uštede u masi stupa, a osim toga ukupna visina stupa je manja nego recimo stupa tipa "bačva" koji je prikazan na slici 4.2.b. Ipak zbog znatno manjeg raspona konzola stupa "bačva", a samim tim i manjeg potrebnog koridora, daje se prednost stupu tipa "bačva", tako da se danas gradnja dvosistemskih dalekovoda 110 kV (6 vodiča, 1 zaštitno uže) vrši isključivo sa tim stupovima tipa. U inozemstvu se susreću stupovi oblika bačva sa dva zaštitna užeta (slika 4.2.c) čime se postiže povoljnija zaštitna zona te povoljniji redukcionni faktori zaštitne užadi.



Silujete stupova dvosistemskih dalekovoda

Slika 4.2.

4.1.1.5. Vrste stupova

Osnovnim vrstama stupova smatraju se nosivi i zatezni stup, dakle stupovi koji nose užad i stupovi koji preuzimaju sile zatezanja užadi.

Karakteristika nosivih stupova je u tome što na njima nisu kruto pričvršćeni vodiči i zaštitna užad, tako da se na stupove u normalnim uvjetima opterećenja ne mogu prenositi jednostrane sile zatezanja vodiča i zaštitne užadi.

Karakteristika zateznih stupova je u tome što su vodiči i zaštitna užad kruto na njima pričvršćeni, tako da se na zatezne stupove prenose sile zatezanja vodiča i zaštitnog užeta.

Prema položaju u trasi, stupovi se mogu nalaziti u ravnoj trasi i tada ih nazivamo linijskim ili u kutu, to su kutni stupovi.

4.1.1.6. Osnovni dijelovi stupa

Na slici 4.3. prikazana je silueta jednog dalekovodnog stupa s oznakama osnovnih dijelova stupa.

H - nazivna visina stupa

H_k - vertikalni razmak konzola

H_v - visina vrha stupa

C_1, C_2, C_3 - raspon gornje, srednje i donje konzole

a - širina stupa po strani X

b - širina stupa po strani Y

p - prirast stupa ($p = \tan 2\alpha$)

L - duljina temeljnog dijela pojasnika

T - dubina temeljenja

kod nosivih stupova
pretežno

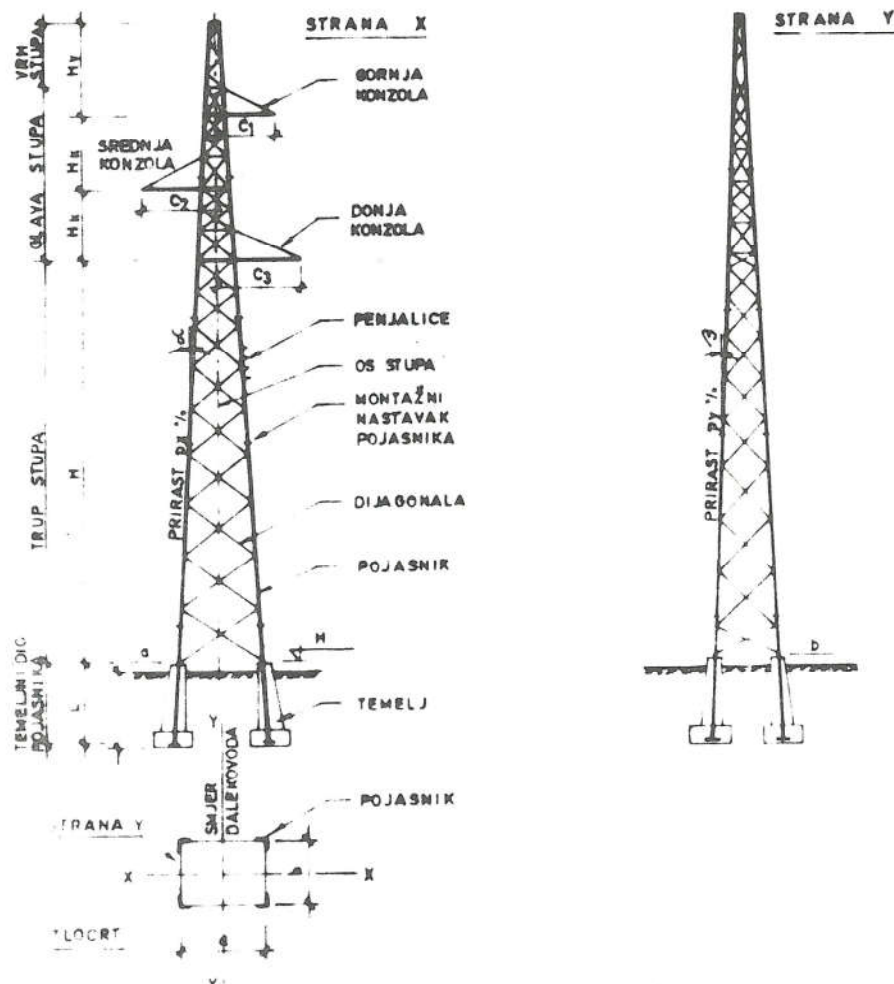
$$a > b$$

$$p_x > p_y (\alpha > \beta)$$

kod zateznih stupova
pretežno

$$a = b$$

$$p_x = p_y (\alpha = \beta)$$



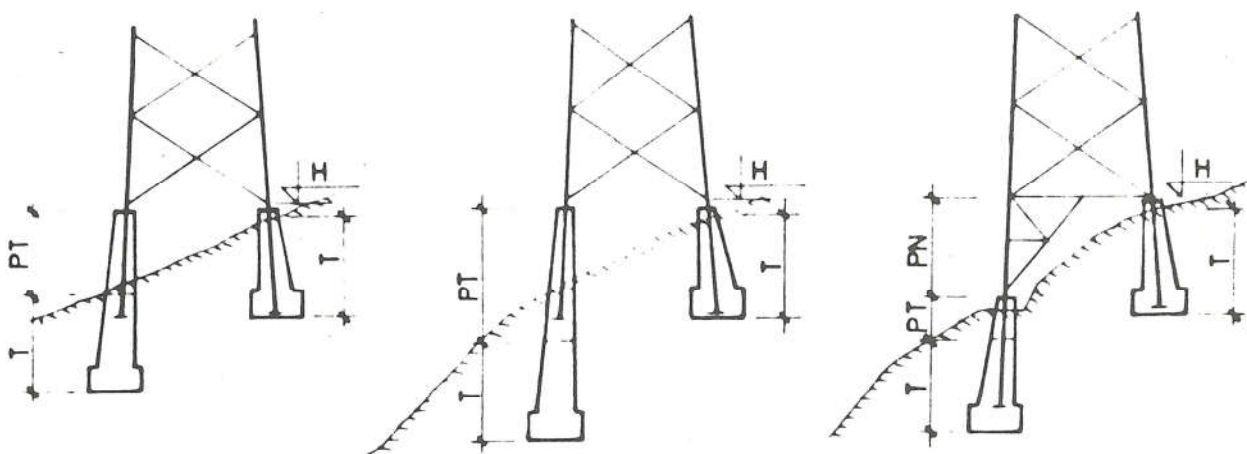
Stup dalekovoda s oznakama osnovnih dijelova
Slika 4.3.

Čeličnoretka konstrukcija sastoji se od četiri pojasnika i dijagonala ispunjene konzole. Pojasnici određene duljine nastavljaju se preko montažnih nastavaka s vijcima. Dijagonale ispunjene mogu biti jednostruke i dvostruke (križne) te se spajaju na pojasnike s vijcima isto kao štapovi konzola (horizontalni i kosi). Od 2,5 do 3,0 m iznad terena na pojasnike se montiraju penjalice u obliku vijka na razmacima 300 - 400 mm.

- Nazivna visina stupa (H) označava vertikalnu udaljenost od donje konzole do zadnjeg vijka na trupu stupa (0,10 m iznad krune temelja).
- Vertikalni razmak konzole (H_K) predstavlja vertikalnu udaljenost između mjesta zavješanja vodiča na konzolama.
- Visina vrha (H_V) je vertikalna udaljenost između zavješanja vodiča na gornjoj konzoli i vrha stupa (zavješanje zaštitnog užeta).
- Raspon konzola (C_j) je horizontalna udaljenost između mjesta zavješanja vodiča na vrhu konzole i osi stupa.
- Širina stupa (a, b) je horizontalni razmak između osi pojasnika. Stranica stupa u smjeru okomitom na vod označava se kao stranica x , a stranica stupa paralelna sa smjerom voda označava se kao stranica y . U principu, radi tehnologije izrade, stup po vertikali ima četiri dijela:
 - Temeljni dio pojasnika je dio pojasnika koji se fiksira betoniranjem temelja.
 - Duljina temeljnog dijela pojasnika je udaljenost između posljednjeg vijka za vezu dijagonala za pojasnik i donjeg ruba pojasnika u temelju. Na njegovu donjem rubu montirane su "papuče" dva kratka L profila pod kutem od 90° , koje služe za prijenos dijela vlačne sile pojasnika na temelj. Duljina temeljnog dijela pojasnika u pravilu se određuje prema najmanjoj dubini temelja na vodu.
 - Trup stupa je dio stupa od gornjeg ruba temelja do donje konzole.
 - Glava stupa je dio stupa od donje do gornje konzole
 - Vrh stupa je dio stupa od gornje konzole do najviše točke stupa.

4.1.1.7. Primjena konstrukcije stupova na kosom terenu

Pri projektiranju vodova na kosom terenu nastoji se, radi jednostavnosti izvedbe, denivelaciju terena rješavati povišenjima temelja (PT). To je moguće kod nagiba terena za koje se dobiju racionalna povišenja temelja od oko 1,50 m iznad terena (slika 4.4.a). Kod većih nagiba terena potrebno je izvršiti veća ukopavanja temelja da bi se dobila odgovarajuća sigurnost temelja u odnosu na širinu nosivog tla oko temelja (slika 4.4.b).



*Temeljenje stupova na kosom terenu
Slika 4.4.*

Time se dobivaju neracionalna povišenja od preko 2,50 m te u takvim slučajevima treba primjenjivati produljene noge (PN) konstrukcije stupa (slika 4.4.c). Ovisno o dubini ukopavanja i veličini povišenja, ponekad se u nivou krune temelja na konstrukciji stupa postavlja torzioni vez kojim se postiže veća stabilnost stupa u odnosu na mogućnost pomjeranja temelja. U slučaju primjene produljenih nogu torzioni vez je obavezan.

4.1.1.8. Geometrijski oblik stupa

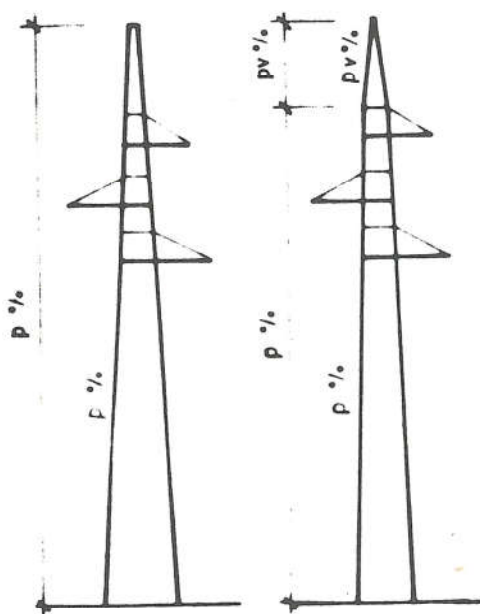
Kod određivanja geometrijskog oblika stupa treba voditi računa o statičkom aspektu - stabilnosti stupa, o ekonomskom aspektu - što manja masa stupa, te o estetskom aspektu. Tlocrtni oblik nosivih stupova je u većini slučajeva pravokutnik s dužom stranicom u smjeru okomitom na smjer voda, tj. u smjeru glavnog opterećenja nosivog stupa. Tlocrtni oblik zateznih stupova je u većini slučajeva kvadratičan.

Iz statičkih, ekonomskih i estetskih razloga stupovi se rade s prirastom - nagibom pojasnika. Statički momenti koji djeluju na pojasnike stupa zbog vanjskog horizontalnog opterećenja, najveći su pri dnu stupa, neposredno iznad temelja. Ti momenti raspoređuju se na pojasnike u vidu tlačne i vlačne sile u pojasnicima te se smanjuju prema vrhu stupa. Smanjivanjem širine stupa prema vrhu smanjuju se i duljine dijagonala, što ima statički efekt (manje duljine izvijanja) i ekonomski efekt (manje duljine dijagonala - manja težina dijagonala). Najjednostavnija konstrukcija stupa bila bi s paralelnim pojasnicima. Međutim to se

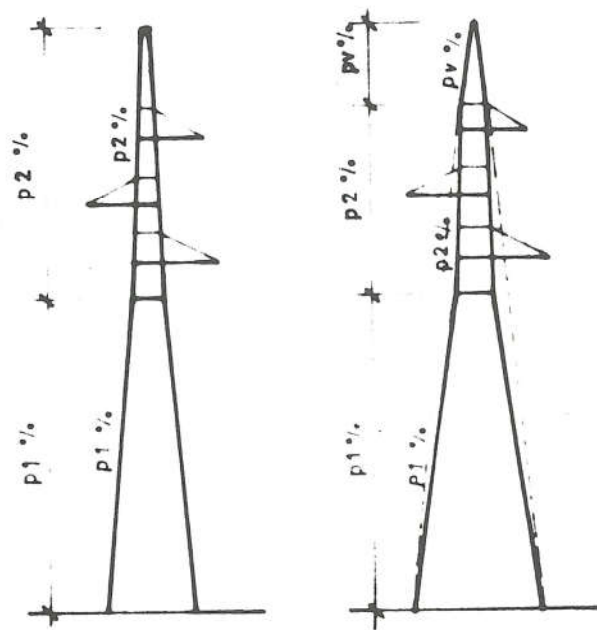
izbjegava iz ekonomskih razloga, zbog neracionalne duljine dijagonala u gornjoj polovici stupa te iz estetskih razloga jer je poznat optički fenomen da stupovi s paralelnim pojasnicima ostavljaju dojam kao da im se širina povećava prema vrhu stupa, što po općoj ocjeni ostavlja loš estetski dojam.

Prirast tj. ugao nagiba pojasnika u odnosu na vertikalnu os, kod nosivih je stupova zbog manjeg opterećenja manji nego kod zateznih stupova. Isto je tako kod nosivih stupova, iz razloga što je glavno opterećenje stupa u smjeru stranice x (okomito na os trase dalekovoda), prirast u tom smjeru veći nego prirast u smjeru manjeg opterećenja po stranici y .

Stupovi se rade s jednim ili više prirasta.



Stup jednakog prirasta
Slika 4.5.



Stup s lomom siluete
Slika 4.6.

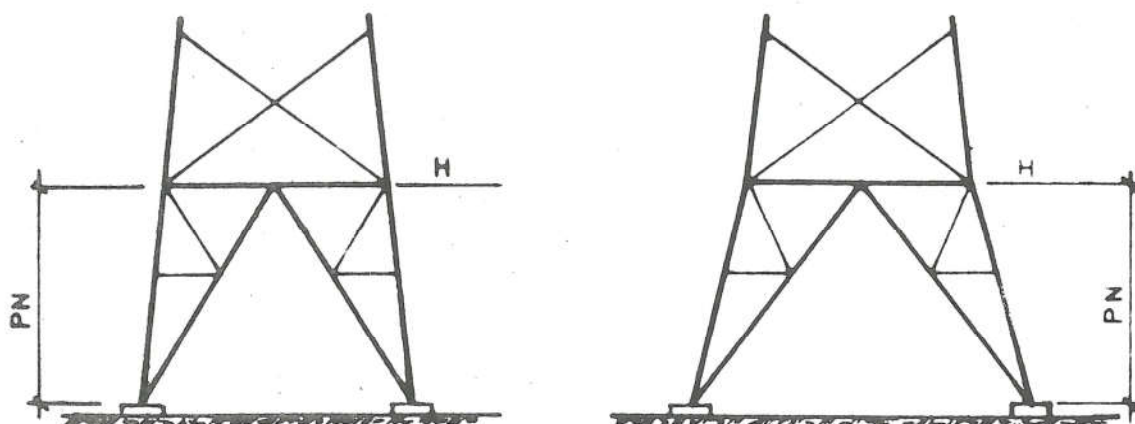
Kad stup ima određeni prirast (slika 4.5) znači da su trup i glava stupa u istom prirastu (nagib pojasnika). Zavisno od širine stupa u glavi stupa, može se i vrh stupa izvesti u istom prirastu kao trup i glava, a može vrh stupa imati drugi prirast. Stup sa dva prirasta (slika 4.6.) ili više prirasta zovemo stup s lomom siluete.

Kod stupova gdje su opterećenja manja u pravilu se konstrukcija izvodi s jednakim prirastom pomoću kojeg se može postići optimalna iskorištenost pojasnika i povoljan estetski dojam. Kod većih opterećenja potrebno je proširiti stup kako bi se dobila optimalna dimenzija profila pojasnika za najveće opterećenje i za

najveću visinu stupa. Ako bi se od te širine stupa (za najveću visinu) išlo s jednakim prirastom prema glavi i vrhu stupa, dobila bi se širina glave u nivou donje konzole i širine trupa u predjelu ispod donje konzole znatno veća nego što je potrebno. (Slika 4.6, crtkano označena silueta). Duljine dijagonala na tom dijelu maksimalnog opterećenja, bile bi velike, što je statički nepovoljno i rezultiralo bi većim profilima dijagonala, a samim tim i većom masom. Prevelika širina trupa i glave stupa na tom dijelu dovela bi do potrebe povećanja raspona konzola, što opet dovodi do povećanja opterećenja na dijagonale. Osim toga prevelika širina stupa u nivou donje konzole i ispod donje konzole obično rezultira nepovoljnim estetskim efektima isuviše širokog, "zdepastog" stupa. Iz tih razloga ide se na primjenu više prirasta za stupove koji imaju veća opterećenja, jer se na taj način postiže maksimalni efekt u smislu iskorištenja profila pojasnika i dijagonala, a estetski dojam takvih stupova je povoljan.

Kod većih opterećenja stupova ponekad se ukazuje potreba zadržavanja određene širine stupa ili zadržavanja određenog maksimalnog profila pojasnika i dijagonala. U tim slučajevima rade se stupovi sa sekundarnom ispunom, čime se smanjuju koeficijenti izvijanja elemenata. Drugo rješenje je primjena visokovrijednog čelika (Č.0561, ČN 36-B1) za izvedbu konstrukcije, čime se unatoč većim koeficijentima izvijanja te vrste čelika dobiju lakši profili što s obzirom na veću cijenu tog čelika ne dovodi i do manje cijene takvog stupa. Budući da pojasnici svojom težinom čine više od 50 % ukupne težine stupa, nastoji se da efekt iskorištenja bude što veći. Duljina pojasnika određena je dakle prije svega efektom iskorištenja, a zatim ograničenjima koja su u vezi s transportom i zaštitom od korozije. Nastoji se odrediti optimalnu duljinu kako bi se transport mogao obaviti sa standardnim transportnim sredstvima. Zaštita od korozije vrši se toplim cinčanjem, tj. elementi konstrukcije uranjaju se u kadu s rastopljenim cinkom. Duljine kada za činčanje su ograničavajući faktor duljine pojasnika te se nastoji da duljine pojasnika ne prelaze 9 m.

Osim na neravnom terenu (slika 4.4.c), primjena produljenih nogu prakticira se i na ravničarskim terenima. Nakon postavljanja produljenih nogu ("gaća") te betoniranja temelja, montaža trupa stupa vrši se od produljenih nogu naviše. Tako je moguće trup stupa tipizirati po nazivnim visinama, a razrada produljenih nogu vrši se prema uvjetima na terenu. Pojasnici produljenih nogu mogu biti u jednakom nagibu kao i pojasnici trupa stupa (slika 4.7.a), a mogu biti i u većem nagibu nego trup stupa (slika 7.7.b), što se naročito koristi kod stupova manjih širina, gdje se većim nagibom može dobiti veća širina stupa, što znatno olakšava izvedbu temelja, posebno u tlima s podzemnom vodom.



*Nagib pojasnika produljenih nogu
Slika 4.7.*

4.1.1.9. Orijentacija konzola na stupovima oblika "jela"

Kod stupova oblika "jela" izbor orijentacije konzola u osnovi je prepušten projektantu konkretnog dalekovoda.

Osnovni faktori na koje projektant treba da obrati pažnju i koji imaju najznačajniji utjecaj na orijentaciju konzola jesu:

- položaj voda u odnosu na najintenzivnije djelovanje vjetra
- konfiguracija terena
- prijelazi i približavanja postojećim objektima
- priključak ili rekonstrukcija nekog voda.

S obzirom na djelovanje vjetra na vod, a prema predviđenim rješenjima za postizanje sigurnosnih razmaka između otklonjenih izolatorskih lanaca i strujnih mostova od konstrukcije stupova i u slučaju gdje su gibljiva ovješena zaštitnog užeta, postiže se povećana sigurnost voda ako se dvije konzole i slobodni otklon zavješena zaštitnog užeta (od stupa) nalaze na stranama gdje se dozvoljava nesmetan otklon u smjeru vjetra. Ovakvi slučajevi česti su u Dalmaciji i Hrvatskom primorju gdje su vodovi položeni okomito na smjer vjetra.

Konfiguracija terena često ima vrlo značajan utjecaj na izbor orijentacije konzola. Ako je vod položen poprečno na padinu, i to na većim duljinama, u tom slučaju uz adekvatan izbor položaja konzola s odgovarajućim razmještajem stupova može se postići primjena nižih stupova, a time i manja izloženost i povećana pogonska sigurnost voda.

Kod pojedinih karakterističnih prijelaza postojećih objekata (energetski i telekomunikacijski, zgrade i sl.) često vrlo bitnu ulogu za postizanje sigurnosnih visina i udaljenosti može imati orijentacija konzola. Konkretno, orijentacijom konzola postiže se promjena mjesta križanja ili se pak radi različitih duljina konzola može postići razlika sigurnosne udaljenosti od oko 0,5 m, što u odgovarajućim slučajevima može imati vrlo veliku važnost.

U pojedinim slučajevima rekonstrukcije projektantima je položaj orijentacije konzola uvjetovan položajem postojećeg voda. U slučaju ako se radi o interpolacijama ili manjim rekonstrukcijama često nema ekonomskog i tehničkog opravdanja mijenjati položaj konzola, iako bi na prvi pogled drugačiji položaj bio prihvatljiviji. U takvim slučajevima potrebno je detaljnije razmotriti kompletnu problematiku i tek potom odlučiti o eventualnoj promjeni položaja konzola na novoj dionici.

4.1.1.10. Zaključak

Primjena čeličnorešetkaste konstrukcije za stupove nadzemnih vodova 110 kV potvrdila se u dosadašnjoj praksi te stoji kao opredjeljenje i za ubuduće. Moguće su promjene zavisno od prisutnosti asortimana standardnih profila na tržištu. Općenito, imajući na umu konkurentnost naših konstrukcija stupova na svjetskoj razini, posebno se osjeća nedostatak tankostijenih standardnih profila pomoću kojih se postižu lakši stupovi. Što se tiče oblika stupova, jasno je opredjeljenje za stupove oblika "jela" za izgradnju jednosistemskih vodova 110 kV i za stupove oblika "bačva" za izgradnju dvosistemskih vodova 110kV.

Nakon ispravno postavljenih uvjeta opterećenja stupova, osim pitanja stabilnosti stupova, osnovno o čemu se vodi računa je pitanje ekonomičnosti voda, što znači uz osiguranu stabilnost stupova izgraditi što jeftiniji vod. Imajući na umu stalan porast cijene čeliča, nameće se kao zadatak izrada što lakših stupova. Odgovarajućim izborom oblika i geometrije stupa te izradom više grupacija stupova za različite intenzitete opterećenja, može se postići maksimalna iskoristivost konstrukcije za zadane uvjete.

Treba reći da postići ekonomičnost ne znači projektirati najlakši stup za svako opterećenje, jer bi to dovelo do prevelikog broja tipova stupova. Treba odrediti optimalan broj stupova kojima se mogu zadovoljiti svi uvjeti opterećenja.

Slijedeći ciljeve tipizacije, daljnji korak je tipiziranje čelične konstrukcije stupova, što znači tipizaciju upotrijebljenih profila i vijaka te konstruktivnih detalja.

Naravno da se u trci za što lakšim stupom ne smije zaboraviti na estetske komponente stupa, jer je iz iskustva poznato da će se lakše "preboljeti" i malo teži stup na račun povoljnijeg estetskog dojma.

4.1.2. Dimenzioniranje glave stupa

4.1.2.1. Dimenzioniranje glave stupa prema postojećoj zakonskoj regulativi

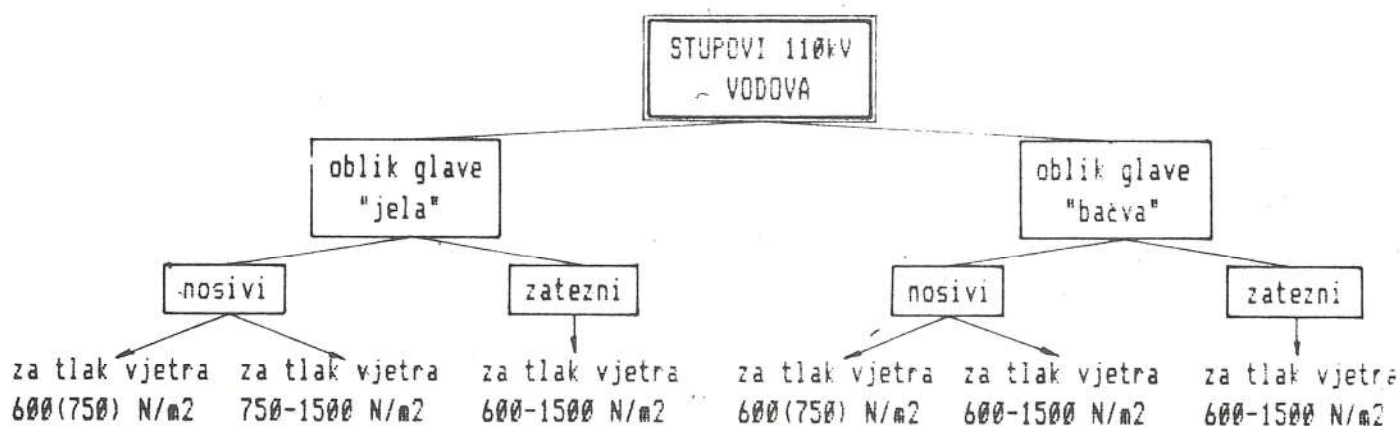
Oblik glave stupa determiniran je izborom siluete stupa, dok su osnovne dimenzije, međusobni razmaci između ovješnja izolacije vodiča i razmaci od ovješnja zaštitnog užeta, uvjetovani propisanim sigurnosnim razmacima:

- vodič - konstrukcija stupa
- vodič - vodič
- vodič - zaštitno uže

te otklonima izolatorskih lanaca i užeta.

Dimenzioniranje glave pretpostavlja određivanje osnovnih dimenzija za odabrano tipsko rješenje stupa na bazi pretpostavljenih uvjeta mehaničkog opterećenja, koji ni u jednom slučaju primjene tipskog stupa ne bi smjeli biti premašeni. Drugim riječima, jedan od osnovnih principa u dimenzioniranju glave stupa je taj da se, uz uvažavanje propisima definiranih sigurnosnih razmaka, odaberu takve dimenzije koje s jedne strane ne ograničavaju primjenu određenog stupa, a s druge nisu tako neracionalno velike da nepotrebno povećavaju ukupne dimenzije, a time i cijenu konstrukcije. Tu dolaze još i potrebna uskladjivanja s dimenzijama ostalih tipskih stupova iz iste serije, gdje također radi racionalizacije proizvodnje valja utvrditi osnovne dimenzije tako da se jednaki konstruktivni element primjenjuje na više različitih tipova stupova.

Prema osnovnim oblicima silueta, funkciji i području primjene stupovi 110 kV po ovoj tipizaciji grupirani su na način kako je prikazano na sl. 4.8.



Grupiranje stupova za vodove 110 kV

Slika 4.8.

Kao što se vidi, za nosive stupove odabrana su dva rješenja glava stupova s obzirom na osnovni tlak vjetra; za 600 N/m^2 s mogućnošću primjene za 750 N/m^2 za stupove više od 40 m i za veće tlakove vjetra do 1500 N/m^2 . Kod zateznih stupova glave stupova su jednakih veličina za sve tlakove vjetra, odnosno za sve klimatske zone. Mada bi se za svaki osnovni tlak vjetra, pa i različite vjetrovne i gravitacijske raspone mogle odrediti različite glave stupa, dimenzionirajući stup na minimalne razmake koje za takav slučaj dozvoljavaju propisi, takvo rješenje ne bi bilo racionalno ne samo zbog velikog broja različitih glava stupova već i zbog kompletne konstrukcije stupova.

4.1.2.1.1. Dimenzioniranje glave stupa s obzirom na propisane udaljenosti vodič-konstrukcija stupa

Prema Pravilniku (L1.6) za 110 kV vodove potrebna sigurnosna udaljenost vodič-konstrukcija stupa iznosi:

- 0,75 m za neotklonjene vodiče
- 0,55 m za otklonjene vodiče

Dimenzioniranje za neotklonjeni položaj vodiča pretpostavlja redovnu kontrolu sigurnosne udaljenosti vodiča i konstrukcije stupa neposredno ispod vodiča. Budući da smo se opredijelili za osnovne oblike stupa tipa "jela" i tipa "bačva", može se odmah konstatirati da je ovaj kriterij manje značajan za tip "jela" jer je u pitanju razmak između najvišeg faznog vodiča i donje konzole, ali je značajan za tip "bačva" jer direktno utječe na utvrđivanje vertikalnih razmaka između pojedinih konzola.

Sigurnosna udaljenost za otklonjene vodiče kontrolira se kod nosivih stupova pri otklonu izolatorskog lanca zavješnog na konzoli gdje su minimalne udaljenosti od stezaljke do konstrukcije stupa, odnosno kod zateznih stupova za strujne mostove zateznih izolatorskih lanaca.

Kontrole otklona nosivih izolatorskih lanaca

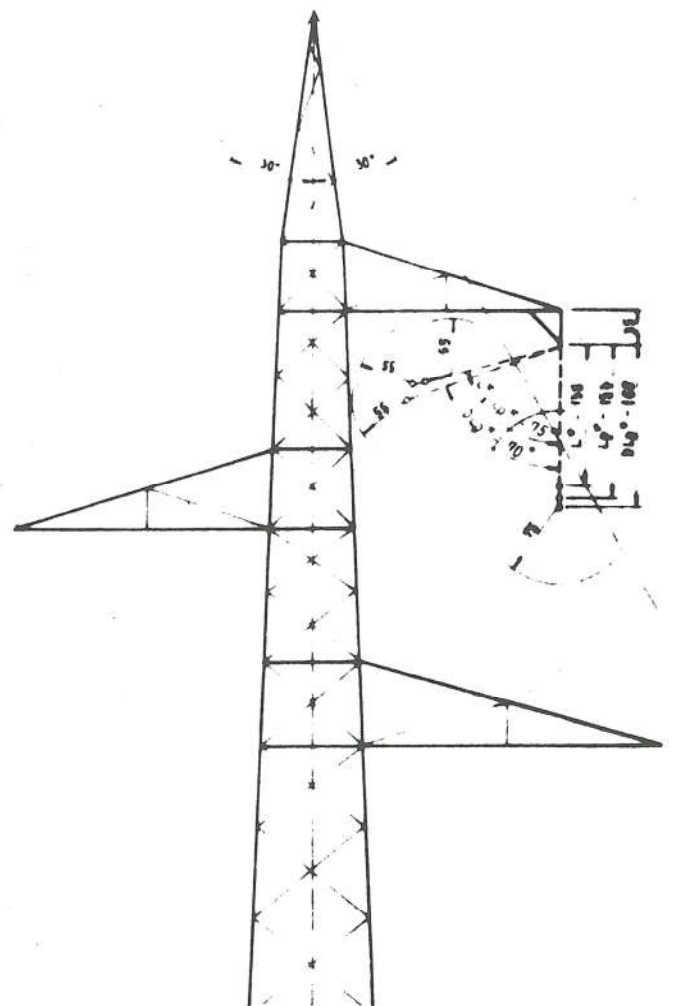
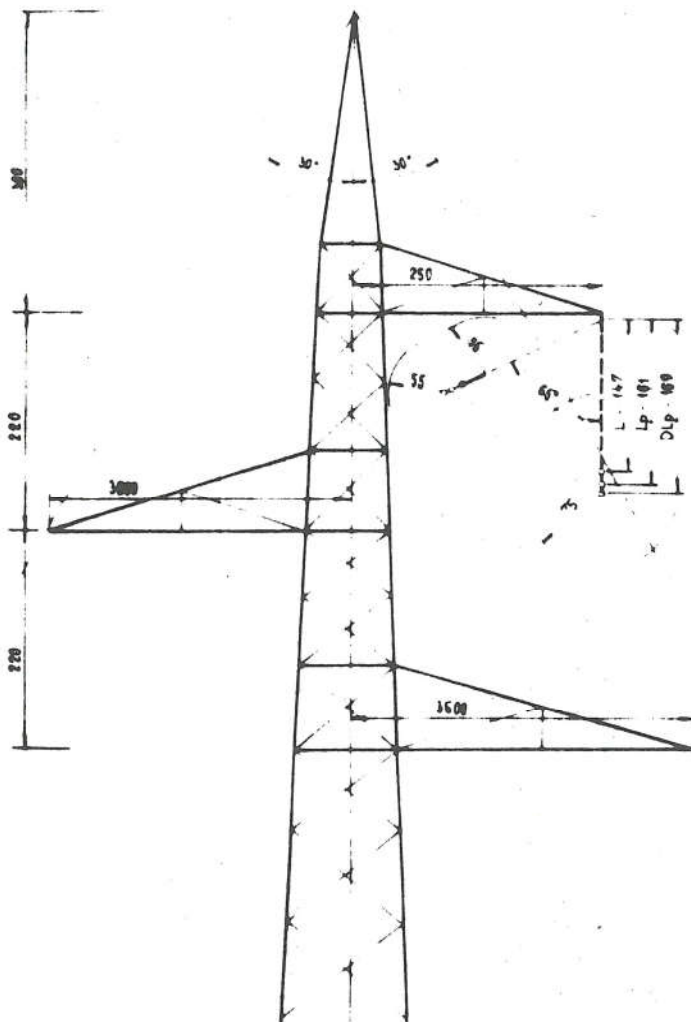
Na slikama 4.9. - 4.12. prikazane su glave nosivih stupova oblika "jela" i "bačva" i na njima su grafičkim putem određeni dopušteni kutovi otklona nosivih izolatorskih lanaca. Dopušteni otkloni razmotreni su za jednostruke (L), jednostruke električki pojačane (Lp) i dvostruke izolatorske lance (DLp). Kod toga su analizirani otkloni izolatorskih lanaca zavješnih pomoću zastavice i produžnika duljine 35 cm.

Na istim nacrtima ucrtane su i zaštitne zone (30°C), što je u skladu s važećim Pravilnikom. Iz nacрта je vidljivo da su na svim stupovima i predviđenim rješe-

njem priključka na stup svi vodiči u ravni stupa unutar propisane zaštitne zone. S obzirom da su provjesi vodiča u pravilu veći od provjesa zaštitnog užeta, to su zaštitne zone, odnosno kutovi između zaštitnog užeta i vodiča, u rasponu povoljniji nego na glavama stupova.

*Zavješanje izolatorskog lanca
pomoću zastavice*

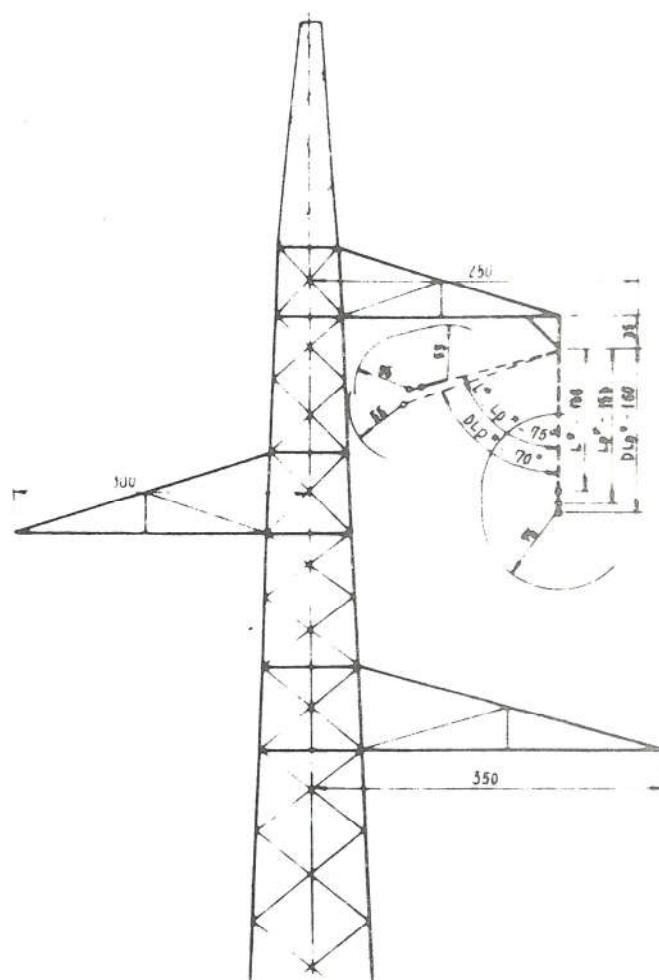
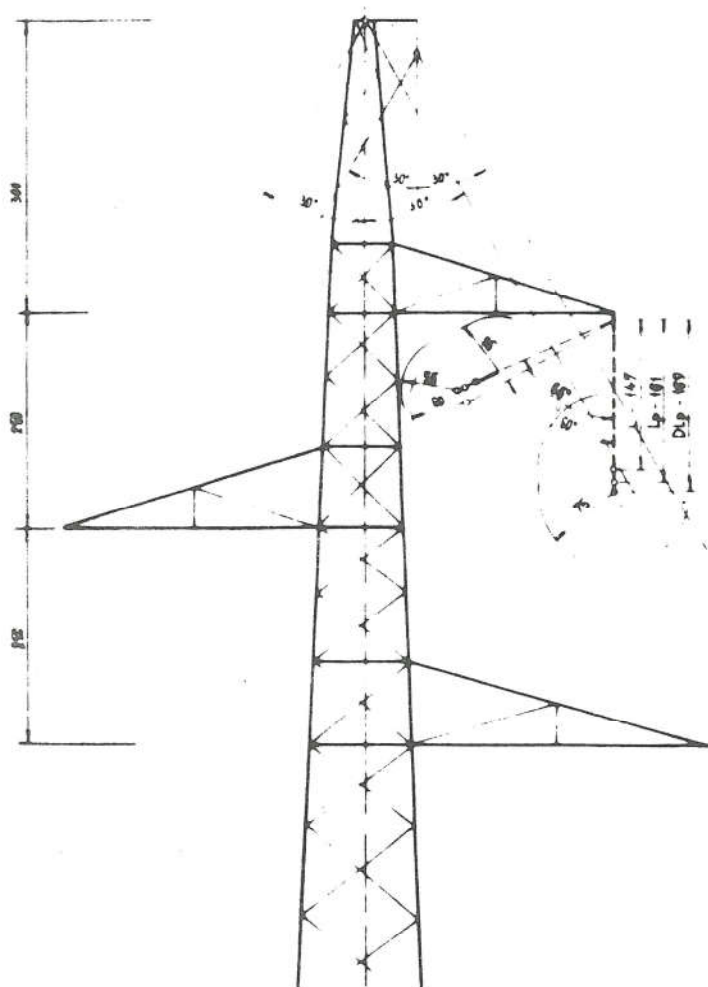
*Zavješanje izolatorskog
lanca
pomoću produžnika*



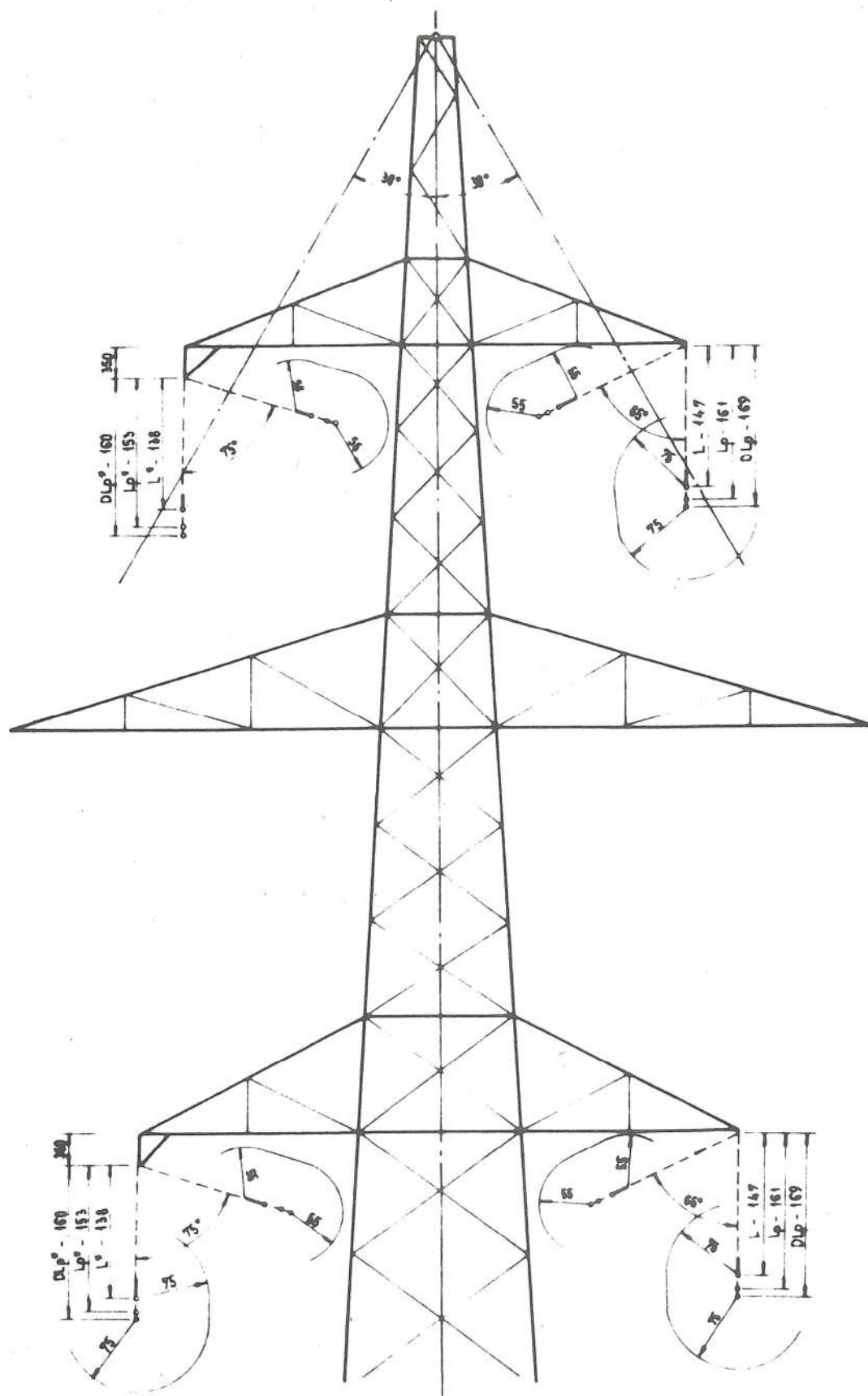
Stup "jela"
Zaštitna zona i dopušteni kutovi otklona izolatorskog lanca
[tlak vjetra 600(750) N/m²]
Slika 4.9.

Zavješanje izolatorskog lanca
pomoću zastavice

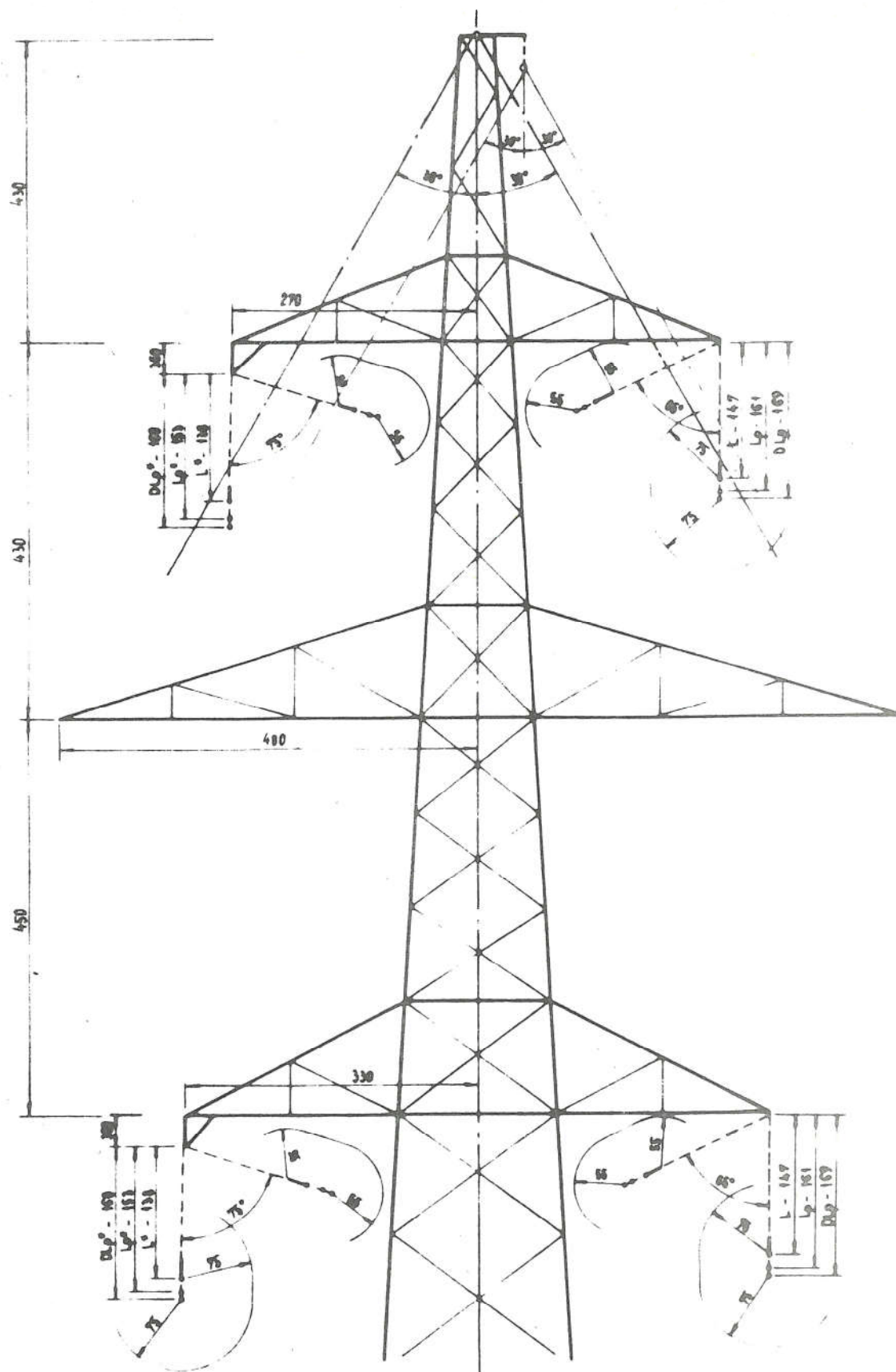
Zavješanje izolatorskog
lanca
pomoću produžnika



Stup "jela"
Zaštitna zona i dopušteni kutovi otklona izolatorskog lanca
(tlak vjetra 750/1 500 N/m²)
Slika 4.10.



Stup "bačva"
 Zaštitna zona i dopušteni kutovi otklona izolatorskog lanca
 [tlak vjetra 600(750) N/m²]
 Slika 4.11.



Stup "bačva"
 Zaštitna zona i dopušteni kutovi otklona izolatorskog lanca
 (tlak vjetra 750/1 500 N/m²)
 Slika 4.12.

Pregled dopuštenih kutova otklona nosivih izolatorskih lanaca za predviđene nosive stupove i izolatorski lanac nalazi se u tabl. 4.1.

Tablica 4.1.

Dopušteni kutovi otklona nosivih izolatorskih lanaca

Stup za tlak vjetra N/m^2	Izolatorski lanac	Dopušteni kut otklona (°) za zavješanje na	
		zastavicu	produžnik
"jela" 600 (750)	L	65	75
	Lp	65	75
	DLp	65	70
"jela" 750-1 500	L	65	75
	Lp	65	75
	DLp	60	70
"bačva" 600 (750)	L	65	75
	Lp	65	75
	DLp	65	75
"bačva" 750-1 500	L	65	75
	Lp	65	75
	DLp	65	75

Analiza otklona nosivih izolatorskih lanaca na postojećim vodovima

U svrhu dimenzioniranja glave nosivih stupova izvršili smo analizu otklona nosivih izolatorskih lanaca na postojećem 110 kV dalekovodu. Odabrano je 12 dalekovoda napona 110 kV ukupne duljini 244 km sa 732 stupa. Kod toga je oko 50 % ukupne duljine vodova bilo u zoni vjetra od $600 N/m^2$ a ostalo u zonama vjetra 900, 1 100 i 1 300 N/m^2 .

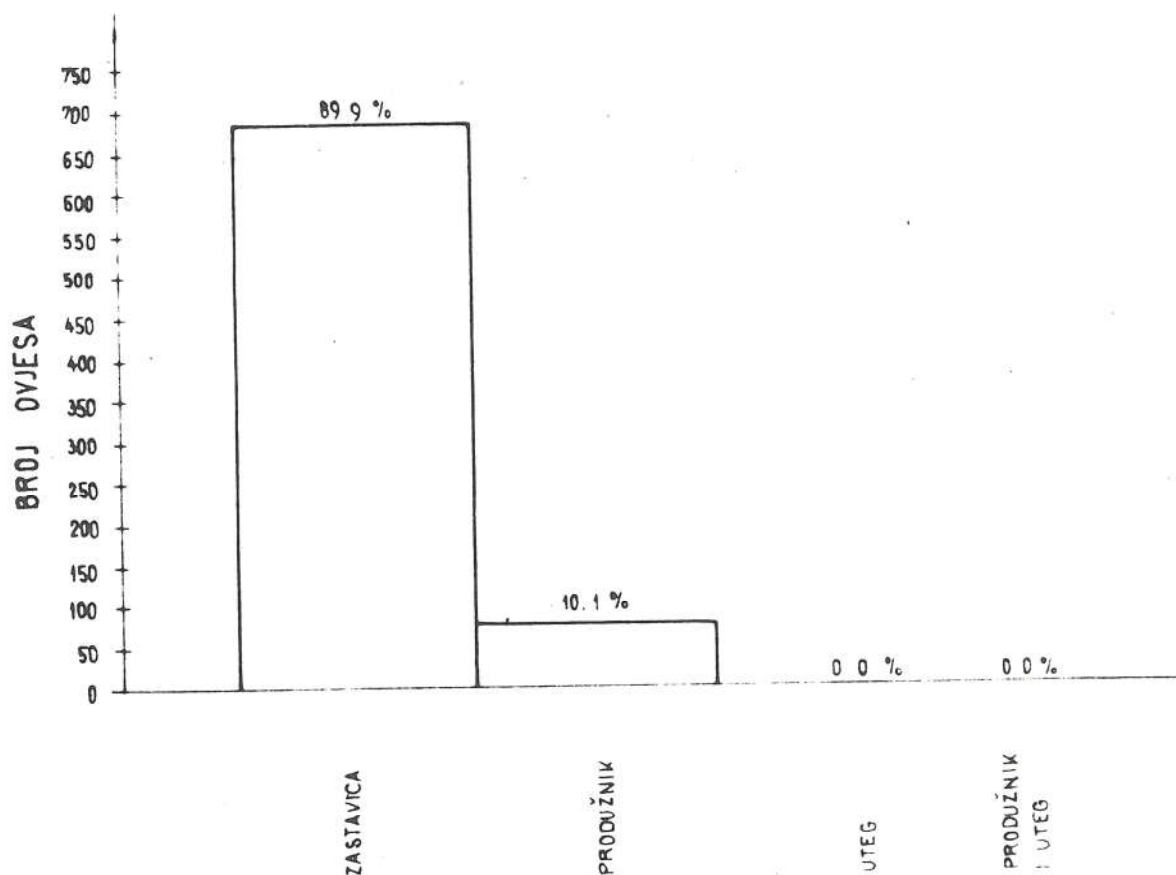
Analiza je provedena za:

- projektirana rješenja dopuštenih otklona
- ostvarene kutove otklona nosivih izolatorskih lanaca.

Obrada je obavljena na elektroničkom računalu, a rezultati su prikazani dijagramom.

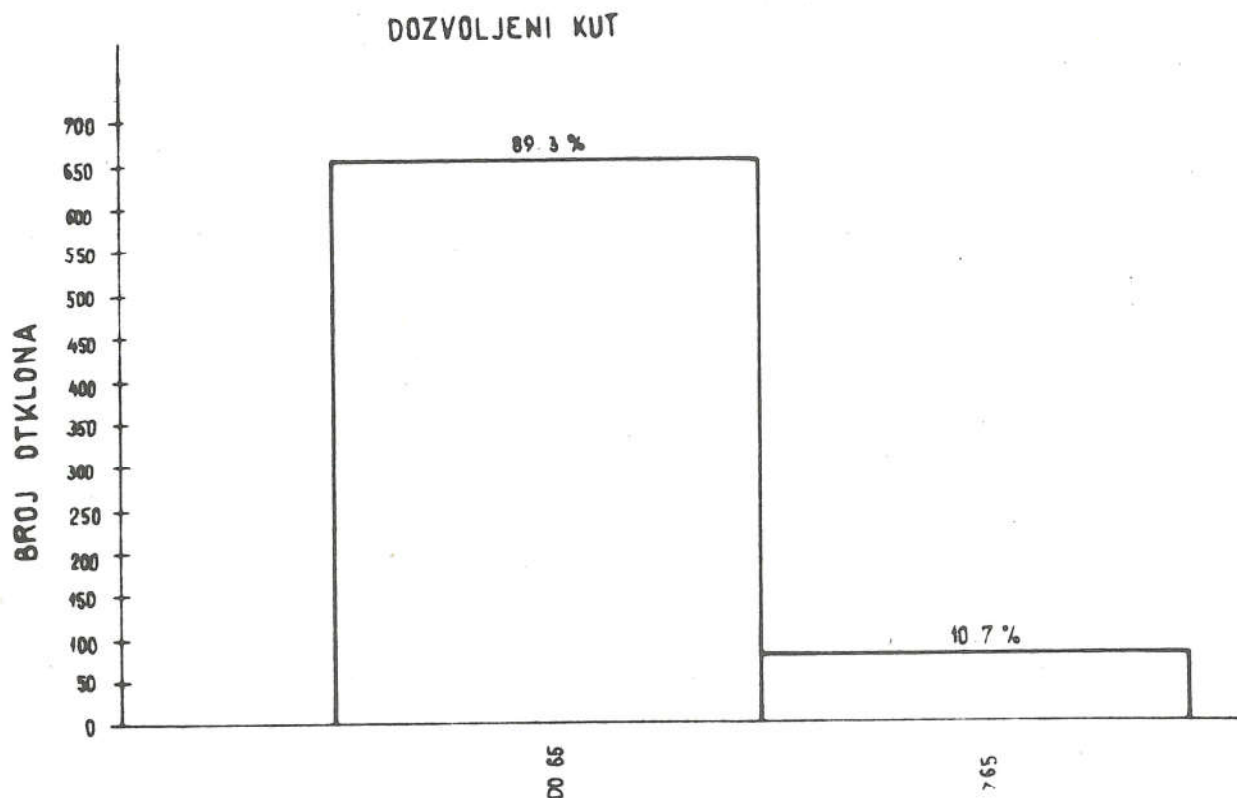
a) Projektirana rješenja dopuštenih kutova

Projektirana rješenja zavješnja nosivih izolatorskih lanaca izvršena su na stupove pomoću zastavice, odnosno u svrhu povećanja otklona preko produžnika. Kao dodatna mjera smanjenja otklona u pojedinim od analiziranih projekata bile su predviđene i mogućnosti primjene dodatnih utega koji bi se zavjesili na izolatorske lance. Međutim, kao što je vidljivo iz priloženih dijagrama, takva rješenja nisu primijenjena u analiziranim projektima, a na osnovi iskustva može se napomenuti da su rješenja prilično nepraktična i kao takva se u projektant-skoj praksi izbjegavaju. Na slici 4.13. prikazani je apsolutni iznos (broj ovjesa - stupova) i postotak primjene odgovarajućeg ovješnja na nosivom stupu. Uočljivo je da je gotovo 90 % slučajeva ovješnja riješeno pomoću zastavice kao elementa priključka nosivog izolatorskog lanca na stup, dok je u 10 % slučajeva primije-njen produžnik.



Projektirana rješenja ovješnja izolatorskih lanaca
Slika 4.13.

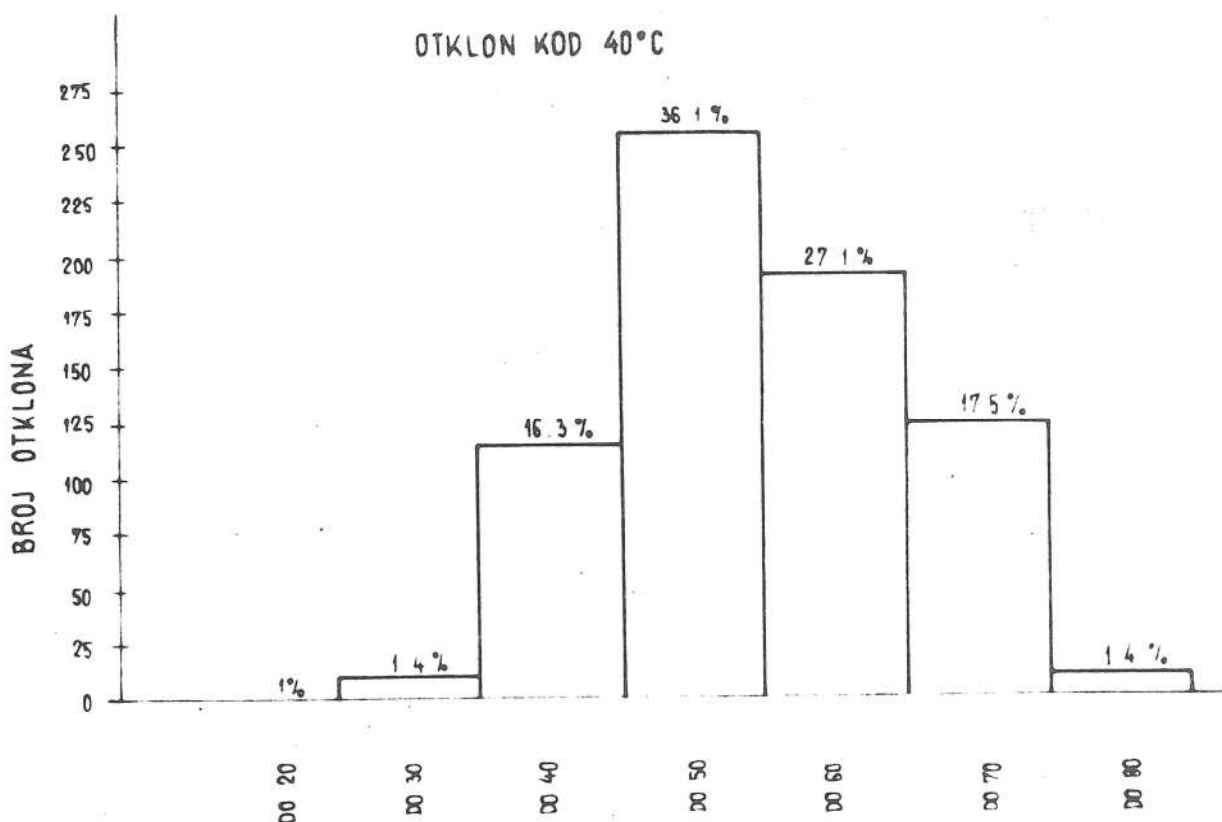
Na slici 4.14. prikazani su projektirani dozvoljeni kutovi otklona. Može se uočiti da u 89,3 % analiziranih stupova i projektiranih rješenja otklona nosivih izolatorskih lanaca dopušteni kut iznosi 65° , a samo u 10,1 % više od 65° .



*Projektirani dozvoljeni kutovi otklona izolatorskih lanaca
Slika 4.14.*

b) Ostvareni kutovi otklona nosivih izolatorskih lanaca

Prethodne analize dale su uvid u predviđene mogućnosti otklona nosivih izolatorskih lanaca. Sljedeća slika 4.15. daje pregled projektantski ostvarenih otklona nosivih izolatorskih lanaca na 732 analizirana stupa:



Ostvareni kutovi otklona izolatorskih lanaca
Slika 4.15.

Iz prikazanog dijagrama vidljivo je da se ukupno 81,1 % svih otklona nalazi u granicama do 60 °, odnosno 98,9 % je u granicama do 70 °. Rezultati ove analize bili su jedna od osnovnih postavki dimenzioniranja glava nosivih stupova, prvenstveno duljina konzola i mogućih širina trupova nosivih stupova, a vezano uz potrebnu zaštitnu zonu i vrhove stupova. Upravo prezentirani stvarni kutovi otklona nosivih izolatorskih lanaca potvrđuju ispravnost odabranih kutova vidljivih sa slika 4.13 - 4.15, odnosno prethodno pregledno prikazanih u tabl. 4.1.

Komentar otklona nosivih izolatorskih lanaca u odnosu na nove propise

U ovoj je studiji dimenzioniranje glava stupova s obzirom na potrebne razmake izvršeno u skladu s važećim propisima (L.1.6). S obzirom da su pripremljeni i nalaze se upravo pred izlaženjem novi propisi, te kako se pitanje sigurnosnih razmaka tretira na nešto drugačiji način, a budući da će tipski stupovi obuhvaćeni ovom studijom biti primjenjivani u periodu važnosti novih propisa, smatrali smo obavezom da razmotrimo tu problematiku.

Možemo konstatirati:

- Što se tiče minimalno potrebnih udaljenosti između užadi, za 110 kV vodove nema nikakve razlike između postojećih i novih propisa, tako da se dopušteni rasponi (obrađeno kasnije u točki 4.1.2.2) ni u čemu neće razlikovati.
- Sigurnosni razmaci kod vodova 110 kV definirani su za sljedeće uvjete:
 1. Za atmosferske prenapone: 75 cm. Ove udaljenosti odnose se na prilike bez vjetra. Dakle iznos je isti kao kod postojećih važećih propisa.
 2. Za slučajeve sklopnih i dugotrajnih prenapona: 70 cm. U ovom slučaju računa se s otklonima užeta i nosivih izolatorskih lanaca kod 15 % od tlaka vjetra mjerodavnog za to područje. Budući da su otkloni nosivih izolatorskih lanaca kod korigiranog tlaka vjetra, a ovisno o osnovnom tlaku vjetra, više od 3 puta manji od otklona kod mjerodavnog tlaka vjetra potrebnog za kontrolu otklona nosivih izolatorskih lanaca po postojećim važećim propisima, posebno provedenim kontrolama udaljenosti tako otklonjenih izolatorskih lanaca pokazalo se da su za sve postojeće nosive stupove 110 kV, te za stupove predviđene ovom tipizacijom, udaljenosti dijelova pod naponom od konstrukcije stupa znatno veće od potrebnih novim propisima.
 3. Za slučaj naponskih prilika kod industrijske frekvencije : 30 cm. Kod ovih naponskih prilika računa se s mjerodavnim otklonom izolatorskog lanca kod punog tlaka vjetra, odnosno za iste uvjete koji su bili određeni i po postojećim propisima, samo što je u tom slučaju minimalna sigurnosna udaljenost iznosila 55 cm.

Uzevši u obzir navedeno, evidentno je da će dimenzije glava stupova 110 kV, predviđene ovom studijom, u potpunosti zadovoljavati i za uvjete po novim propisima. Što više, kod istih otklona po novim propisima postići će se stanovite rezerve u udaljenostima (oko 25 cm) kod maksimalnih otklona, tako da će se i za dvostruke izolatorske lance moći dozvoliti isti otkloni kao kod jednostrukih (vidi tabl. 4.1.).

Rezerva u sigurnosnoj udaljenosti koja će se pojaviti prelaženjem na nove propise, za vodove 110 kV ne predstavlja veličinu koja bi skraćanjem konzole dovela do znatnijih ušteda na konstrukciji stupa te stoga ne smatramo potrebnim da se po stupanju na snagu novih propisa izvrše korekcije duljina konzola stupova 110 kV.

Međutim potrebno je napomenuti da su kod viših napona (220 kV a posebno kod 400 kV) razlike između potrebnih sigurnosnih udaljenosti između postojećih i novih propisa znatne te da ima ekonomskog razloga razmotriti njihov utjecaj na ukupne dimenzije glave stupa, što pored direktnog smanjenja mase stupa može znatno utjecati i na stabilnost konstrukcije.

Strujni mostovi na zateznim stupovima

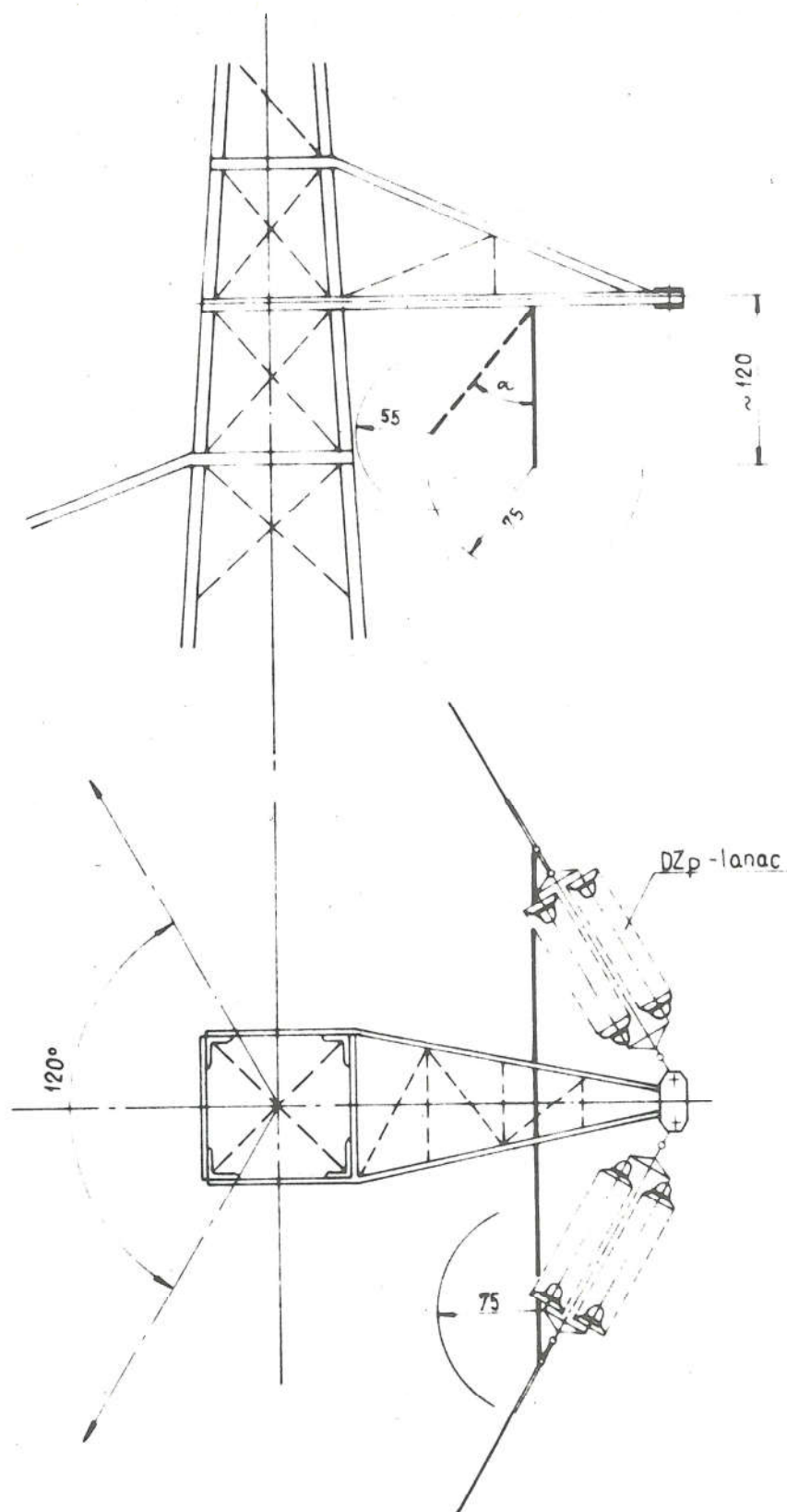
Strujni mostovi na zateznim stupovima 110 kV izvode se u pravilu između priključnih stezaljki zateznim izolatorskih lanaca. Za izvedbu strujnih mostova koristi se uže od istog materijala od kojeg je i vodič. Najčešće je da je strujni most jednostruk i od jednog komada užeta (na područjima s blažim klimatskim uvjetima), međutim na pojedinim područjima vrše se i pojačanja strujnim mostova izvedbom dvostrukih mostova ili se na osnovi iskustva radi osiguranja spoja premošćuju priključne stezaljke izolatorskih lanaca pomoćnim strujnim mostovima. Time se pored povećanja krutosti mosta dobiva i dvostruka strujna veza između vodiča i strujnog mosta, jer se je u pojedinim slučajevima pokazalo da je zbog učestalih otklona strujnog mosta dolazilo do lomova priključnih stezaljki ili užeta strujnog mosta u blizini stezaljke, što je izazivalo ustvari vrlo jednostavan kvar, ali često, ovisno o trenutnim klimatskim prilikama, nemogućnost brze intervencije i uspostavljanja redovnog pogona.

Prema raspoloživim podacima u našoj praksi nisu obavljena ispitivanja otklona strujnih mostova na zateznim stupovima. Navodimo da su ispitivanja obavljena na strujnim mostovima za 400 kV vodove, međutim radi primjene drugačije užadi i snopova te duljine užadi, dobiveni rezultati su neprimjenjivi za mostove 110 kV.

U nedostatku adekvatnih mjerenja koja bi se izvela u ispitnom tunelu uz primjenu različitih rješenja mostova i tlakova vjetra, u ovoj studiji navodimo samo podatke iz postojeće prakse izrade strujnih mostova. Na osnovi prakse može se konstatirati da se za vodove 110 kV izvode dubine (udaljenost između donjeg ruba konzole i tjemena strujnog mosta) od oko 110-120 cm, koje su se upraksi pokazale ispravnima.

Budući da ukupne duljine užadi strujnih mostova na zateznim stupovima 110 kV iznose 4-4,5 m te budući da znatan utjecaj na otklon strujnog mosta ima njegova krutost i kompletno zavješanje, te da ovom prilikom nismo vršili posebne proračune kutova otklona strujnih mostova, već preporučujući primjenu postojeće prakse izrade strujnih mostova na vodovima 110 kV predlažemo da se izvrše adekvatna ispitivanja, te da se s njihovim rezultatima naknadno dopuni ovu studiju.

Na slici 4.16. prikazan je detalj zateznog stupa sa strujnim mostom. Stup se nalazi u simetrali kuta loma od 120° , što je u uobičajenoj praksi projektiranja i izgradnje vodova 110 kV i minimalan kut loma trase. Na slici su ucrtane sigurnosne udaljenosti po postojećim propisima (L 1.6.). Uvaživši u prethodnoj točki komentar u pitanju sigurnosnih udaljenosti tretiranih novim propisima, evidentno je da isto važi za strujne mostove.



*Sigurnosne udaljenosti strujnih mostova
na zateznim stupovima
Slika 4.16.*

Proračuni otklona užeta i izolatorskih lanaca

Otklon užeta računa se po sljedećoj jednadžbi (kut otklona u stupnjevima)

$$\alpha = \arctan \frac{d \cdot p}{10 \cdot g},$$

gdje je: $d(m)$ - promjer užeta
 $p(N/m^2)$ - tlak vjetra
 $g(kg/m)$ - masa užeta.

Približavanje užeta konstrukciji stupa najosjetljivije je u ravnini stupa, odnosno u ravnini nosivih izolatorskih lanaca. U prethodnim razmatranjima dimenzioniranje glave stupa vođeno je računa o dimenzijama nosivih stupova s obzirom na moguće otklone nosivih izolatorskih lanaca i strujnih mostova na zateznim zavješanjima.

Treba istaći bitnu razliku u načinu proračunavanja maksimalnog kuta otklona na konkretnom primjeru kontrole pri projektiranju voda i određivanju maksimalnog dozvoljenog kuta otklona pri dimenzioniranju glave novo projektiranog stupa.

U prvom slučaju horizontalna i vertikalna opterećenja utvrđujemo za stvarne veličine i konfiguracije raspona, opterećenja vjetrom te odnose vjetrovnih i gravitacijskih raspona.

U drugom slučaju morali bismo poći od određenih pretpostavljenih odnosa, npr. maksimalnog vjetrovnog raspona za koji je sam stup dimenzioniran i minimalnog gravitacijskog raspona. Budući da pretjerano veliki kutovi otklona mogu negativno utjecati na stabilnost lanca i vodiča, a i dovesti do oštećenja prvih izolatora uz ovješnje lanca, praksa je pokazala opravdanim, kao što smo prethodno prikazali, da se dozvoljeni kut otklona ograniči na 75° , što automatski znači i određeno ograničenje u pogledu minimalnih vertikalnih opterećenja vodiča.

U skladu s propisima (L 1.6.) kut otklona izolatorskog lanca pri djelovanju vjetra iznosi (u stupnjevima):

$$\alpha = \arctan \frac{P}{G},$$

gdje je: $P(N) = P_v + 0,5 P_i$ - horizontalna sila na uže (P_v) i izolatorski lanac (P_i);

- tlak vjetra na izolatorski lanac (P_i) u nedostatku pouzdanih podataka uzima se u proračunima kao $P_i = 0,1 \cdot L \cdot n$, gdje je $L(m)$ ukupna duljina izolatorskog lanca za jednostruke lance $n=1$, a za izolatorske lance sastavljene od više paralelnih nizova (n), npr. dvostrukih $n=2$, kod eventualnih trostrukih $n=3$, itd;

$$G = G_v + 0,5 G_i \quad (N)$$

- vertikalna sila od vodiča (G_v) i izolatorskog lanca (G_i);
- horizontalna sila (P_v) od tlaka vjetra (p) na užu. Ovisna je o poluzbroju susjednih raspona ili tzv. vjetrovnom rasponu promatranog stupa (a), užeta, tlaka vjetra i koeficijentu djelovanja vjetra na užu (0,7 za jedno užu, 0,5 za snop):

$$P_v = 0,7 \cdot p \cdot d \cdot a_s \quad (N);$$

- vertikalna sila užeta (G_v) promatranog stupa, kod kontrole otklona nosivih izolatorskih lanaca, a u skladu s propisima, računa se za nezaleđeno užu. Vertikalna opterećenja vodiča određuje se kao suma vertikalnih komponenti vodiča u točki ovješnja za raspon lijevo i desno od ovješnja;
- vertikalna sila od izolatorskog lanca G_i predstavlja ukupnu silu sastavljenu od svih izolatora i ovjesne opreme u sastavu lanca.

4.1.2.1.2. Dopušteni električki rasponi

U točki 4.1.2.1.1. obrađene su kontrole dimenzioniranja glava stupova s obzirom na međusobne udaljenosti između dijelova pod naponom izolatorskih lanaca i konstrukcije stupa.

S obzirom na moguća približavanja vodiča prema vodiču i vodiča prema zaštitnom užetu, najnepovoljnija mjesta predstavljaju sredine raspona gdje zbog asinhronog gibanja užeta može doći do nedopuštenih udaljenosti, pa i preskoka.

U skladu s važećim propisima, uz napomenu da se ni po predloženim novim propisima koji su pred izlaženjem, ne predviđa se izmjena načina dimenzioniranja te se smatra da razmak u sredini raspona zadovoljava ako razmak između užadi kod $+ 40^\circ\text{C}$. iznosi najmanje

$$D = k \sqrt{(f + l)} + S_r \quad [\text{cm}],$$

gdje je:

- | | |
|------------|--|
| - f (cm) | - provjes užeta kod $+ 40^\circ\text{C}$ |
| - l (cm) | - duljina izolatorskog lanca kod zateznog izolatorskog lanca $l = 0$. |

- Sr (cm) - sigurnosni razmak (za vodove 110 kV 75 cm). Napominjemo da je kod dimenzioniranja po novim propisima mjerodavan sigurnosni razmak za uvjete kod atmosferskih prenapona (75 cm), dakle isti kao po važećim propisima.
- k - koeficijent ovisan o rasporedu užadi u rasponu.

Odredjivanje koeficijenta k:

- Pri horizontalnom rasporedu užadi:

$$k = 4 + \frac{\alpha}{25}, \text{ ali najmanje } k = 6.$$

Horizontalni raspored užadi za dimenzioniranje razmaka izmedju užadi mjerodavan je za slučajeve kada su vertikalne udaljenosti izmedju promatrane užadi manje od sigurnosnog razmaka (75 cm) promatrane užadi.

- Pri kosom rasporedu užadi:

$$k = 2 + \frac{\alpha}{10}, \text{ ali najmanje } k = 7$$

Kosi raspored užadi za dimenzioniranje razmaka izmedju užadi mjerodavan je za slučajeve kada su vertikalne i horizontalne udaljenosti izmedju promatrane užadi veće od sigurnosnog razmaka (75 cm).

- Pri vertikalnom rasporedu užadi:

$$k = 4 + \frac{\alpha}{5}, \text{ ali najmanje } k = 14.$$

Vertikalni raspored užadi za dimenzioniranje razmaka izmedju užadi mjerodavan je za slučajeve kada je horizontalna udaljenost izmedju promatrane užadi manja od sigurnosnog razmaka.

U navedenim koeficijentima k varijablu predstavlja kut otklona užeta α (stupnjeva). Za predvidjeni vodič po ovoj tipizaciji Al/Če uže 240/40 JUS N.C1.351 i zaštitno uže 95/55 E-Al Mgl/Če JUS N.C1.551 kutovi otklona užadi (tabl. 4.2.) izračunati su za tlakove vjetra 600, 750, 900, 1 100, 1 300 i 1 500 N/m².

Kut otklona užeta, računa se prema jednadžbi na strani 221.

Tablica 4.2.

Kutovi otklona užeta

U ž e	Kut otklona užeta (°) za tlak vjetra (N/m ²)					
	600	750	900	1 100	1 300	1 500
Al/Č uže 240/40	53,1	58,9	63,4	67,7	70,8	73,3
E-AlMg1/Č uže 95/55	53,6	59,5	63,8	68,1	71,2	73,6

Uvaživši izračunate kutove otklona užeta, u stupnjevima, izračunati su koeficijenti k i prikazani u tabl. 4.3.

Tablica 4.3

Koeficijent k u ovisnosti o rasporedu užeta

U ž e	Raspored užadi	Koeficijent k za tlak vjetra (N/m ²)					
		600	750	900	1 100	1 300	1500
Al/Č uže 240/40	a) horizon.	6,12	6,36	6,54	6,71	6,84	6,93
	b) kosi	7,31	7,9	8,34	8,77	9,09	9,31
	c) vert.	14,618	15,8	16,68	17,544	18,176	18,654
AlMglE/Č uže 95/55	a) horizon.	6,14	6,38	6,55	6,72	6,85	6,94
	b) kosi	7,36	7,94	8,38	8,81	9,12	9,35
	c) vert.	14,72	15,89	16,76	17,62	18,24	18,71

Za odabrane glave nosivih i zateznih stupova oblika "jela" i "bačva" proračun električnih raspona izvršen je tako da su za minimalni razmak između užeta na glavama stupova određeni maksimalno dopušteni provjesi kod tlakova vjetra za koje je odgovarajuća glava stupa predviđena (tabl. 4.4. do 4.7), a zatim su prema tablicama provjesa za odgovarajuća naprezanja i dodatne terete određeni maksimalno dopušteni rasponi.

Prethodnim sagledavanjima potrebnih razmaka u glavi stupa vezanih uz potrebne razmake između izolatorskih lanaca i dijelova pod naponom od konstrukcije te sagledavanjem optimalnih raspona na vodu 110 kV s uvažavanjem provjesa i minimalnih udaljenosti dijelova pod naponom od postojećih objekata, ocijenjeni su rasponi koji mogu zadovoljiti uobičajene raspone na vodu 110 kV i ostvariti primjenu stupova koji u pravilu ne prelaze ukupnu visinu od 40 m.

Takvim pristupom smatralo se optimalnim da se pri razradi tipskih stupova 110 kV obuhvati sljedeće:

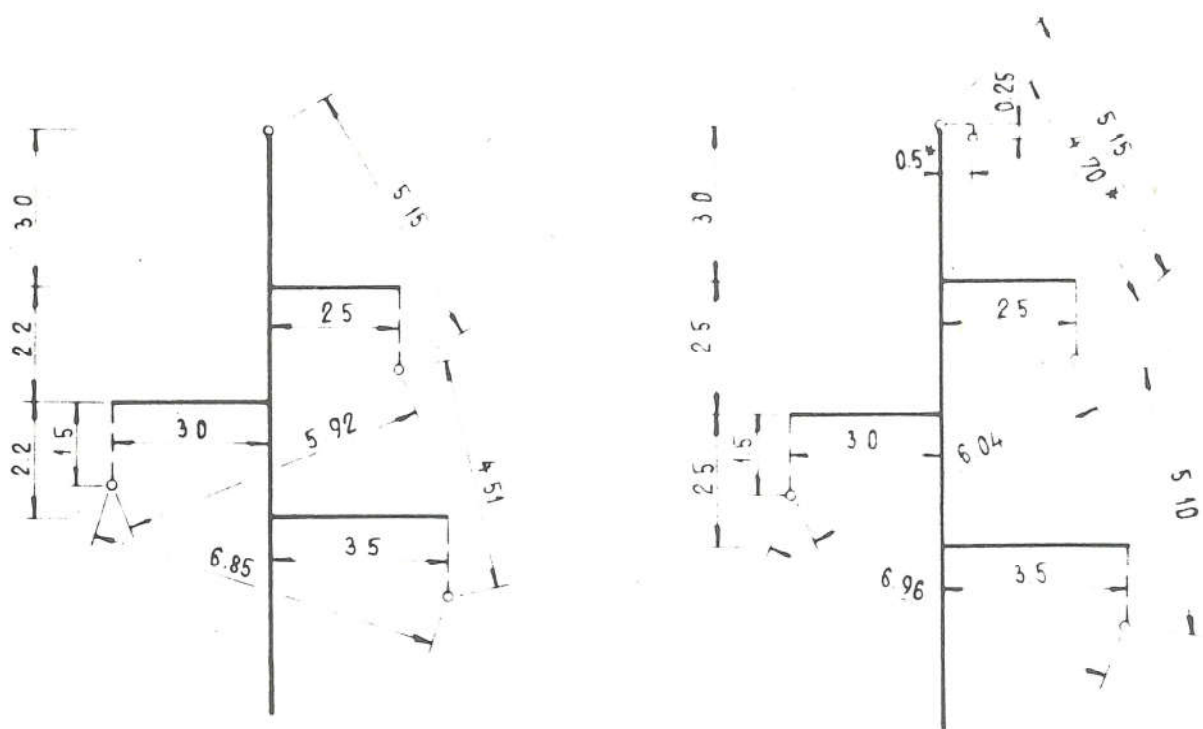
a) Nosivi stup

- Za stupove oblika "jela" i "bačva" predvidjeti po dvije veličine glave stupa
- Za klimatsku zonu s tlakom vjetra 600 N/m^2 , s tim da se izvrši kontrola stupa i za tlak vjetra 750 N/m^2 čime se i u slučaju potrebe omogućuje primjena stupa visina većih od 40 m, kao i u pojedinim slučajevima za područje s tlakom vjetra 750 N/m^2 . U ovom dijelu studije stupove za te klimatske prilike označavali smo bez odgovarajuće tipske oznake, samo kao stupove za tlak vjetra $600 (750) \text{ N/m}^2$.
- Za klimatske zone s tlakovima vjetra od 750 do $1\,500 \text{ N/m}^2$ predvidjeli smo druge dimenzije glava stupova oblika "jela" i "bačva". Dok se kod stupova oblika "jela" dimenzije glave razlikuju samo u vertikalnim razmacima između konzola (u odnosu na glave oblika "jela" pod a) kod stupova oblika "bačva", zbog većih opterećenja stupova, nešto širih dimenzija trupa stupa te potrebe većih razmaka između užadi, za postizanje adekvatnih raspona dimenzije duljina konzola, vertikalne udaljenosti između konzola i visina vrha veće su od odgovarajućih kod nosivih stupova iz točke a. S obzirom na primjenu stupova u klimatskim zonama s većim i vrlo velikim tlakovima vjetra predvidjeli smo kod ovih stupova mogućnost montaže dodatne konzole na vrhu stupa preko koje se omogućuje gibljivo zavješeno zaštitne užadi i time osiguravaju manji diferencijalni vlakovi na stupu. Duljine konzola i predviđena rješenja zavješeno omogućuju postizanje propisane zaštitne zone u glavi stupa.

b) Zatezni stup

Uvažavajući činjenicu da je učešće zateznih stupova na trasi voda predviđeno u pravilu na kutovima loma trase, a budući da propisi dozvoljavaju primjenu nosi-

vih stupova na kutovima loma trase do 5 °, što dodatno omogućuje rješavanje velikog broja stupnih mjesta s primjenom nosivih stupova, to smanjuje potrebu učešća zateznih stupova na vodu, odnosno ukazuje na mogućnost i ekonomsko opravdanje primjene manjeg broja zateznih stupova za rješavanje većeg broja stupnih mjesta, kako u pitanju opterećenja tako i u pitanju zadovoljenja razmaka između užadi. U tom smislu smatrali smo opravdanim da se sa po jednom dimenzijom glave stupa za stupove oblika "jela" i "bačva" zadovolje svi slučajevi klimatskih i mehaničkih opterećenja stupova. Da se naprijed navedeno ne bi krivo shvatilo, smatramo potrebnim ukazati da se u stvari radi samo o jednoj veličini glave stupa za udaljenosti između pojedinih zavješanja, dok su same dimenzije elemenata (konstrukcije) glave stupa rezultat dalje razrade odgovarajućeg tipa stupa, u vezi s grupiranim opterećenjem za koje je potrebno da stup statički zadovoljava.

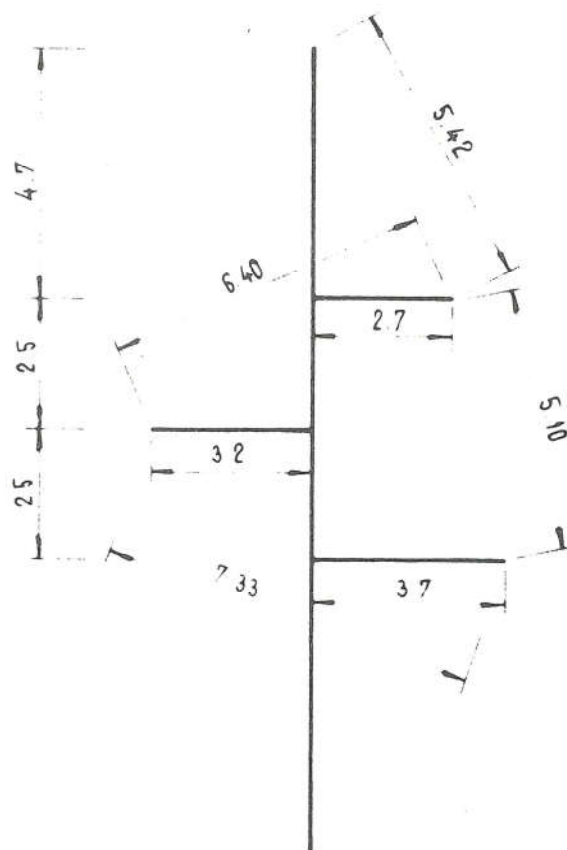


tlak vjetra 600 (750) N/m^2

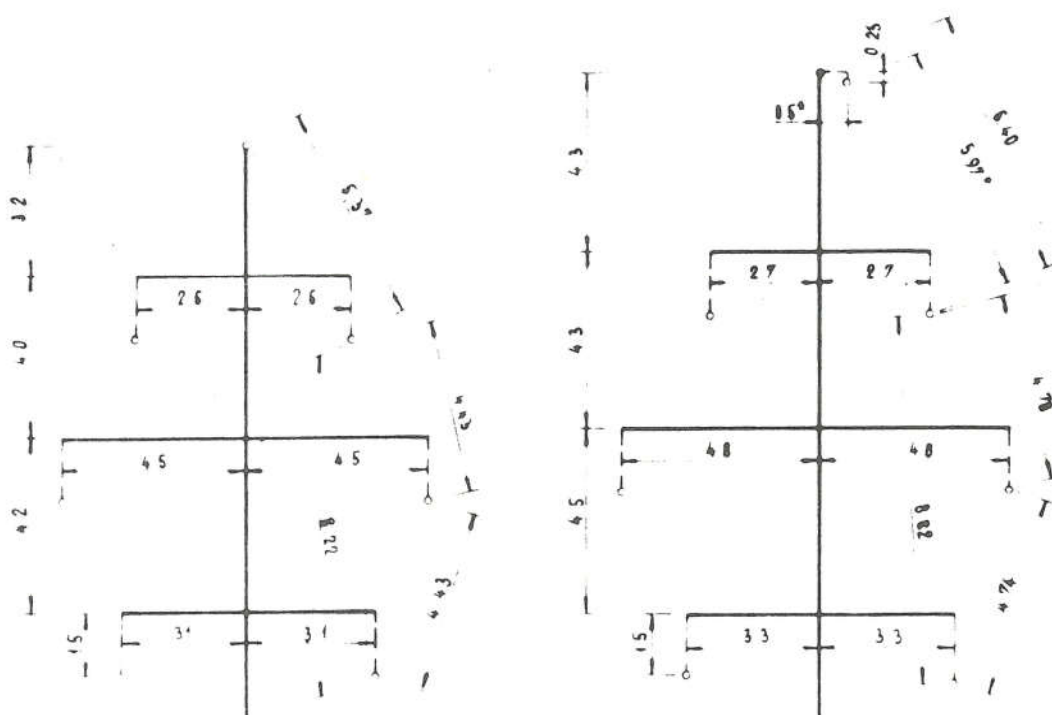
tlak vjetra 750 - 1500 N/m^2

Skice glave nosivog stupa oblika "jela"

Slika 4.17.



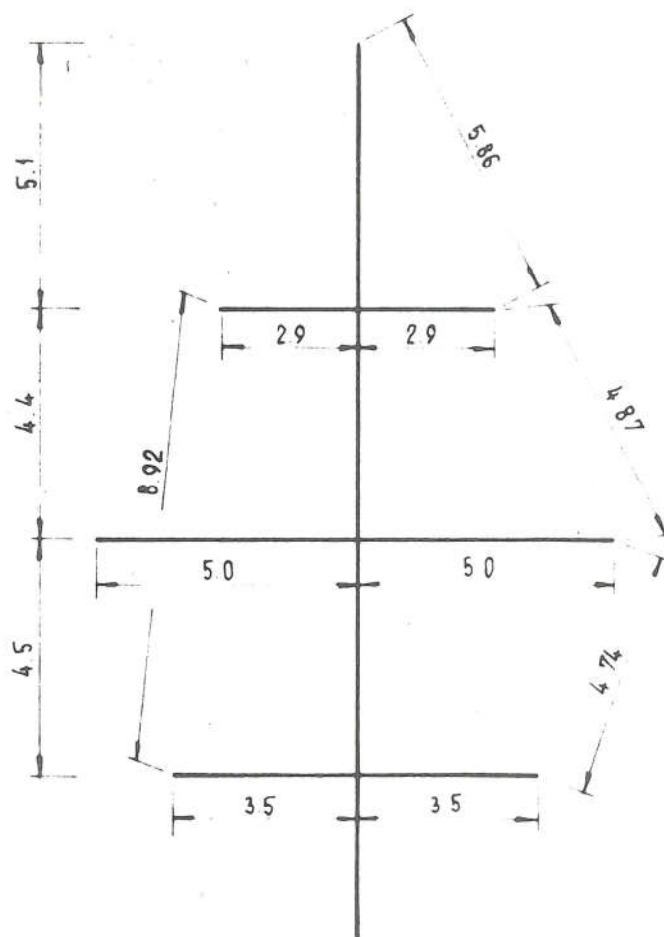
Skica glave zateznog stupa oblika "jela"
Slika 4.18.



tlak vjetra 600 (750) N/m^2

tlak vjetra 750 - 1 500 N/m^2

Skica glave nosivog stupa oblika "bačva"
Slika 4.19.



Skica glave zateznog stupa oblika "bačva"
Slika 4.20.

4.1.2.1.3. Maksimalno dopušteni provjesi

U tablicama 4.4 - 4.7. nalaze se rezultati proračuna maksimalno dopuštenih provjesa za sve predviđene glave stupova i tlakove vjetra.

U tablicama pojedine dodatne oznake odnose se na:

- a) horizontalni raspored užadi
- b) kosi raspored užadi
- c) vertikalni raspored užadi.
- * slučaj zavješanja zaštitnog užeta preko dodatne konzole na vrhu stupa

Takodjer treba uzeti u obzir sljedeće napomene:

- Pri odredjivanju minimalnih razmaka izmedju vodiča i zaštitnog užeta na glavama nosivih stupova računato je s minimalnom duljinom nosnog izolatorskog lanca, dok je u proračunu maksimalno dopuštenog provjesa, takodjer kod nosivih stupova, računato s najvećom duljinom nosivog izolatorskog lanca (dvostruki nosivi pojačani - 160 cm), jer se na taj način dobivaju najmanji dopušteni provjesi. Kod primjene kraćih nosivih izolatorskih lanaca, ako se u konkretnom slučaju ne radi o potrebi maksimalnog iskorištenja dopuštenog raspona, nepotrebno je vršiti kontrolu dopuštenoga električkog raspona, jer se upotrebom kraćeg nosivog izolatorskog lanca za oko 10 cm praktički dobiva svega oko 1 m na povećanju dopuštenog raspona.

Takodjer napominjemo da smo za slučaj zavješanja zaštitnog užeta preko dodatne (izbačene) konzole za mjerodavni provjes računali s razmakom izmedju vodiča, s obzirom da je kod izbora naprezanja užeta predviđena razlika izmedju provjesa vodiča i zaštitnog užeta, koja pokriva smanjenje udaljenosti (zaštitno uže - gornji vodič) nastala ugradnjom dodatne konzole za zaštitno uže. Budući da se navedenom razlikom provjesa vodiča i zaštitnog užeta dobivaju mjerodavni razmaci za proračun dopuštenog provjesa upravo izmedju vodiča, te kako su u pravilu vodiči zategnuti s jednakim naprezanjima, to su razmaci izmedju vodiča na glavama stupova jednaki razmacima u rasponu za koje smo i proveli slijedeće proračune maksimalno dopuštenih provjesa i kasnije raspona.

Tablica 4.4.

Maksimalno dopušteni provjesi (cm) za nosivi stup oblika "jela"

Stup za tlak vjetra (N/m ²)	Tlak vjetra N/m ²	Maksimalno dopušteni provjesi (cm)	
		vodič	zaštitno uže
600(750)	600	2 486	3 415
	750	2 105	2 906
750-1 500	750	2 872 (2 340) *	2 906 (2 311) *
	900	2 560 (2 083) *	2 595 (2 060) *
	1 100	2 299 (1 868) *	2 335 (1 850) *
	1 300	2 131 (1 729) *	2 167 (1 715) *
	1 500	2 014 (1 633) *	2 051 (1 622) *

Tablica 4.5.

Maksimalno dopušteni provjesi (cm) za nosivi stup oblika "bačva"

Stup za tlak vjetra (N/m ²)	Tlak vjetra N/m ²	Maksimalno dopušteni provjesi (cm)			
		vodič		zaštitno uže	
		b)	c)	a)	
600(750)	600	2 375	2 686	3 781	—
	750	2 010	2 686	3 075	-
750-1 500	750	2 391	3 162	4 896	(4 155) *
	900	2 128	2 827	4 383	(3 718) *
	1 100	1 908	2 510	3 954	(3 551) *
	1 300	1 767	2 318	3 677	(3 115) *
	1 500	1 669	2 171	3 486	(2 952) *

Tablica 4.6.

Maksimalno dopušteni provjesi (cm) za zatezni stup oblika "jela"

Tlak vjetra (N/m ²)	Maksimalno dopušten provjes (cm)	
	vodič	zaštitno uže
600	3 542	4 027
750	3 032	3 554
900	2 720	3 104
1 100	2 459	2 810
1 300	2 291	2 621
1 500	2 174	2 491

Tablica 4.7.

Maksimalno dopušteni provjesi (cm) za zatezni stup oblika "bačva"

Tlak vjetra (N/m ²)	Maksimalno dopušteni provjes (cm)		
	vodič		zaštitno uže
	a)	b)	a)
600	2 980	3 405	4 821
750	2 551	3 405	4 135
900	2 228	3 097	3 716
1 100	2 068	2 762	3 365
1 300	1 927	2 550	3 139
1 500	1 829	2 406	2 982

4.1.2.1.4 Maksimalno dopušteni rasponi

Na osnovi maksimalno dopuštenih provjesa za predviđene glave stupova (tabel.4.4 - 4.7) te na osnovi tablica provjesa za predviđena maksimalna radna naprezanja izračunati su maksimalno dopušteni rasponi za faktore dodatnih tereta 1,0; 1,6; 2,5 i 4,0. Dobiveni rezultati nalaze se tabel.4.8 do 4.17.

Tablica 4.8.

Dopušteni rasponi za stup oblika "jela" za tlak vjetra 600 i 750 N/m²

	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 600 N/m ²	95	533	476	414	349
	90	520	463	402	339
	80	489	435	379	319
	65	439	392	340	287
	60	423	376	326	275
	50	386	343	298	251
	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 750 N/m ²	95	490	441	381	320
	90	476	425	370	312
	80	449	400	348	294
	65	404	360	313	264
	60	388	346	300	253
	50	355	315	274	231

Tablica 4.9.

Dopušteni rasponi za stup oblika "jela" za tlak vjetra 750, 900 i 1 100 N/m²

	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 750 N / m ²	95	574	512	445	375
	90	560	497	432	364
	80	526	468	407	343
	65	474	421	366	308
	60	452	405	351	296
	50	416	369	319	276
	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 900 N / m ²	95	542	483	420	354
	90	527	469	408	344
	80	496	442	388	324
	65	451	398	345	291
	60	429	382	331	280
	50	392	348	302	254

		Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			

		1,0	1,6	2,5	4,0
P = 1100 N / m ²	95	513	457	399	336
	90	499	445	387	326
	80	469	419	364	307
	65	423	376	327	276
	60	406	361	314	265
	50	371	330	286	241

Tablica 4.10.

Dopušteni rasponi za stup oblika "jela" tlak vjetra 1 300 i 1 500 N/m²

	Maksimalno radno naprežanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 1300 N/m ²	95	493	440	383	323
	90	480	428	372	314
	80	451	403	350	296
	65	407	362	315	266
	60	391	348	302	255
	50	357	317	275	232
	Maksimalno radno naprežanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 1500 N/m ²	95	479	428	372	314
	90	466	416	362	306
	80	439	391	341	287
	65	395	352	306	259
	60	380	338	294	248
	50	347	308	268	226

Tablica 4.11.

Dopušteni rasponi za zatezni stup oblika "jela" za tlak vjetra 600,750 i 900 N/m²

	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 600 N/m ²	95	639	568	493	419
	90	621	553	480	404
	80	585	520	452	381
	65	527	468	406	342
	60	506	450	390	328
	50	462	410	355	299
	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 750 N/m ²	95	590	526	457	385
	90	574	511	444	374
	80	541	481	419	352
	65	487	433	376	317
	60	468	416	361	304
	50	427	379	329	277

	Maksimalno radno naprežanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 900 N / m ²	95	559	501	433	365
	90	543	484	421	355
	80	512	456	396	334
	65	461	410	356	299
	60	443	394	342	288
	50	404	359	311	262

Tablica 4.12.

Dopušteni rasponi za zatezni stup oblika "jela" za tlak vjetra
1 100, 1 300 i 1 500 N/m²

	Maksimalno radno naprežanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5,	4,0
p = 1100 N / m ²	95	530	473	411	347
	90	516	460	400	337
	80	486	433	376	317
	65	438	389	341	285
	60	420	374	325	274
	50	384	341	296	249

	Maksimalno radno naprežanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 1300 N/m ²	95	507	457	397	335
	90	498	444	386	326
	80	469	418	363	306
	65	422	376	326	275
	60	405	361	313	264
	50	370	329	286	241
	Maksimalno radno naprežanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 1500 N/m ²	95	500	445	387	326
	90	484	432	376	317
	80	456	407	354	299
	65	411	366	319	268
	60	395	351	305	257
	50	360	321	279	235

Tablica 4.13.

Dopušteni naponi za nosivi stup oblika "bačva" za tlak vjetra 600 i 750 N/m²

	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 600 N/m ²	95	521	465	404	341
	90	507	452	393	3 3 2
	80	478	425	370	312
	65	430	383	332	281
	60	411	367	320	269
	50	377	335	291	245
	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 750 N/m ²	95	480	427	372	312
	90	465	416	362	305
	80	441	391	340	287
	65	395	351	306	259
	60	380	342	293	247
	50	346	309	267	226

Tablica 4.14.

Dopušteni rasponi za nosivi stup oblika "bačva" za tlak vjetra
750,900 i 1 100 N/m²

	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 750 N/m ²	95	523	467	406	342
	90	509	454	394	333
	80	479	427	371	313
	65	431	384	333	282
	60	414	364	320	270
	50	378	336	292	246
	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 900 N/m ²	95	493	440	383	323
	90	479	428	372	314
	80	451	402	350	295
	65	406	362	315	265
	60	390	347	302	256
	50	357	317	275	232

		Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)					
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 1100 N/m ²	95	466	417	363	306
	90	453	405	352	299
	80	426	381	331	280
	65	384	342	299	251
	60	369	329	286	241
	50	338	300	261	220

Tablica 4.15.

Dopušteni rasponi za nosivi stup oblika "bačva" za tlak vjetra 1 300 i 1 500 N/m²

	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 1 300 N/m ²	95	456	400	349	295
	90	438	389	340	286
	80	410	369	319	269
	65	365	329	286	242
	60	355	316	275	232
	50	324	288	251	211
	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 1 500 N/m ²	95	435	389	339	286
	90	423	379	329	279
	80	399	356	310	262
	65	359	320	279	235
	60	344	307	267	225
	50	315	280	243	205

Tablica 4.16.

Dopušteni rasponi za zatezni stup oblika "bačva" za tlak vjetra
600,750 i 900 N/m²

	Maksimalno radno naprežanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 600 N/m ²	95	585	521	453	382
	90	569	507	440	371
	80	532	477	414	349
	65	483	429	372	314
	60	464	412	358	300
	50	423	376	326	274
	Maksimalno radno naprežanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 750 N/m ²	95	540	482	420	353
	90	526	469	407	344
	80	495	441	383	323
	65	446	397	345	290
	60	428	381	331	280
	50	391	347	302	254

	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			

		1,0	1,6	2,5	4,0
$p = 900 \text{ N/m}^2$	95	504	450	392	330
	90	491	439	381	321
	80	462	412	359	302
	65	416	370	322	271
	60	400	356	314	261
	50	365	324	282	238

Tablica 4.17.

*Dopušteni rasponi za zatezni stup oblika "bačva" za tlak vjetra
1 100, 1 300 i 1 500 N/m²*

	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			

		1,0	1,6	2,5	4,0
$p = 1100 \text{ N/m}^2$	95	485	343	377	320
	90	472	421	367	310
	80	445	399	345	291
	65	401	357	310	261
	60	385	343	299	251
	50	351	308	271	229

	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 1300 N/m ²	95	468	420	364	308
	90	455	407	354	299
	80	429	383	333	280
	65	386	344	299	252
	60	371	330	287	242
	50	340	301	262	220
	Maksimalno radno naprezanje (N/mm ²)	Maksimalni dopušteni raspon (m) za dodatni teret			
		1,0	1,6	2,5	4,0
p = 1500 N/m ²	95	456	407	355	300
	90	443	397	345	291
	80	418	372	324	274
	65	376	335	291	246
	60	361	322	280	236
	50	330	293	255	215

4.1.2.2. Dimenzioniranje glave stupa s obzirom na stabilnost konstrukcije

Prilikom izbora glava stupova za jednu i dvije trojke vodiča za tipizaciju stupova 110 kV s obzirom na stabilnost konstrukcije posebnu pažnju posvećuje se sljedećem:

- koncentraciji opterećenja
- simetričnosti opterećenja i što je moguće manjem kraku djelovanja
- što povoljnijem prijenosu opterećenja preko konzole na trup i temelje.

Vezano uz navedene osnovne uvjete pri izboru glava stupova vodjeno je računa da oblici glava budu takvi da se omogući jednostavna izgradnja stupa, montaža opreme, pa i kasnije intervencije na vodu. S obzirom na sve veće probleme u pogledu zauzimanja prostora (koridora) vodjeno je računa da glave stupova za vodove s jednom i dvije trojke vodiča, kao i kompletna konstrukcija stupa, budu takvog oblika i dimenzija da se zauzme što je moguće manji prostor.

Uvaživši navedeno i postojeću praksu izbora i izgradnje stupova nadzemnih vodova za jednu i dvije trojke vodiča sa zaštitnim užetom, pokazalo se optimalnim da se odaberu sljedeće glave stupova:

- za vodove s jednom trojkom vodiča oblik glave "jela"
- za vodove s dvije trojke vodiča oblik glave "bačva."

Što se tiče koncentracije i simetričnosti opterećenja evidentno je da je kod stupova s glavom oblika "bačva", dakle kod stupova za dva sistema vodiča, postignut optimum. Zaštitno uže na glavi oblika "bačva" nalazi se na vrhu stupa, a vodiči pojedinih trojki smješteni su po vertikali jedan ispod drugog. Srednja konzola je najduža, a s razlikom duljina u odnosu na gornju i donju konzolu postižu se potrebne udaljenosti između užadi i zadovoljavaju predviđeni rasponi. Vrh stupa je takve veličine da se može postići propisana zaštitna zona (30°). U slučaju prekida jednog od vodiča ili oštećenja konzole, što propisi kod dimenzioniranja konstrukcije predviđaju, nastaje relativno povoljno opterećenje diferencijalnim vlakom (torzijom) koji se preko torzijskih vezova u nivou konzola prenosi na dijagonale glave i trupa stupa.

Kod stupova s glavom oblika "jela" dva vodiča nalaze se s jedne, a treći vodič je s druge strane od osi stupa. Zaštitno uže je kao i kod stupova oblika "bačva" montirano na vrhu stupa. S obzirom na položaje užeta, kod stupova s glavom oblika "jela" evidentno je da nije postignuta potpuna simetričnost opterećenja. Međutim, kako su konzole vezane na pojasnike stupa na četiri mjesta, opterećenja se vrlo povoljno prenose na konstrukciju stupa, odnosno preko četiri pojasnika na temelje stupa.

Duljine konzola odabrane su tako da zadovolje propisanim udaljenostima između dijelova pod naponom od konstrukcije stupa, te da se ostvare takvi razmaci između užadi koji omogućuju postizanje potrebnih raspona između susjednih stupova s istim dimenzijama glava.

Glave stupova oblika "jela" i "bačva" direktno su vezane s trupom stupa te se opterećenja, diferencijalni vlakovi i dinamička opterećenja preko konzola direktno prenose na trup (četiri pojasnika povezana dijagonalama), odnosno na temelje stupa. Na taj način postiže se vrlo povoljan prijenos opterećenja od mjesta nastajanja do temelja koji ih preuzimaju.

Što se tiče duljina konzola one su odabrane da bi se zadovoljile udaljenosti dijelova pod naponom od konstrukcije, a vertikalni razmaci između konzola i razlike između duljina konzola bile su mjerodavne za postizanje potrebnih raspona između susjednih stupova. Kod zateznih stupova odabrali smo samo po jednu veličinu glava za "jelu" i "bačvu" za sve vjetrovne zone. Uzevši u obzir da se zatezni stupovi primjenjuju na oko 20 % ili ovisno o trasi voda i znatno manjem broju stupnih mjesta, te da bi se prilagodjenjem veličine glave stupa za svaki tlak vjetra dobile neznatne uštede na masi konstrukcije stupa, smatrali smo da nema opravdanja ići na izbor većeg broja veličina glava zateznih stupova.

Kod nosivih stupova odabrali smo po dvije veličine glava stupova za stupove oblika "jela" i "bačva". Za stupove za tlak vjetra 600 N/m predvidjeli smo glave s manjim vertikalnim razmacima između konzola, dok je radi postizanja potrebnih raspona između susjednih stupova za stupove za područja s većim tlakovima vjetra odabran nešto veći vertikalni razmak između konzola. Ovim promjenama razmaka između konzola nije došla u pitanje statička stabilnost konstrukcije, s obzirom da su elementi konzola i trupa stupa dimenzionirani za predviđena opterećenja.

4.1.3. Opterećenje stupa

4.1.3.1. Opterećenje stupa prema postojećoj zakonskoj regulativi

Opterećenja svih vrsta stupova prema Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova (Sl.list SFRJ, br. 51/73) podijeljena su u dvije osnovne grupe: normalna i iznimna opterećenja.

Normalna opterećenja stupova nastupaju u redovitom pogonu kada je dalekovod neoštećen, a iznimna u slučaju određene havarije na vodu. Pretpostavlja se da dolazi do prekida jednog vodiča (odnosno izolatorskog lanca) ili jednog zaštitnog užeta s jedne strane stupa.

Stupovi se dimenzioniraju tako da naprezanja materijala ne prekoračuju dozvoljena naprezanja ni u jednom slučaju normalnih ili iznimnih opterećenja. Za proračunavanje pojedinog elementa stupa odabire se onaj slučaj opterećenja koji u tom elementu prouzrokuje najveću silu. Pojedini slučajevi opterećenja ne nastupaju istodobno.

Prema Pravilniku normalni i iznimni slučajevi opterećenja za sve vrste stupova su sljedeća:

Normalna opterećenja:

1. čl.76 nosivi i zatezni stupovi

- slučaj a) - težina užeta s priborom i dodatnim teretom
- rezultanta pune sile zatezanja svih užeta s obje strane stupa

- slučaj b) - težina užeta s priborom
 pritisak vjetra na stup i užad okomito na vod, odnosno u smjeru simetrale kuta loma trase
- rezultanta od $2/3$ pune sile zatezanja svih užeta s obje strane stupa
- slučaj c: - težina užeta s priborom
 - tlak vjetra na stup i užeta u pravcu voda, odnosno okomito na simetralu kuta loma trase
 - rezultanta od $2/3$ pune sile zatezanja svih užeta s obje strane stupa

2. čl.76 zatezni stupovi

- težina užeta s priborom
- $2/3$ pune sile zatezanja svih užeta s jedne strane stupa

- čl.238 zatezni stupovi (za prijelaz željezničke pruge)
- težina užeta s priborom i dodatnim teretom
 - puna sila zatezanja svih užeta sa strane prijelaznog polja.

Iznimna opterećenja

1. čl. 77 nosivi stupovi

- slučaj a) Prekinuto uže
- težina užeta s priborom i dodatnim teretom
 - $1/2$ pune sile zatezanja jednog užeta s jedne strane stupa

Neprekinuta užad

- kao u članu 76, za slučaj a.

2. čl. 77 zatezni stupovi

- slučaj b) Prekinuto uže
- težina užeta s priborom i dodatnim teretom
 - puna sila zatezanja jednog užeta s jedne strane stupa

Neprekinuta užad

- kao u članu 76, za slučaj a.

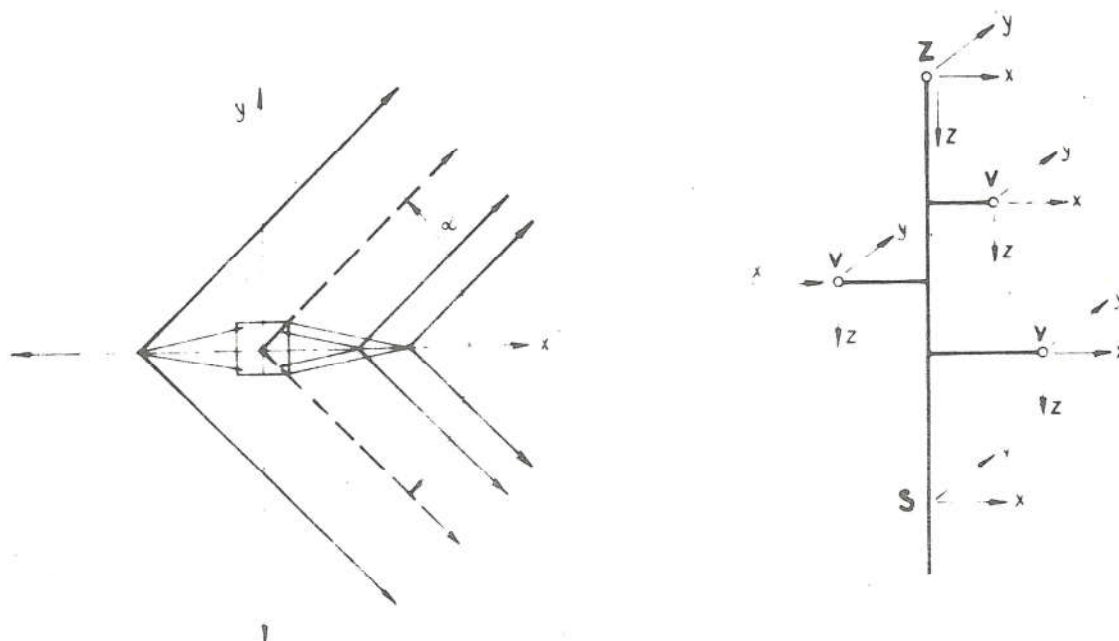
U navedenim slučajevima opterećenja nije predviđeno istodobno djelovanje vjetra i zaledjivanja. Međutim u specifičnim područjima gdje se redovito pojavljuje djelovanje vjetra na zaledene dijelove dalekovoda, naravno da se izuzetno takva kombinacija djelovanja treba uključiti i u opterećenja stupova.

Sile koje djeluju na stup uzimaju se kao statične, a daju se u komponentama za smjerove x (poprečni), y (uzdužni) i z (vertikalni), što je prikazano na slici 4. 21.

Pravac x okomit je na smjer voda, odnosno u principu se poklapa s osi konzola na stupu.

Pravac y poklapa se sa smjerom voda, odnosno okomit je na os konzola na stupu.

Pravac z pada u vertikalnu.



*Prikaz sile koje djeluju na stup
sl. 4. 21.*

Sile vodiča s hvatištem u ovjesištu izolatorskog lanca na stupu označuju se sa V , a sile zaštitnog užeta s hvatištem na mjestu zavješanja zaštitnog užeta na stupu označavaju se sa Z .

Tlak vjetra na stup ima oznaku S .

Za najčešće vrste stupova, u smislu načina opterećenja, daje se shematski tok proračuna sila za naprijed navedene propisane slučajeve opterećenja.

U primjerima dane oznake znače:

- q - stvarni ukupni presjek užeta (mm^2)
- d - ukupni promjer užeta (mm)
- g - vlastita težina užeta (N/m)
- σ - maksimalno radno naprezanje užeta (N/mm^2)
- G - težina izolatorskog lanca (N)

P - tlak vjetra na izolatorski lanac (N)
 k - koeficijent tlaka vjetra na užad
 k_s - koeficijent tlaka vjetra na stup
 k_r - koeficijent redukcije tlaka vjetra na užad prema (članu 78/3)
 a_s - poluzbroj susjednih raspona (m)
 a_g - gravitacioni raspon (m)
 α - kut loma trase u kutnim stupnjevima
 p - osnovni tlak vjetra (N/m^2)

Indeksi uz navedene oznake odnose se na:

V - vodič
 Z - zaštitno uže
 l - s dodatnim teretom od leda

1) Nosivi stup (linijski)

A) Član 76, točka 1, slučaj a:

$$V_{zA} = g_{lv} \cdot a_g + G$$

$$Z_{zA} = g_{1z} \cdot a_g$$

B) Član 76, točka 1, slučaj b:

$$V_{xB} = d_v \cdot a_s \cdot p \cdot k + P$$

$$V_{zB} = g_{zB} a_g + G$$

$$Z_{xB} = d_z \cdot a_s \cdot p \cdot k$$

$$Z_{zB} = g_z \cdot a_g$$

$$s_x = p \cdot k_s$$

C) Član 76, točka 1, slučaj c:

$$V_{yC} = d_v \cdot a_s \cdot p \cdot k \cdot k_r + P$$

$$V_{zB} = (\text{kao pod B})$$

$$Z_{yC} = d_z \cdot a_s \cdot p \cdot k \cdot k_r$$

$$Z_{zB} = (\text{kao pod B})$$

$$s_y = p \cdot k_s$$

E_v) Član 77, točka 1, slučaj a (prekid vodiča)

Prekinut vodič (P)

$$V_{yE} = 0,5 \cdot q_v \cdot \sigma_v$$

$$V_{zA} = (\text{kao pod A})$$

Neprekinuta užad (N)

(kao pod A)

E_z) Član 77, točka 1, slučaj a (prekid zaštitnog užeta)

Prekinuto zaštitno uže (P)

$$Z_{yE} = 0,5 \cdot q_z \cdot \sigma_z$$

$$Z_{zE} = (\text{kao pod A})$$

Neprekinuti vodiči (N)

(kao pod A)

Navedeni proračun sila na nosivi stup dan je u tabel.4.18.

Tablica 4.18.

Tablica opterećenja nosivog stupa

Slučaj opterećenja			Vodič			Zaštitno uže			Stup	
			V _x	V _y	V _z	Z _x	Z _y	Z _z	s _x	s _y
			N			N			N/m ²	
a			-	-	V _{zA}	-	-	Z _{zA}	-	-
Čl. 76	1	b	V _{xB}	-	V _{zB}	Z _{xB}	-	Z _{zB}	s _x	-
c			-	V _{yC}	V _{zB}	-	Z _{yC}	Z _{zB}	-	s _y
	V	P	-	V _{yE}	V _{zA}	-	-	-	-	-
		N	-	-	V _{zA}	-	-	Z _{zA}	-	-
Čl. 77	1a	P	-	-	-	-	Z _{yE}	Z _{zA}	-	-
		Z	-	-	V _{zA}	-	-	-	-	-

2) Zatezni stup

(kutno-rasteretni, s jednakim zatezanjem užeta s obje strane stupa)

A) Član 76, točka 1, slučaj a:

$$V_{xA} = 2 \cdot q_v \cdot \sigma_v \cdot \cos \alpha/2$$

$$V_{zA} = g_{1v} \cdot a_g + G_1$$

$$Z_{xA} = 2 \cdot q_z \cdot \sigma_z \cdot \cos \alpha/2$$

$$Z_{zA} = g_{1z} \cdot a_g$$

B) Član 76, točka 1, slučaj b:

$$V_{xB} = 2/3 \cdot 2 \cdot q_V \cdot \sigma_V \cdot \cos \alpha/2 + d_V \cdot a_S \cdot p \cdot k + P$$

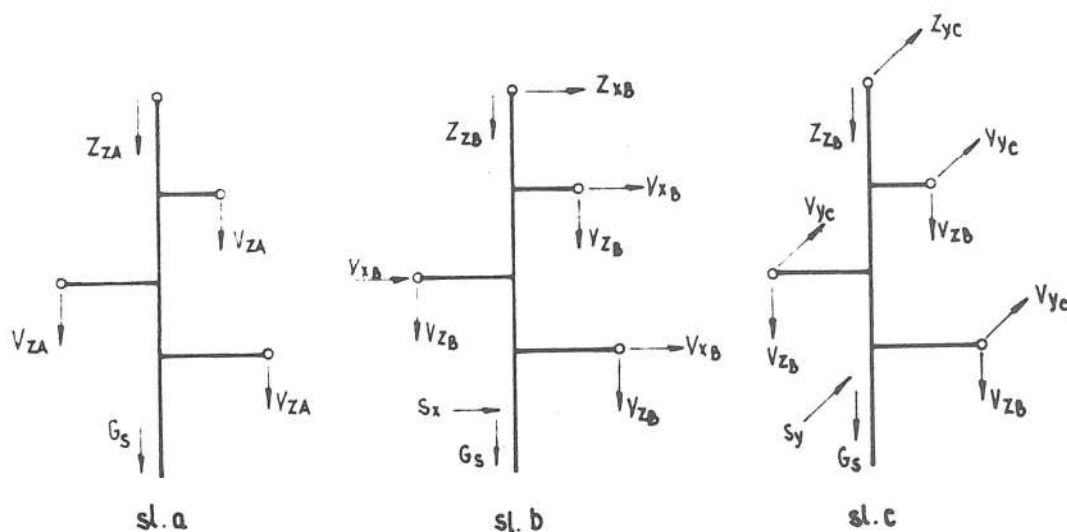
$$V_{zB} = g_V \cdot a_g + G$$

$$Z_{xB} = 2/3 \cdot 2 \cdot q_Z \cdot \sigma_Z \cdot \cos \alpha/2 + d_Z \cdot a_S \cdot p \cdot k$$

$$Z_{zB} = g_Z \cdot a_g$$

$$s_X = p \cdot k_S$$

Shematski prikaz opterećenja nosivog stupa dan je na slikama 4.22. i 4.23.



Normalni slučajevi opterećenja (čl. 76, točka 1)
Sl.4.22.

C) Član 76, točka 1, slučaj c:

$$V_{xC} = 2/3 \cdot 2 \cdot q_v \cdot \sigma_v \cdot \cos \alpha/2$$

$$V_{yC} = d_v \cdot a_s \cdot p \cdot k_r \cdot k + P$$

$$V_{zB} = (\text{kao pod B})$$

$$Z_{xC} = 2/3 \cdot 2 \cdot q_z \cdot \sigma_z \cdot \cos \alpha/2$$

$$Z_{yC} = d_z \cdot a_s \cdot p \cdot k \cdot k_r$$

$$Z_{zB} = (\text{kao pod B})$$

$$s_y = p \cdot k_s$$

D) Član 76, točka 2:

$$V_{xD} = 2/3 \cdot q_v \cdot \sigma_v \cdot \cos \alpha/2$$

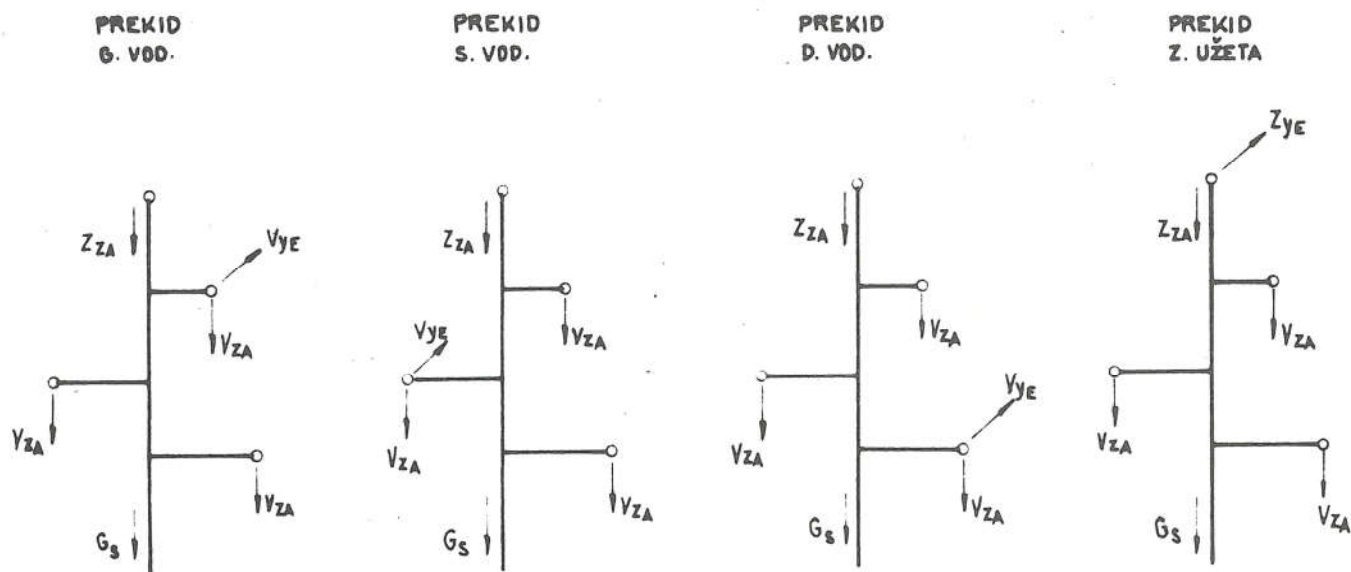
$$V_{yD} = 2/3 \cdot q_v \cdot \sigma_v \cdot \sin \alpha/2$$

$$V_{zD} = g_v \cdot a_g + G$$

$$Z_{xD} = 2/3 \cdot q_z \cdot \sigma_z \cdot \cos \alpha/2$$

$$Z_{yD} = 2/3 \cdot q_z \cdot \sigma_z \cdot \sin \alpha/2$$

$$Z_{zD} = g_z \cdot a_g$$



Iznimni slučajevi opterećenja
Sl. 4.23.

F_v) Član 77, točka 2, slučaj b (prekid vodiča)

Prekinuti vodič (P)

$$V_{xF} = q_v \cdot \sigma_v \cdot \cos \alpha/2$$

$$V_{yF} = q_v \cdot \sigma_v \cdot \sin \alpha/2$$

$$V_{zF} = g_{1v} \cdot a_g \cdot G_1$$

Neprekinuta užad (N)
(kao pod A)

F_Z) Član 77, točka 2, slučaj b (prekid zaštitnog užeta)

Prekinuto zaštitno uže (P)

$$Z_{xF} = q_x \cdot \sigma_z \cdot \cos \alpha/2$$

$$Z_{yF} = q_z \cdot \sigma_z \cdot \sin \alpha/2$$

$$Z_{zF} = g_{1z} a_g$$

Neprekinuti vodiči (N)
(kao pod A)

Navedeni proračun sila za zatezni stup (kutno rasteretni, s jednakim zatezanjem užeta s obje strane stupa dan je u tabl. 4.19.

Tablica 4.19.

Tablice opterećenja zateznog stupa (kutno-rasteretni)

Slučaj opterećenja		Vodič			Zaštitno uže			Stup		
		V _x	V _y	V _z	Z _x	Z _y	Z _z	s _x	s _y	
		N			N			N/m ²		
Čl. 1 76	a	V _{xA}	-	V _{zA}	Z _{xA}	-	Z _{zA}	-	-	
	b	V _{xB}	-	V _{zB}	Z _{xB}	-	Z _{zB}	s _x	-	
	c	V _{xC}	V _{yC}	V _{zB}	Z _{xC}	Z _{yC}	Z _{zB}	-	s _y	
2		V _{xD}	V _{yD}	V _{zD}	Z _{xD}	Z _{yD}	Z _{zD}	-	-	
Čl. 2b 77	V	P	V _{xF}	V _{yF}	V _{zF}	-	-	-	-	-
		N	V _{xA}	-	V _{zA}	Z _{xA}	-	Z _{zA}	-	-
	Z	P	-	-	-	Z _{xF}	Z _{yF}	Z _{zF}	-	-
		N	V _{xA}	-	V _{zA}	-	-	-	-	-

3) Zatezni stup

(kutno-rasteretni, s nejednakim zatezanjem užeta: 1 - veće zatezanje, 2 - manje zatezanje)

A) Član 76, točka 1, slučaj a:

$$V_{xA} = q_v \cdot \sigma_{v1} \cdot \cos \alpha/2 + q_v \cdot \sigma_{v2} \cdot \cos \alpha/2$$

$$V_{yA} = q_v \cdot \sigma_{v1} \cdot \sin \alpha/2 - q_v \cdot \sigma_v \cdot \sin \alpha/2$$

$$V_{zA} = g_{1v} \cdot a_g + G_1$$

$$Z_{xA} = q_z \cdot \sigma_{z1} \cdot \cos \alpha/2 + q_z \cdot \sigma_{z2} \cdot \cos \alpha/2$$

$$Z_{yA} = q_z \cdot \sigma_{z1} \cdot \sin \alpha/2 - q_z \cdot \sigma_{z2} \cdot \sin \alpha/2$$

$$Z_{zA} = g_{1z} \cdot a_g$$

B) Član 76, točka 1, slučaj b:

$$V_{xB} = 2/3 \cdot q_v \cdot \sigma_{v1} \cdot \cos \alpha/2 + 2/3 \cdot q_v \cdot \sigma_{v2} \cdot \cos \alpha/2 + d_v \cdot a_s \cdot p \cdot k + P$$

$$V_{yB} = 2/3 \cdot q_v \cdot \sigma_{v1} \cdot \sin \alpha/2 - 2/3 \cdot q_v \cdot \sigma_{v2} \cdot \sin \alpha/2$$

$$V_{zB} = g_v \cdot a_g + G$$

$$Z_{xB} = 2/3 \cdot q_z \cdot \sigma_{z1} \cdot \cos \alpha/2 + 2/3 \cdot q_z \cdot \sigma_{z2} \cdot \cos \alpha/2 + d_z \cdot a_s \cdot p \cdot k$$

$$Z_{yB} = 2/3 \cdot q_z \cdot \sigma_{z1} \cdot \sin \alpha/2 - 2/3 \cdot q_z \cdot \sigma_{z2} \cdot \sin \alpha/2$$

$$Z_{zB} = g_z \cdot a_g$$

$$s_x = p \cdot k_s$$

C) Član 76, točka 1, slučaj c:

$$V_{xC} = 2/3 \cdot q_v \cdot \sigma_{v1} \cdot \cos \alpha/2 + 2/3 \cdot q_v \cdot \sigma_{v2} \cdot \cos \alpha/2$$

$$V_{yC} = 2/3 \cdot q_v \cdot \sigma_{v1} \cdot \sin \alpha/2 - 2/3 \cdot q_v \cdot \sigma_{v2} \cdot \sin \alpha/2 + d_v \cdot a_s \cdot p \cdot k_r + P$$

$$V_{zC} = (\text{kao pod B})$$

$$Z_{xC} = 2/3 \cdot q_z \cdot \sigma_{z1} \cdot \cos \alpha/2 + 2/3 \cdot q_z \cdot \sigma_{z2} \cdot \cos \alpha/2$$

$$Z_{yC} = 2/3 \cdot q_z \cdot \sigma_{z1} \cdot \sin \alpha/2 - 2/3 \cdot q_z \cdot \sigma_{z2} \cdot \sin \alpha/2 + d_z \cdot a_s \cdot p \cdot k \cdot k_r$$

$$Z_{zC} = (\text{kao pod B})$$

$$s_y = p \cdot k_s$$

D₁) Član 76, točka 2 (strana većeg zatezanja)

$$V_{xD1} = 2/3 \cdot q_v \cdot \sigma_{v1} \cos \alpha/2$$

$$V_{yD1} = 2/3 \cdot q_v \cdot \sigma_{v1} \sin \alpha/2$$

$$V_{zD1} = g_v \cdot a_g + G$$

$$Z_{xD1} = 2/3 \cdot q_z \cdot \sigma_{z1} \cos \alpha/2$$

$$Z_{yD1} = 2/3 \cdot q_z \cdot \sigma_{z1} \sin \alpha/2$$

$$Z_{zD1} = g_z \cdot a_g$$

D₂) Član 76, točka 2 (strana manjeg zatezanja)

$$V_{xD2} = 2/3 \cdot q_v \cdot \sigma_{v2} \cos \alpha/2$$

$$V_{yD2} = 2/3 \cdot q_v \cdot \sigma_{v2} \sin \alpha/2$$

$$V_{zD2} = g_z \cdot a_g + G$$

$$Z_{xD2} = 2/3 \cdot q_z \cdot \sigma_{z2} \cdot \cos \alpha/2$$

$$Z_{yD2} = 2/3 \cdot q_z \cdot \sigma_{z2} \cdot \sin \alpha/2$$

$$Z_{zD2} = g_z \cdot a_g$$

F_{v1}) Član 77, točka 2, slučaj b (prekid vodiča sa strane manjeg zatezanja)

Prekid vodiča (P)

$$V_{xF1} = q_v \cdot \sigma_{v1} \cdot \cos \alpha/2$$

$$V_{yF1} = q \cdot \sigma_{v1} \cdot \sin \alpha/2$$

$$V_{zF1} = g_{1v} \cdot a_g + G$$

Neprekinuta užad (N)
(kao pod A)

F_{Z1}) Član 77, točka 2, slučaj b (prekid zašt. užeta sa strane manjeg zatezanja)

Prekinuto zaštitno uže (P)

$$Z_{xF1} = q_Z \cdot \sigma_{Z1} \cos \alpha/2$$

$$Z_{yF1} = q_Z \cdot \sigma_{Z1} \sin \alpha/2$$

$$Z_{zF1} = g_{1z} \cdot a_g$$

Neprekinuti vodiči (N)
(kao pod A)

F_{V2}) Član 77, točka 2, slučaj b (prekid vodiča sa strane većeg zatezanja)

Prekinuti vodič (P)

$$V_{xF2} = q_V \cdot \sigma_{V2} \cos \alpha/2$$

$$V_{yF2} = g_V \cdot \sigma_{V2} \sin \alpha/2$$

$$V_{zF2} = g_V \cdot a_g + G_1$$

Neprekinuta užad (N)
(kao pod A)

F_{Z2}) Član 77, točka 2, slučaj b (prekid zašt. užeta sa strane većeg zatezanja)

Prekinuto zaštitno uže (P)

$$Z_{xF2} = q_Z \cdot \sigma_{ZS} \cos \alpha/2$$

$$Z_{yF} = q_Z \cdot \sigma_{Z2} \sin \alpha/2$$

$$Z_{zF2} = g_{1z} \cdot a_g$$

Neprekinuti vodiči (N) - (kao pod A)

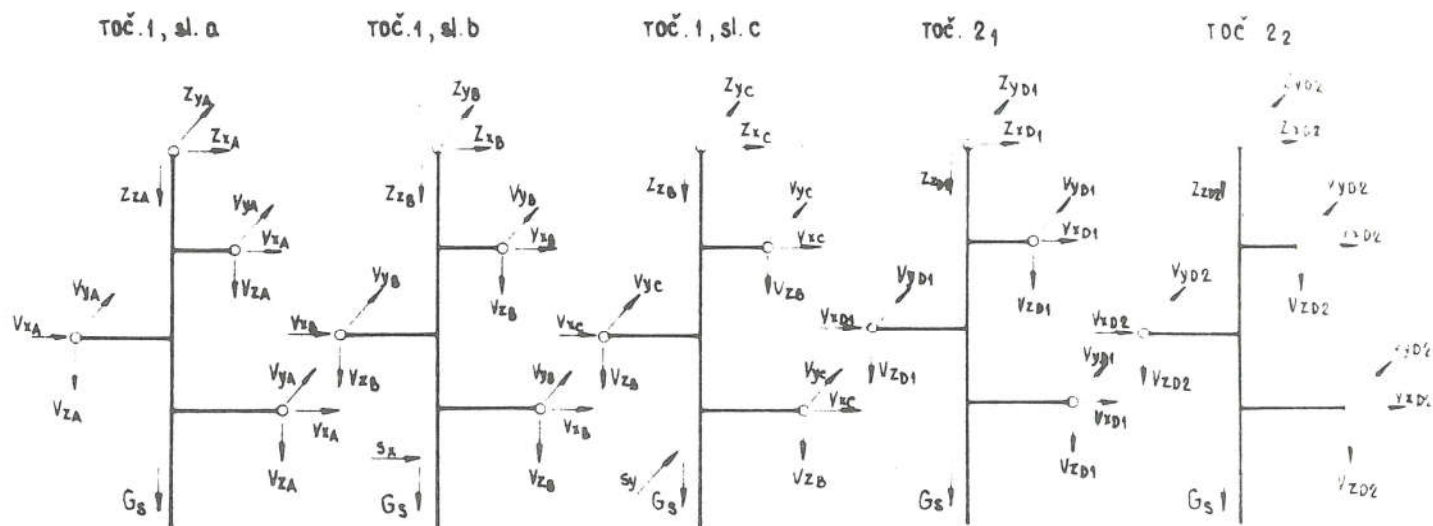
Navedeni proračun sila na zatezni stup (kutno rasteretni, s nejednakim zatezanjem užeta) dan je u tabl.4.20.

Tablica 4.20.

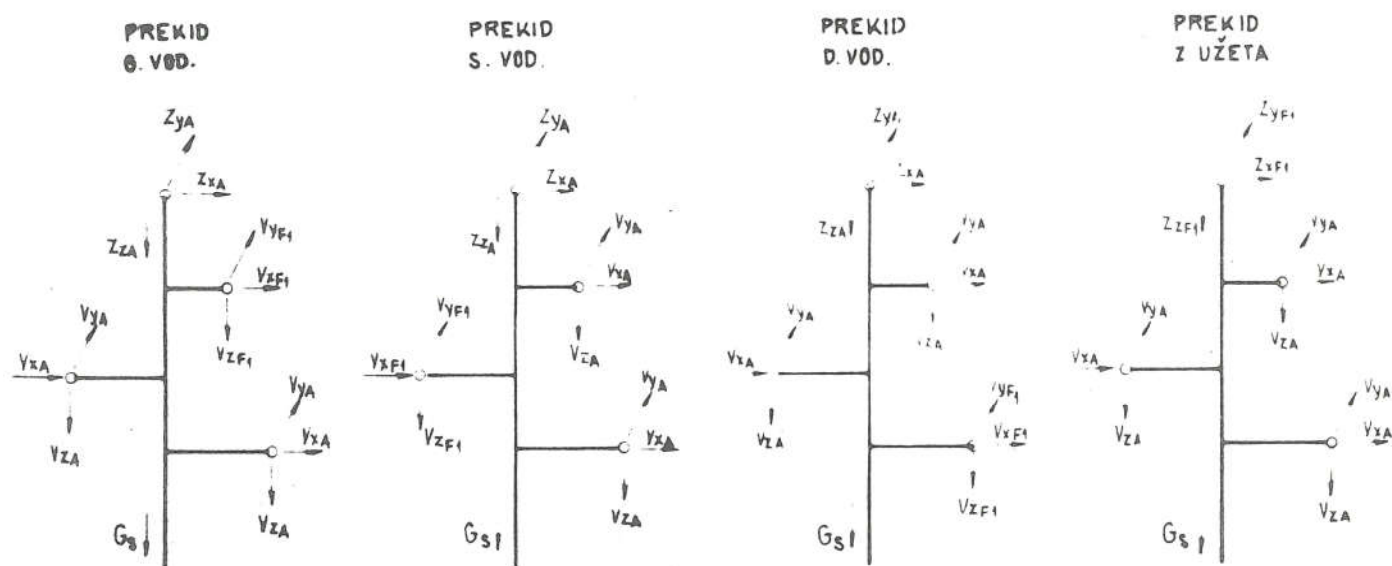
Tablica opterećenja zateznog stupa (kutno-rasteretni)

Slučaj opterećenja		Vodič			Zaštitno uže			Stup	
		V_x	V_y	V_z	Z_x	Z_y	Z_z	s_x	s_y
		N			N			N/m^2	
Čl. 76	a	V_{xA}	V_{yA}	V_{zA}	Z_{xA}	Z_{yA}	Z_{zA}	-	-
	b	V_{xB}	V_{yB}	V_{zB}	Z_{xB}	Z_{yB}	Z_{zB}	s_x	-
	c	V_{xC}	V_{yC}	V_{zB}	Z_{xC}	Z_{yC}	Z_{zB}	-	s_y
2	1	V_{xD1}	V_{yD1}	V_{zD1}	Z_{xD1}	Z_{yD1}	Z_{zD1}	-	-
	2	V_{xD2}	V_{yD2}	V_{zD2}	Z_{xD2}	Z_{yD2}	Z_{zD2}	-	-
	P	V_{xF1}	V_{yF1}	V_{zF}	-	-	-	-	-
Čl. 77	V_1								
	N	V_{xA}	V_{yA}	V_{zA}	Z_{xA}	Z_{yA}	Z_{zA}	-	-
	P	-	-	-	Z_{xF1}	Z_{yF1}	Z_{zF1}	-	-
2b	Z_1								
	N	V_{xA}	V_{yA}	V_{zA}	-	-	-	-	-
	P	V_{xF2}	V_{yF2}	V_{zF2}	-	-	-	-	-
	V_2								
	N	V_{xA}	V_{yA}	V_{zA}	Z_{xA}	Z_{yA}	Z_{zA}	-	-
	P	-	-	-	Z_{xF2}	$-Z_{yF2}$	Z_{zF2}	-	-
	Z_2								
	N	V_{xA}	V_{yA}	V_{zA}	-	-	-	-	-

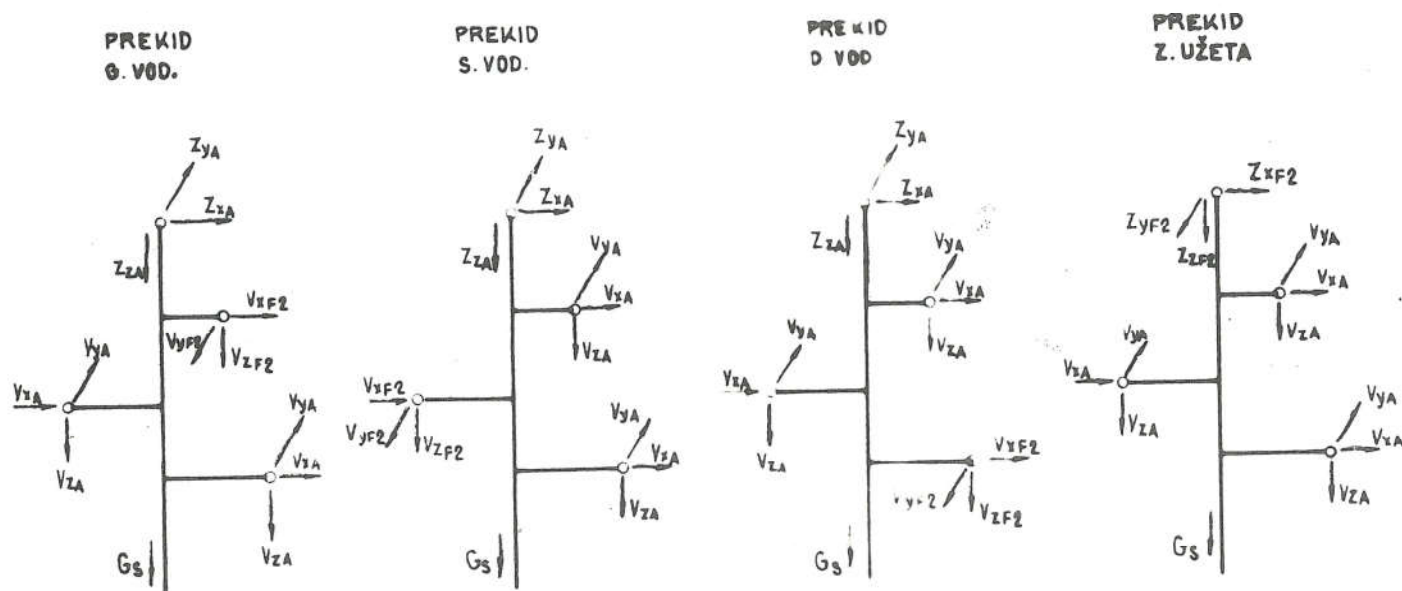
Shematski prikaz opterećenja zateznog stupa (kutno- rasteretni) s nejednakim zatezanjem užeta) dan je na slikama 4.26, 4.27. i 4.28.



Normalni slučajevi opterećenja (čl.76)
sl. 4.26.



Iznimni slučajevi opterećenja (čl. 77, točka 2b - prekid sa strane zatezanja)
Sl. 4.27.



*Iznimni slučajevi opterećenja (čl.77. točka 2.b)
prekid sa strane većeg zatezanja
Sl. 4. 28.*

Analognim postupkom mogu se odrediti opterećenja i za sve ostale vrste stupova. U tablicama opterećenja daju se komponente sila za jedan vodič i jedno zaštitno uže, a u proračunu stupa uzima se u obzir ukupni broj užadi na određenom tipu stupa. Prema tome i u slučaju prekida užadi treba promatrati pojedinačne prekide svih užeta i za proračun uzeti onaj slučaj koji djeluje najnepovoljnije na stup ili dio stupa.

Vrijednosti vertikalnih sila od užadi i izolatorskih lanaca još se povećavaju zbog mogućeg dodatnog utjecaja težine montera s priborom.

U statičkom proračunu stupa osim navedenih vertikalnih sila uzima se još u obzir i vlastita težina konstrukcije stupa. U nekim slučajevima opterećenja (n.pr. kod prekida užeta) mogu se pojaviti slučajevi da pojedine komponente sila djeluju u suprotnom smjeru od drugih odgovarajućih sila u istom slučaju opterećenja. Takve sile suprotnog smjera u tablicama opterećenja obično se označava s predznakom "minus" te se kod analize najnepovoljnijih sila u pojedinim elementima konstrukcije stupa taj suprotni smjer uzima u obzir.

Nadalje, treba napomenuti da se obično za vertikalne sile daju maksimalne vrijednosti u pojedinim slučajevima opterećenja te kod proračuna najnepovoljnijih izvlačnih sila (za kontrolu temelja stupa na izvlačenje) računa se s odgovarajućim minimalnim vrijednostima vertikalnih sila.

Opterećenja stupova različito se obradjuju za slučajeve kada se izradjuju za proračun novih tipskih stupova ili kada se vrši samo kontrola primjene već postojećih tipova stupova u trasi nekog novog dalekovoda. Za izračunavanje opterećenja za nove tipske stupove predviđaju se maksimalni parametri za koje se traži da općenito predmetni stup zadovolji u statičkom pogledu. To se uglavnom odnosi na sljedeće:

- horizontalne vlačne sile užeta (presjeci užeta i maksimalna radna naprezanja)
- poluzbroj susjednih raspona
- kutovi loma trase
- tlakove vjetra
- vertikalne sile (gravitacione raspone i nazivni dodatni teret od leda).

U slučajevima kada se već postojeći tipovi stupova primjenjuju u nekom novom vodu, opterećenja za kontrolu tih tipskih stupova izradjuju se s konkretnim elementima za pojedina stupna mjesta u vodu. Tablice opterećenja za ovaj slučaj dobivaju se na računalu direktno iz odgovarajućih podataka montažnih tablica voda.

Za tipizaciju čelično rešetkastih nosivih i zateznih stupova za dalekovode 110 kV (oblika "jela" i "bačva") izradjene su tablice opterećenja za sljedeće osnovne parametre:

Vodiči: 3 x uže JUS N.C1.351 - 240/40 - Al/Č
 Zaštitno uže: 1 x uže JUS N.C1.551 - 95/55 - AlMg1E/Č

Osnovni tlak vjetra	(N/m ²)
600 900 1300	

Nosivi stupovi

Maksimalno radno naprezanje (N/mm²)

- vodiča	95	95	90
- zaštitnog užeta	150	150	150
Kut loma trase	180°	180°	180°
Poluzbroj susjednih raspona(m)	400	360	320
Maksimalna vertikalna sila sa/bez dodatnog tereta (kN)			
- vodiča	18/10	18/10	20/10
- zaštitnog užeta	14/7	14/7	16/7

Zatezni stupovi

1) Kutno rasteretni stupovi

Maksimalno radno naprezanje (N/mm²)

- vodiča	95/95	95/95	90/90
- zaštitnog užeta	150/150	150/150	150/150
Kut loma trase	180°do 120°	180°do 120°	180°do 120°
Poluzbroj susjednih raspona (m)	400	360	320
Maksimalna vertikalna sila, sa/bez dodatnog tereta (kN)			
- vodiča	18/10	20/10	22/10
- zaštitnog užeta	14/7	16/7	18/7

2) Kutno rasteretni stupovi, s dif.vlakom užeta

Maksimalno radno naprezanje (N/mm²)

- vodiča	95/80	95/80	90/80
- zaštitnog užeta	150/130	150/130	150/130
Kut loma trase	180°do 120°	180°do 120°	180°do 120°
Poluzbroj susjednih raspona (m)	400	360	320
Maksimalna vertikalna sila, sa/bez dod.tereta (kN)			
- vodiča	18/10	20/10	22/10
- zaštitnog užeta	14/7	16/7	18/7

3) Kutno.prelazni stupovi

Maksimalno radno naprezanje (N/mm²)

- vodiča	95/65	95/65	90/60
- zaštitnog užeta	150/100	150/100	150/100
Kut loma trase	180°do 120°	180°do 120°	180°do 120°
Poluzbroj susjednih raspona (m)	360	330	290
Maksimalna vertikalna sila, sa/bez dod.tereta (kN)			
- vodiča	18/10	20/10	22/10
- zaštitnog užeta	14/7	16/7	18/7

4) Kutno-rasteretni stupovi, s dif.vlakom užeta

Maksimalno radno naprezanje (N/mm^2)

- vodiča	95/50	95/50	90/50
- zaštitnog užeta	150/80	150/80	150/80
Kut loma trase	180°do 120°	180°do 120°	180°do 120°
Poluzbroj susjednih raspona (m)	360	330	290
Maksimalna vertikalna sila, sa/bez dod.tereta (kN)			
- vodiča	18/10	20/10	22/10
- zaštitnog užeta	14/7	16/7	18/7

5) Kutno-krajnji stupovi

Maksimalno radno naprezanje (N/mm^2)

- vodiča	95/0	95/0	90/0
- zaštitnog užeta	150/0	150/0	150/0
Kut loma trase	180°do 120°	180°do 120°	180°do 120°
Poluzbroj raspona (m)	200	200	200
Maksimalna vertikalna sila, sa/bez dodatnog tereta (kN)			
- vodiča	9/5	9/5	11/5
- zaštitnog užeta	7/4	7/4	9/4

Za sve vrste zateznih stupova s osnovnim tlakom vjetra $1\,300\text{ N/m}^2$ zadane su i minimalne (negativne) vertikalne sile, i to za vodiče i za zaštitno uže: - 5/-3 kN (sa/bez dodatnog tereta).

Osim za navedene zone s osnovnim tlakom vjetra 600, 900 i $1\,300\text{ N/m}^2$, tipskim će se stupovima obuhvatiti i ostale vjetrovne zone unutar navedenih granica 750, $1\,100\text{ N/m}^2$).

4.1.3.2. Opterećenje stupa sa stajališta iskoristivosti elemenata konstrukcije

Imajući definirano opterećenje stupa, geometrijskim oblikovanjem stupa definiraju se geometrijske karakteristike, čime su zapravo unaprijed određene i globalne dimenzije elemenata konstrukcije.

Kao što je već ranije rečeno (poglavlje 4.1.1) u cilju izrade što lakšeg stupa nastoji se postići maksimalna iskoristivost elemenata konstrukcije, prije svega pojasnika. Kod nosivih stupova kod kojih, ako uzmemo presjek i naprezanje vodiča i zaštitnog užeta kao konstantu, osnovni parametri opterećenja ovise o pritisku vjetra i vjetrovnom rasponu, iskoristivost određenih dimenzija pojasnika na mjestima montažnih sastavaka postiže se nalaženjem onog vjetrovnog raspona koji će dati njihovu maksimalnu iskoristivost.

Ako se želi stup koji je projektiran za određeni pritisak vjetra i vjetrovni raspon primijeniti za drugi pritisak vjetra, iskoristivost konstrukcije stupa postiže se povećavanjem ili smanjivanjem vjetrovnog raspona. To naravno važi za primjenu u vjetrovnoj zoni koja je za jedan stupanj niža ili viša od one za koju je stup projektiran i za povećavanje ili smanjenje vjetrovnog raspona u iznosu od 5 % od projektiranog. Ako se prelaze ovi okviri, ekonomski je opravdana primjena drugog tipskog stupa, jačeg ili slabijeg, ovisnog o potrebi.

U nekim slučajevima gdje se pojavljuje veliki gravitacijski raspon, a samim tim i velike vertikalne sile od vodiča i zaštitnog užeta, obično su vjetrovni rasponi manji te se na taj način manjim horizontalnim opterećenjem kompenzira utjecaj većeg vertikalnog opterećenja stupa.

Kod zateznih stupova osnovni parametri opterećenja prije svega ovise o iznosu sile zatezanja, a to znači o iznosu naprezanja vodiča i zaštitnog užeta te kuta pod kojim se stup nalazi u predviđenoj situaciji trase. Tako se recimo maksimalna iskoristivost pojasnika na gornjoj polovici stupa postiže za one uvjete opterećenja kod kojih su naprezanja vodiča predviđena sa 95 N/mm^2 (vjetrovna zona s tlakom vjetra 600, 750 i 900 N/m^2), a maksimalna iskoristivost pojasnika u donjoj polovici stupa postiže se za one uvjete opterećenja kod kojih su naprezanja vodiča 90 N/mm^2 u vjetrovnoj zoni s većim tlakom vjetra, 1100 i 1300 N/m^2 .

To vrijedi i za ostale elemente konstrukcije, tako da na nekom zateznom stupu, projektiranom recimo za najoštrije uvjete opterećenja, kutno rasteretni (KR) 140° - 120° kutno rasteretni s diferencijalnim vlakom (KRd) 140° - 120° kutno prijelazni (KP) 140° - 120° kutno krajnji (KKa) 180° - 120° imamo situaciju da su pojasnici maksimalno iskorišteni za opterećenje KKa 120° čl. 76.1.a (primjene u vjetrovnoj zoni 600 i 900 N/m^2), dijagonale strane x su maksimalno iskorištene za opterećenje KR 120° čl. 76.1.b ($p = 1300 \text{ N/m}^2$) i KR 120° čl. 77.2.b.I ($p = 900$ i 600 N/m^2), dijagonale strane y za opterećenje Ka 180° , čl. 77.2.b ($p = 900$ i 600 N/m^2) i čl. 76.1.c ($p = 1300 \text{ N/m}^2$). Štapovi konzole su maksimalno iskorišteni za opterećenja: štapovi B1 za KR 120° čl. 76.1.a ($p = 1300 \text{ N/m}^2$), štapovi B2 za KKa 140° i 160° čl. 76.1.a ($p = 900$ i 600 N/m^2), štapovi B3 i B4 za K 180° čl. 76.1.a ($p = 900$ i 600 N/m^2).

Ako se gore navedeni stup primjenjuje u funkciji, recimo kao KR 120° ($p = 1300\text{N/m}^2$), maksimalno će biti iskorištene dijagonale strane x i štapovi B1 na konzolama (ovisno o rasponu) dok ostali elementi konstrukcije neće imati maksimalnu iskoristivost, tj. naprezanja u tim elementima bit će manja, ali to ne znači da se dimenzije tih elemenata mogu smanjiti.

Iz navedenoga se vidi da je maksimalna iskoristivost konstrukcije nekog stupa ustvari skup maksimalnih iskoristivosti pojedinih elemenata konstrukcije za dotično maksimalno opterećenje, tj. za opterećenja koje se mogu pojaviti u dijapazonu primjene tog stupa.

Gledajući stup u sklopu nekog dalekovoda, nastoji se da taj stup bude maksimalno iskorišten, što se, naravno, uvijek ne može, a ponekad i ne želi, postići iz više razloga koji ovise o konfiguraciji terena, situaciji trase, zahtjevima za veću sigurnost pri prijelazu većih vodotoka, važnih komunikacija itd.

4.1.4. Proračun stupa

Stupovi su prostorne čeličnorešetkaste konstrukcije sastavljene od standardnih profila spojenih vijcima. Konstrukcija stupa sastavljena je od ravninskih rešetki te se sve sile koje opterećuju stup projiciraju - rastavljaju na pripadne ravnine. Budući se stupovi u pravilu postavljaju tako da su im konzole u pravcu okomitom na pravac voda, odnosno u pravcu simetrale kuta (pravac x), treba rezultantu sila prilikom proračuna stupa rastaviti na komponente u pravcu x i u pravcu okomitom na njega (pravac y), dakle u pravcu osi konzole i komito na nju. Proizlazi da su kod stupova kvadratičnog ili pravokutnog presjeka ravnine projiciranja sila paralelne sa stranicama stupa.

Pojasnici stupa proračunavaju se na aritmetički zbroj sila u štapovima, koje su uzrokovane dotičnim komponentama a dijagonale se proračunavaju prema silama uzrokovanim onom komponentom koja je paralelna s dotičnom trasom stupa. S obzirom da su stupovi kvadratičnog odnosno pravokutnog tlocrtnog oblika s omjerom stranica najviše 1:1,50 te da se stup prema vrhu sužava i u ravnini djelovanja momenata torzije ima horizontalna ukrućenja (torzioni vezovi), raspodjela momenata torzije vrši se na sve četiri stranice stupa. U tom se smislu moment torzije zamjenjuje sa dva para sila koje djeluju u međusobno paralelnim stranama presjeka u ravnini djelovanja torzionog momenta.

U statičkom smislu stranica stupa se tretira kao ravninski konzolni rešetkasti nosač gdje su štapovi rešetke zgloбно povezani te se u njima pojavljuju aksijalne sile, tlačne ili vlačne. Kao metoda proračuna sila u štapovima rešetke najčešće se primjenjuje Ritterova metoda, uobičajena za ovakve statičke sisteme. Za pojasnike i štapove ispune napregnute tlačnim aksijalnim silama eventualna ekscentričnost sila u odnosu na težišnu os profila ne mora se uzeti u obzir (čl. 285. i 286. Pravilnika; L.1.6).

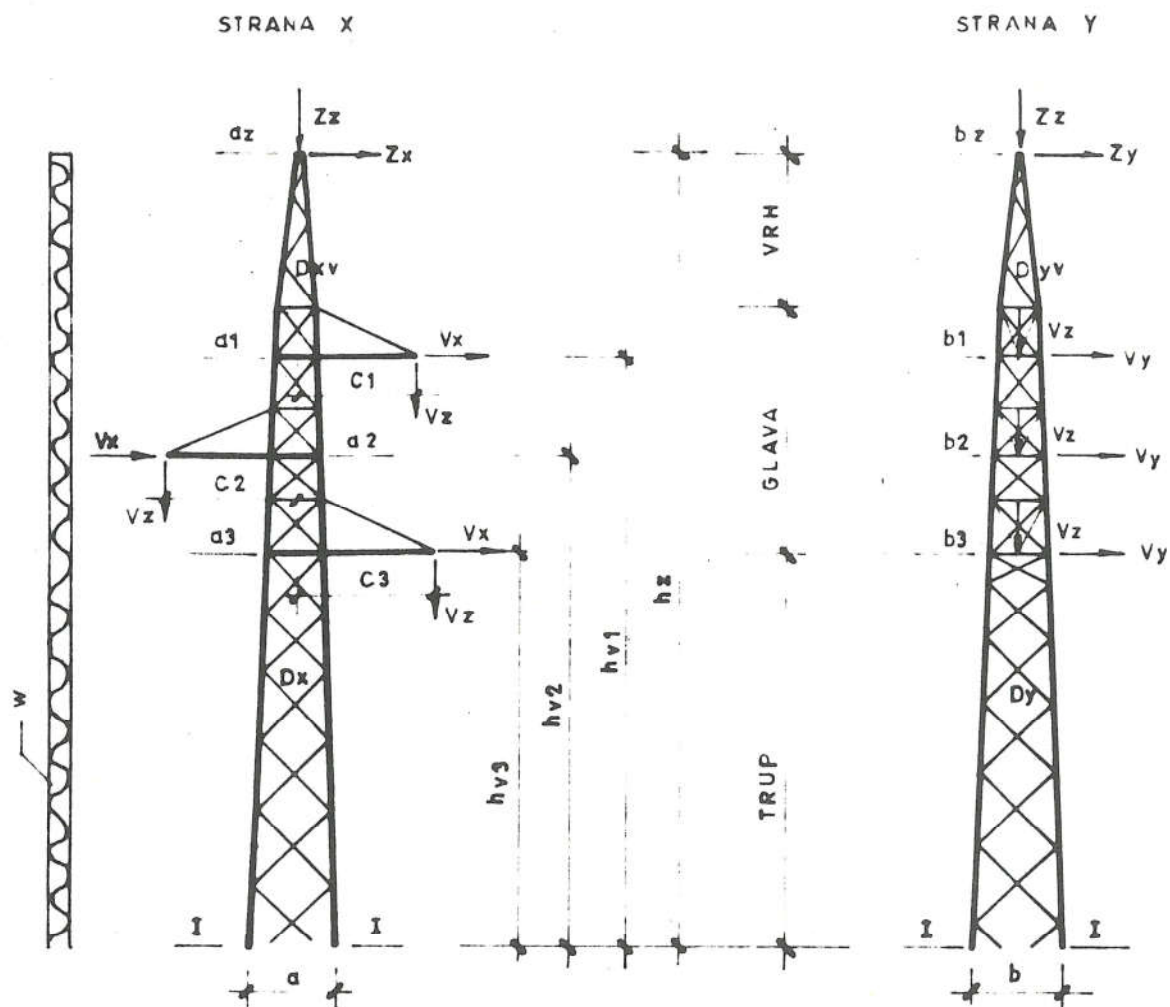
Na slici 4.2.9. prikazana je skica stupa s opterećenjem, a u nastavku su dani numerički izrazi na proračun sila u štapovima konstrukcije stupa.

Moment od vanjskog opterećenja u presjeku I-I

$$M_{I-I} = (Z_x + Z_y) h_z + [\Sigma(V_x + V_y)] (h_{v1} + h_{v2} + h_{v3}) + V_z (c_1 - c_2 + c_3) + M_w$$

Sile u pojasnicima u presjeku I-I

$$T = \frac{M_{I-I}}{2a} + \frac{1}{4} G(h_z) + \frac{1}{4} (Z_z + V_z) \cdot \text{maks. tlačna sila}$$



Skica stupa s opterećenjem
sl. 4.29.

$$V = \frac{\Sigma M_{I-I}}{2a} - \frac{1}{4} \cdot G(h_Z) + \frac{1}{4} (Z_Z + \Sigma V_Z) \text{ min. vlačna sila}$$

Sile u dijagonalama:

$$\text{Vrh stupa} \quad D_{xv} = \frac{Z_x \cdot a_o}{2(4)} \cdot \frac{d}{a_o \cdot a_u}$$

$$D_{yv} = \frac{Z_y \cdot b_o}{2(4)} \cdot \frac{d}{b_o \cdot b_u}$$

Glava i trup stupa:

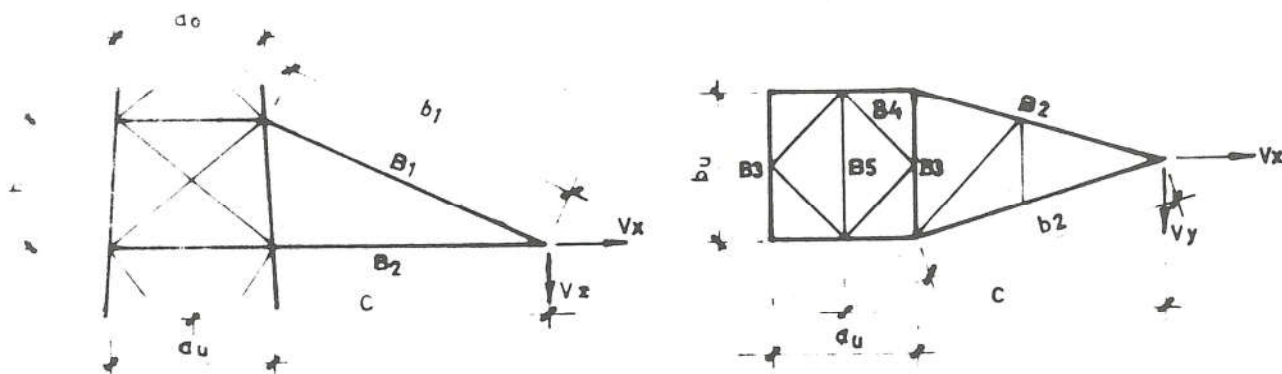
$$D_x = \frac{1}{4} \cdot \frac{d}{a_o \cdot a_u} \cdot [Z_x \cdot a_z + \Sigma V_x(a_1 + a_2 + a_3) + \Sigma M_t \frac{a_u}{b_u} + \frac{V_z \cdot b_2 \cdot a_o}{h} + Q_w \cdot a_e]$$

$$D_y = \frac{1}{4} \cdot \frac{d}{b_o \cdot b_u} \cdot [Z_y \cdot b_z + \Sigma V_y(b_1 + b_2 + b_3) + \Sigma M_t \frac{b_u}{a_u} + Q_w \cdot b_e]$$

$$a_e = a_u - p_{x\%} \cdot e \quad e = \frac{M_w}{Q_w}$$

$$b_e = b_u - p_{y\%} \cdot e$$

Na slici 4.30. prikazana je skica konzola, a u nastavku su dani izrazi za proračun sila u štapovima konzola.



Skica konzole s opterećenjem
Sl. 4.30.

$$B_1 = \frac{V_z b_1}{2h} \sqrt{1 + \left(\frac{b_0}{2b_1}\right)^2}$$

$$B_2 = b_2 \left(\frac{V_z}{2h} + \frac{V_y}{b_u} + \frac{V_x}{2b_2} \right)$$

$$B_3 = \frac{V_y}{2} \left(1 + \frac{c}{a_u} \right)$$

$$B_4 = B_3 \frac{b_4}{b_u} = \frac{B_3}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{a_u}{b_u}\right)^2}$$

Prilikom proračuna svaki slučaj opterećenja tretiran je neovisno jedan o drugome tj. različiti slučajevi opterećenja ne mogu djelovati istodobno. U slučaju izvanrednog opterećenja usvojena je pretpostavka da do prekida vodiča ili zaštitnog užeta može doći samo na jednom mjestu zavješanja.

Za proračun pojedinih dijelova stupa treba odabrati onaj slučaj opterećenja koji prouzrokuje u raznim elementima stupa najveću silu, uzevši u obzir dopuštena naprezanja materijala za normalna i iznimna opterećenja.

Faktor sigurnosti za proračun odnosno za dimenzioniranje iznosi 1,50 za normalne slučajeve opterećenja, a 1,10 za izvanredne slučajeve opterećenja.

Pošto se izračunaju maksimalne sile u štapovima rešetke za najnepovoljnije slučajeve opterećenja, vrši se dimenzioniranje. Proračun stabilnosti elemenata kao dokaz naprezanja obavlja se u skladu s članovima 295-322 Pravilnika i u skladu s Pravilnikom za nosive čelične konstrukcije, Sl. list SFRJ, broj 9/1980. JUS U.E7.081, JUS U.E7.086, JUS U.E7.091 i JUS U.E7.096.

Za materijal konstrukcije prema JUS C.B0.500, oznake Č.0370 (ČN 24-A), dozvoljena naprezanja iznose $\sigma = 16,00 \text{ kN/cm}^2$ za normalne slučajeve opterećenja (faktor sigurnosti 1,50) i $\sigma = 22,00 \text{ kN/cm}^2$ za izvanredne slučajeve opterećenja (faktor sigurnosti 1,10).

Iz već ranije navedenog razloga da pojasnici svojom masom čine više od 50 % mase stupa, nastoji se postići iskoristivost pojasnika 90-100 % za maksimalno opterećenje. Iskoristivost svih dijagonala nije moguće postići u tom iznosu iz razloga što na određivanje dimenzija dijagonala utječe minimalni upotrijebljeni profil (L 35.35.4), odnosno minimalni profil koji odgovara traženom promjeru vijka. U donjoj trećini trupa mjerodavna je stabilnost profila i duljina izvijanja, dok naprezanja iznose i manje od 50 % dozvoljenih.

Kod većih duljina dijagonala potrebno je provesti kontrolu za dvoosno stanje naprezanja u slučaju aksijalne sile u dijagonali i utjecaja pritiska vjetra okomito na ravninu stranice u kojoj se nalazi dijagonala. To naročito vrijedi kod stupova koji se proračunavaju za istodobno djelovanje leda i vjetra, gdje se javlja povećani pritisak vjetra na veću, zaleđenu, površinu dijagonala.

U zadnje se vrijeme proračun sile u štapovima rešetkaste konstrukcije stupa vrši na elektroničkom računalu, gdje se osim već spomenutom Ritterovom metodom, sile u štapovima rešetke računaju metodom deformacija - Program STRESS i metodom konačnih elemenata - Program SAP-V.

Na primjer, radi usporedbe proračuna stupa metodom Ritterovom izvršen je proračun stupa po programu SAP-V koji uzima u obzir deformacije nastale elementima konstrukcije stupa zbog pripadnih sila. U definiranju statičkog sistema postavljeno je da su pojasni štapovi i štapovi B2 na konzolama zbog svojih dominantnih dimenzija neprekinuti nosači, a štapovi ispune (dijagonale, ostali štapovi konzola) zglobovno vezani za njih. Na taj način se u štapovima ispune javljaju aksijalne sile, a u pojasnim štapovima i štapovima B2 na konzolama javljaju se osim aksijalnih sila još i poprečne sile te momenti savijanja.

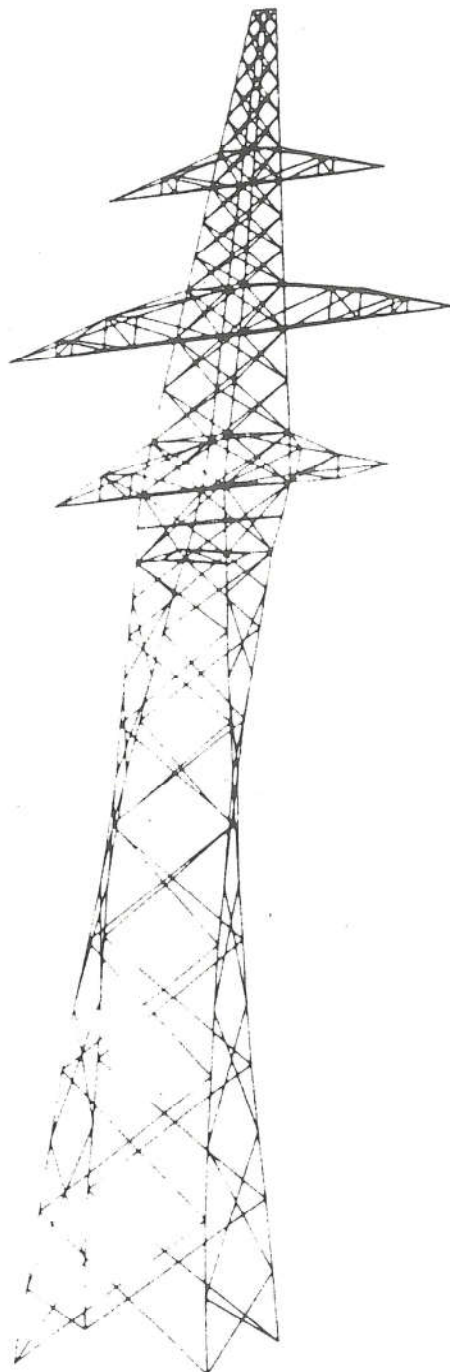
Na slici 4.31. prikazana je aksonometrijska slika zateznog stupa tipa "bačva" iscrtana na ploteru. Pomaci, deformacije stupa, radi bolje uočljivosti, prikazani su u znatno većem mjerilu.

Prikazana deformacija stupa nastala je za slučaj opterećenja Čl. 76.1a (kutno krajnji, kut loma 120°).

Na primjer, pomaci vrha stupa za ovaj slučaj opterećenja iznose u smjeru x 8,2 cm, u smjeru y -14,20 cm, u smjeru z - 0,16 cm, što podudara s rezultatima ispitivanja stupa.

O usporedbi rezultata proračuna stupa izvršenog po programu SAP-V te rezultata dobivenih ispitivanjem tog istog stupa na ispitnoj stanici (probno opterećenje), više će biti riječi u poglavlju o ispitivanju stupova.

PROJEKCIJA: STUP, ŽICA
STATIČKI LADNI CASI: 1.8
KOP: 20 1000 15-35
KAD: 1.8 ALFA: 10.00 BETA: 10.00
REFLEKCIJA: SCALE FACTOR: 551.00



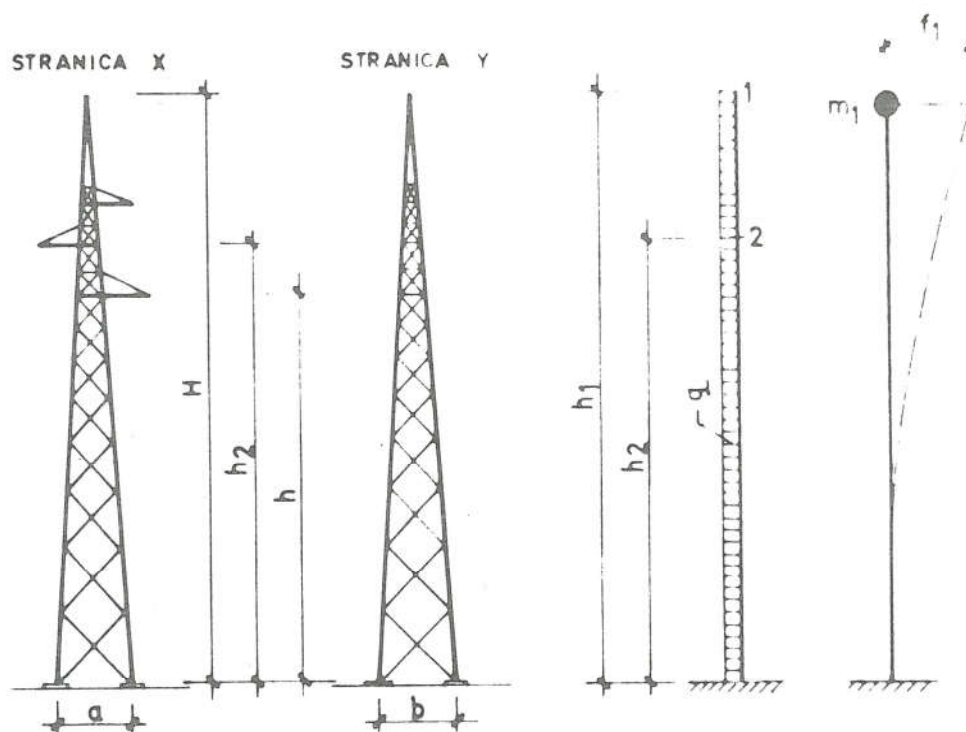
Aksonometrijska slika zateznog stupa tip "bačva" iscrtana na ploteru
Sl. 4. 31.

Budući da trase dalekovoda prolaze područjima različitog potresnog inteziteta, u proračunu stupova potrebni dinamički parametri odabrani su za područje IX stupnja potresnog inteziteta prema MCS skali. Za maksimalnu potresnu zonu, za karakteristike lošeg tla, provodi se proračun stupova na potres u skladu s Pravilnikom o tehničkim normativima (Sl.list SFRJ, br. 31/81).

Sam proračun svodi se na odabiranje dinamičkog sistema, odnosno dinamičke sheme, dinamičkih karakteristika za određivanje oblika i perioda vibracija te određivanje seizmičke sile i odgovarajućih vrijednosti sila u elementima konstrukcije metodom statike.

Kao osnovni zadatak postavlja se određivanje inteziteta potresnog djelovanja na konstrukciju stupa, tj. definiranje potresnog opterećenja. Može se smatrati da je odabrani konzolni štap kao zamjenjujući dinamički sistem uklješten

Potrebno je odrediti period slobodnih vibracija za sistem s jednim stupnjem slobode. Masa konstrukcije je reducirana smještena na vrhu štapa. Ukupna koncentraciona masa sistema dobije se ako se još pribroji i masa stalnog tereta koji djeluje na mjestu hvatišta rezultante sila koje djeluju na stup, ali će se zbog jednostavnosti smjestiti na vrh štapa (slika 4.32).



Hvatišta sila pri razmatranju vibracija prilikom potresa
Sl.4.32.

$$m_1 = m_{\text{red}} + \frac{h_2}{h_1} m$$

$$m_{\text{red}} = m \frac{\int_0^H x^2(x) dx}{X_H^2} \quad X(x) = X_H \cdot \left(1 - \cos \frac{\pi x}{2H}\right)$$

$$m_{\text{red}} = m \cdot 0,23H = \frac{G_{v1}}{g H} \cdot 0,23H = \frac{0,23 G}{g} \approx \frac{1}{4} \cdot \frac{G_{v1}}{g}$$

$$m_1 = \frac{1}{g} \cdot \left(\frac{G_{v1}}{4} + \frac{h_2}{h_1} \cdot G_{ST} \right) \quad Q_1 = m_1 \cdot g$$

Period slobodnih vibracija:

$$T = 2\pi \sqrt{m_1 \times \delta_{ii}} = 2\pi \sqrt{\frac{Q_i \delta_{ii}}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{f_i}{g}}$$

Za period slobodnih varijacija potrebno je naći veličinu horizontalnog pomaka (f_1) na mjestu točke 1, a zbog sile Q_1 .

Prema rezultatima proračuna teoretskih elastičnih progiba može se zaključiti da je utjecaj deformacija dijagonala na ukupni progib zanemariv te je došlo do dominantnog utjecaja elastičnih deformacija pojasnika. Zbog podatljivosti vijčanih spojeva rešetkasti stup dobiva dodatni progib kao i zbog pomaka temelja, što se za dalekovodne stupove temeljene na rasčlanjenim temeljima može zanemariti.

Ukupna horizontalna seizmička sila određuje se prema izrazu $S = K \cdot G$

K - ukupni seizmički koef. za horizontalni smjer

G - ukupna masa

$$K = K_O \cdot K_S \cdot K_D \cdot K_P$$

Koeficijenti K_O , K_S , K_D i K_P određuju se Pravilnikom. Prema propisima računski utjecaj isključuje se u slučaju djelovanja potresa, dok su dopušteni naponi čelika za 50 % veći od odgovarajućih napona propisanih za osnovno opterećenje.

Usporedbom vrijednosti sila u štapovima rešetkaste konstrukcije stupa dobivenih za osnovno opterećenje i sila dobivenih za slučaj potresnog opterećenja ogleda se značaj potresnog opterećenja za stupove dalekovoda.

Prema dosadašnjim proračunima i istraživanjima utjecaj seizmičkog opterećenja na čeličnorešetkaste konstrukcije dalekovodnih stupova nije mjerodavno s aspekta dimenzioniranja i stabilnosti konstrukcije, jer su vrijednosti osnovnog opterećenja (računajući i opterećenje vjetra) znatno veće.

4.1.5. Tipizacija stupova

4.1.5.1. Tipizacija stupova sa stajališta ekonomičnosti primjene

U sklopu jednog dalekovoda imamo stupove kao nosače vodiča i zaštitnog užeta. Po funkciji su to nosivi i zatezni stupovi. Sa stajališta same izvedbe bilo bi najjednostavnije kad bi se primjenjivao samo jedan nosivi i jedan zatezni stup, i to za dalekovode u svim geografskim područjima, bez obzira na specifičnosti klimatskih i meteoroloških uvjeta. Naravno da bi takav stup, recimo, nosivi morao biti proračunat za najteže klimatske uvjete, a njegova primjena u područjima sa znatno slabijim opterećenjima vjetra bila bi skupa, tj. neekonomična. Kad se gleda cijenu izgradnje jednog dalekovoda, vidi se da građevinski dio objekta, znači stupovi i temelji, čini više od 60 % ukupne cijene dalekovoda. Imajući na umu stalan porast cijene čelika i ostalih građevinskih materijala potrebnih za gradnju, proizlazi da su više nego opravdani naponi za pronalaženje što lakših stupova za određene uvjete opterećenja u primjeni. Najveće uštede dobile bi se kad bi se za svaki dalekovod projektirao skup stupova, pa čak i po stupnim mjestima, gdje bi se za konkretne uvjete opterećenja stvarno dobili najlakši stupovi. No to bi nas odvelo u drugu krajnost i došlo bi do velikog broja različitih stupova u primjeni, a to znači velik broj radioničkih razrada, što dovodi do problema pri narudžbi stupova za izvedbu i pri održavanju dalekovoda pa bi u konačnici, bez obzira na manju početnu cijenu lakših stupova, došli do većih troškova. U tom smislu tipizacija stupova sa stajališta ekonomičnosti primjene znači pronalaženje optimalnog broja stupova koji će svaki za sebe, uz maksimalnu iskoristivost konstrukcije, zadovoljavati primjenu za određene uvjete

opterećenja. Projektiranjem stupova za konkretne uvjete opterećenja dolazi se doodređenog broja stupova koji, ukupno gledajući, pokrivaju i zadovoljavaju sve uvjete opterećenja.

Analizom ekonomičnosti primjene pojedinih projektiranih stupova došlo se do optimalnog broja stupova, tako da za jednosistemske (stupovi tipa "jela") i dvosistemske vodove (stupovi tipa "bačva") imamo po tri nosiva i po tri zatezna stupa.

Kao specijalni slučaj pojavljuje se tip zateznog stupa ("jela" i "bačva") za prijelaz nadzemnog voda u kabelski. Znači za jednosistemske vodove imamo sedam tipova stupova, a isto tako i za dvosistemske, što čini ukupno 14 tipova stupova.

4.1.5.1.1. Nosivi stupovi

Za jednosistemske vodove primjenjuju se stupovi tipa "jela". Za vjetrovnu zonu s tlakom vjetra 600 N/m^2 i 750 N/m^2 primjenjuje se glava stupa s vertikalnim razmakom konzola 2.20 m (slika 4.33a) dok za vjetrovne zone s tlakom vjetra 900 , 1100 i 1300 N/m^2 imamo vertikalni razmak konzola 2.50 m (slika 4.33b) tako da imamo dvije siluete nosivih stupova tipa "jela".

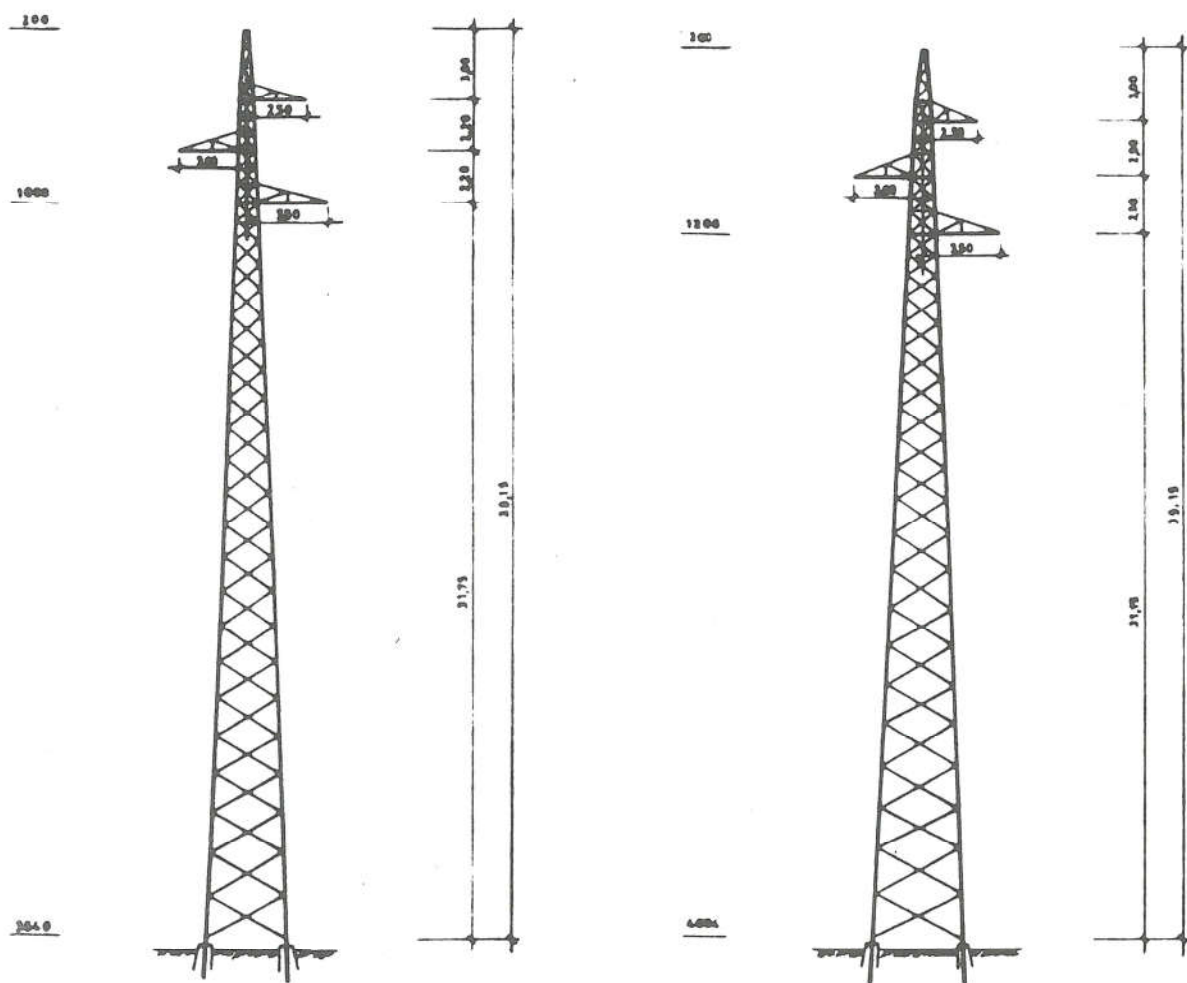
Nakon provedenog statičkog proračuna, dimenzioniranja, provedene analize stupnja iskoristivosti te usporedbom masa stupova za pojedina opterećenja, ekonomske su analize pokazale da ima opravdanja za primjenu triju nosivih stupova tipa "jela".

Prvi stup je proračunat za vjetrovnu zonu s tlakom vjetra 600 N/m^2 što mu je i osnovna primjena. Nadalje, može se primjenjivati i za vjetrovnu zonu s tlakom vjetra 750 N/m^2 , s nešto manjim rasponom.

Drugi stup je proračunat za vjetrovnu zonu s tlakom vjetra 900 N/m^2 što mu je osnovna primjena. Može se primjenjivati i za vjetrovnu zonu s tlakom vjetra 750 N/m^2 sa nešto većim rasponom.

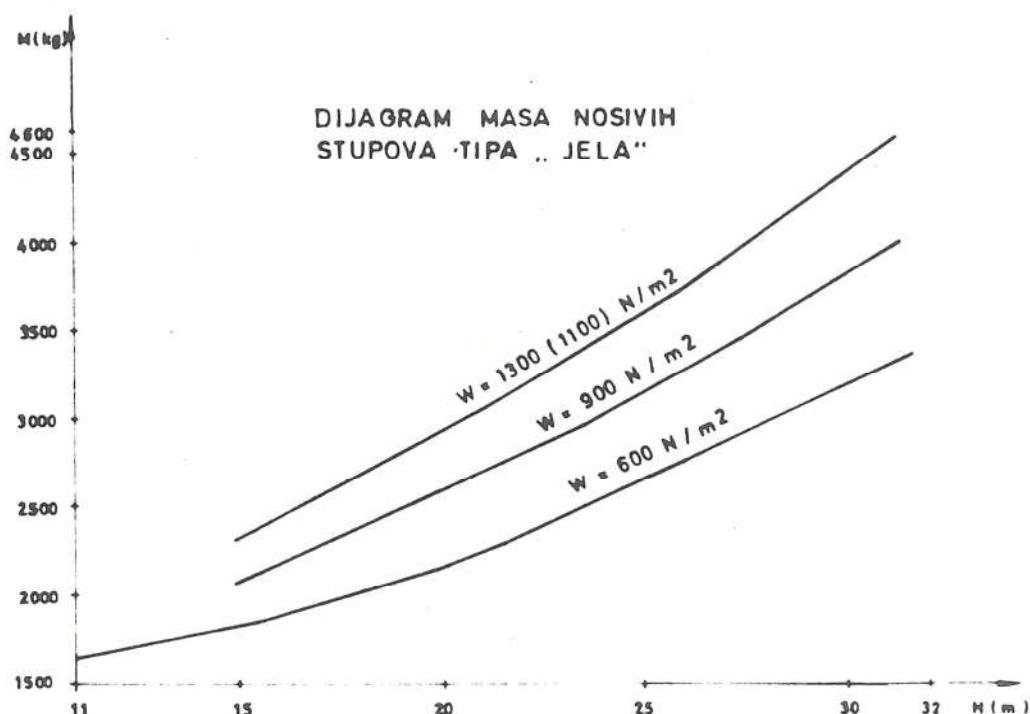
Treći stup je proračunat za vjetrovnu zonu s tlakom vjetra 1300 N/m^2 .

Osnovna mu je primjena za tu vjetrovnu zonu i za vjetrovnu zonu s tlakom vjetra 1100 N/m^2 (s nešto većim rasponom). Na slici 4.34. prikazana je dijagram masa triju nosivih stupova tipa "jela" iz kojeg se vidi da razlika u masi između ta tri stupa za prosječnu visinu od 20 m iznosi $350\text{--}400 \text{ kg}$ što je razlika koja s ekonomskog aspekta ima i opravdanja.



Nosivi stup tipa "jela"
Sl. 4.33.

Iz dimenzioniranja se vidi da je razlika u pojasnicima takva da se npr. od najlakšeg stupa povećavaju za jedan profil. Prema tome, pokušaj ubacivanja još jednog stupa za recimo osnovnu primjenu u vjetrovnoj zoni s tlakom vjetra 1100 N/m^2 doveo bi do razlike u masi od 50 do 100 kg, što nema ekonomskog opravdanja. Isto tako pokušaj smanjivanja broja stupova doveo bi do znatne razlike u masi, što bi poskupilo primjenu za vodove gdje takvi stupovi nisu maksimalno iskorišteni.



Mase nosivih stupova tipa "jela"
Sl. 4. 34.

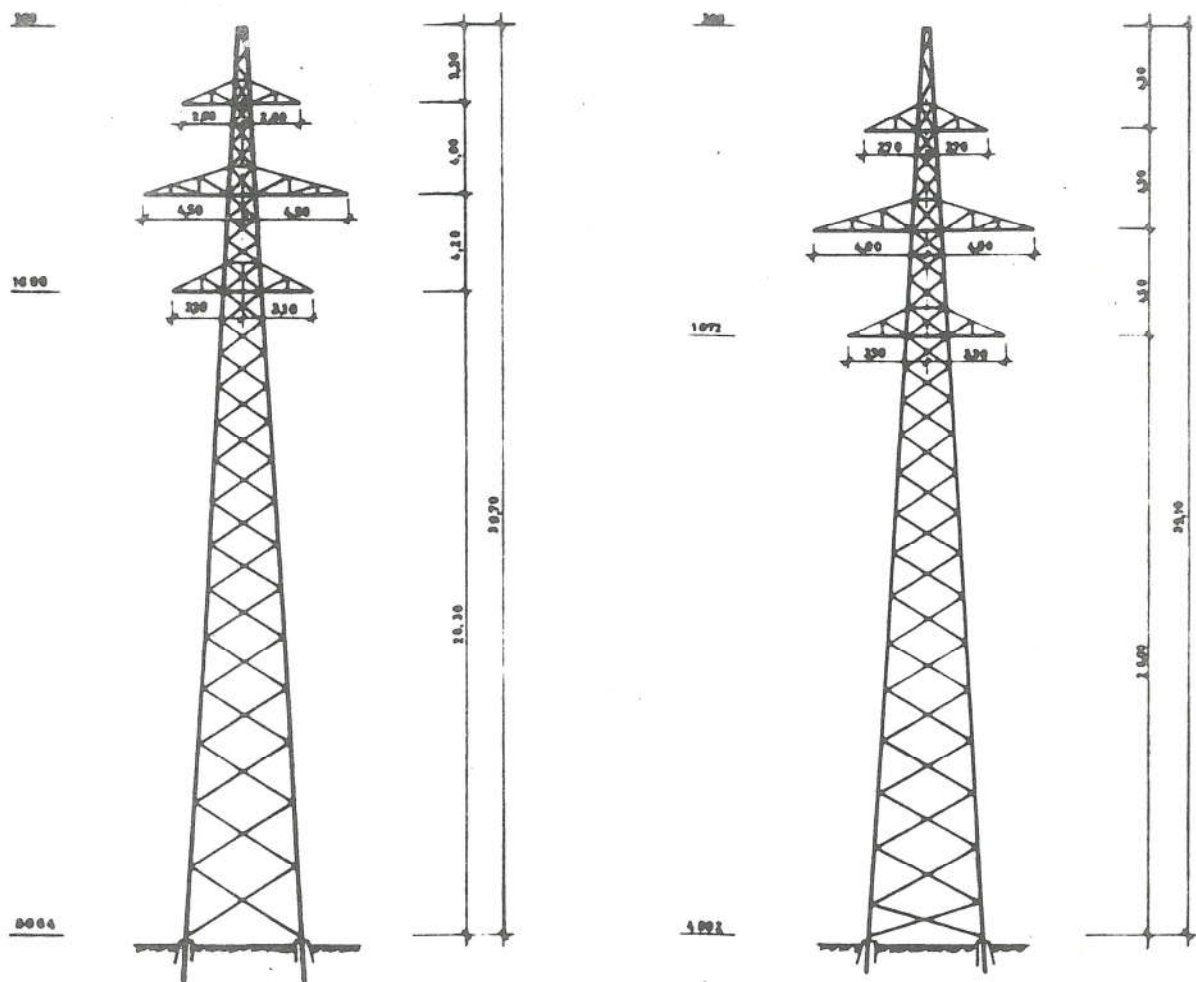
Za dvosistemske vodove primjenjuju se stupovi tipa "bačva". Za vjetrovnu zonu s tlakom vjetra 600 i 750 N/m^2 primjenjuje se glava stupa prema slici 4.35a, a za vjetrovne zone s tlakom vjetra 750 , 900 , 1100 i 1300 N/m^2 primjenjuje se glava stupa prema skici 4.35b, tako da imamo dvije siluete nosivih stupova tipa "bačva".

Nakon provedenoga statičkog proračuna s dimenzioniranjem elementata konstrukcije, provedene analize stupnja iskoristivosti te usporedbe masa stupova za pojedina optećenja, ekonomske su analize pokazale da ima opravdanja primjena triju nosivih stupova tipa "bačva".

Prvi stup je proračunat za vjetrovnu zonu s tlakom vjetra 600 N/m^2 što mu je i osnovna primjena. Može se primjenjivati i za vjetrovnu zonu s tlakom vjetra 750 N/m^2 s nešto manjim rasponom.

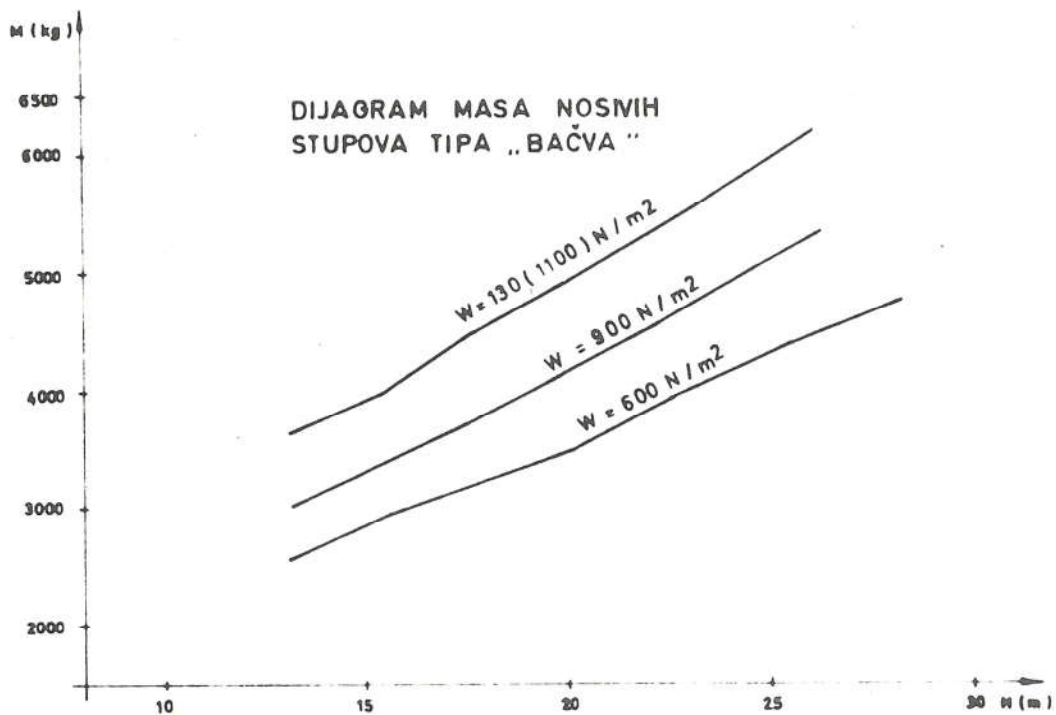
Drugi stup je proračunat za vjetrovnu zonu s tlakom vjetra 900 N/m^2 što mu je osnovna primjena a može se primjenjivati i za vjetar 750 N/m^2 , s nešto većim rasponom.

Treći stup je proračunat za vjetrovnu zonu s tlakom vjetra 1300 N/m^2 a osnovna mu je primjena i za vjetar 1100 N/m^2 s nešto većim rasponom.



Nosivi stup tip "bačva"
Sl. 4.35.

Na slici 4.36. prikazan je dijagram masa triju nosivih stupova tipa "bačva" iz kojeg se vidi da razlika u masi između ta tri stupa za prosječnu visinu od 20 m iznosi 750-800 kg. Iz dimenzioniranja se vidi da je razlika u pojasnicima takva da se npr., od najlakšeg stupa prema najtežem stupu pojasnici povećavaju za jedan profil. Prema tome, pokušaj ubacivanja još jednog stupa za recimo osnovnu primjenu u vjetrovnoj zoni s tlakom vjetra 1100 N/mm^2 doveo bi do razlike u masi do 100-150 kg, što nema ekonomskog opravdanja. Isto tako pokušaj smanjivanja broja stupova doveo bi do znatnije razlike u masi što također nema ekonomskog opravdanja jer bi to poskupjelo primjenu takvih stupova za vodove gdje oni nisu maksimalno iskorišteni.



Mase nosivih stupova tipa "bačva"
Sl. 4.36.

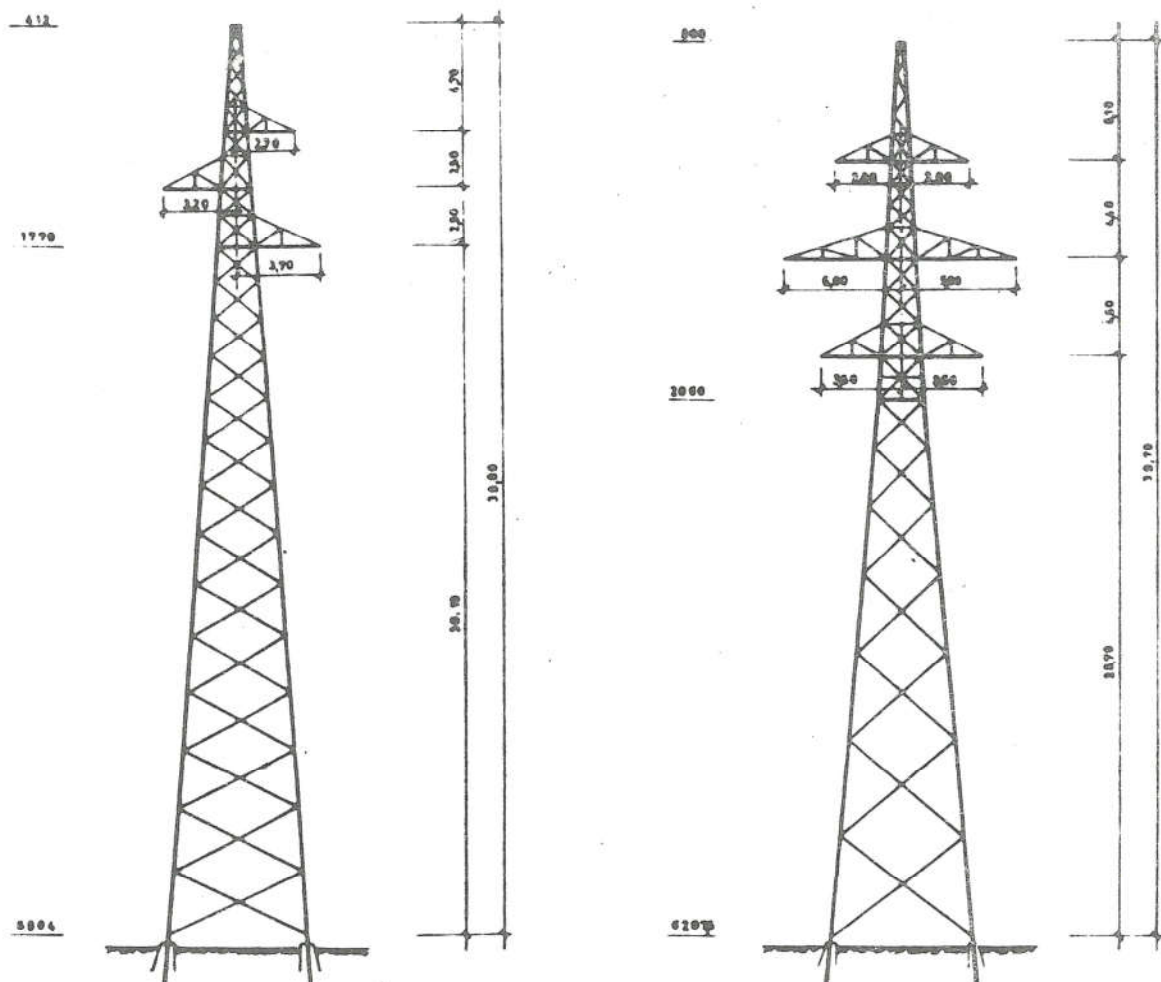
Tipski stupovi su projektirani za osnovne vjetrovne zone i za ukupnu visinu stupa do 40 m. U slučaju primjene stupa za ukupnu visinu veću od 40 m, dio stupa ulazi u veću vjetrovnu zonu a zavisno od toga i zaštitno uže ili vodiči. Primjenom manjeg vjetrovnog raspona, može se postići primjenljivost tipskog stupa za nešto veće opterećenje stupa u zoni preko 40 m.

4.1.5.1.2. Zatezni stup

Za jednosistemske vodove primjenjuju se stupovi tipa "jela" (slika 4.37a), a za dvosistemske vodove primjenjuju se stupovi tipa "bačva" (slika 4.37b).

Na broj zateznih stupova utječe ekonomičnost primjene pojedinih projektiranih stupova za određene uvjete opterećenja, koji prvenstveno ovise o iznosu sile zatezanja vodiča i zaštitnog užeta, te o kutu pod kojim se stup predviđa u situaciji primjene, a tek onda i o tlaku vjetra u određenoj vjetrovnoj zoni.

U vjetrovnim zonama s tlakom vjetra 600, 750 i 900 N/m² osnovno naprezanje vodiča predviđa se 95 N/mm², a zaštitnog užeta 150 N/mm², dok se u vjetrovnim zonama s tlakom vjetra 1100 i 1300 N/m² predviđa naprezanje vodiča od 90 N/mm².



Zatezni stupovi tipa a) "jela", tipa b) "bačva"
Sl. 4.37.

Nakon provedenog statičkog proračuna s dimenzioniranjem elemenata konstrukcije, analize iskoristivosti konstrukcije (o čemu je više rečeno u poglavlju 4.1.3.2) te usporedbe masa stupova za pojedina opterećenja, ekonomske su analize pokazale da ima opravdanja primjena triju zateznih tipova stupa "jela" i triju zateznih tipova stupa "bačva".

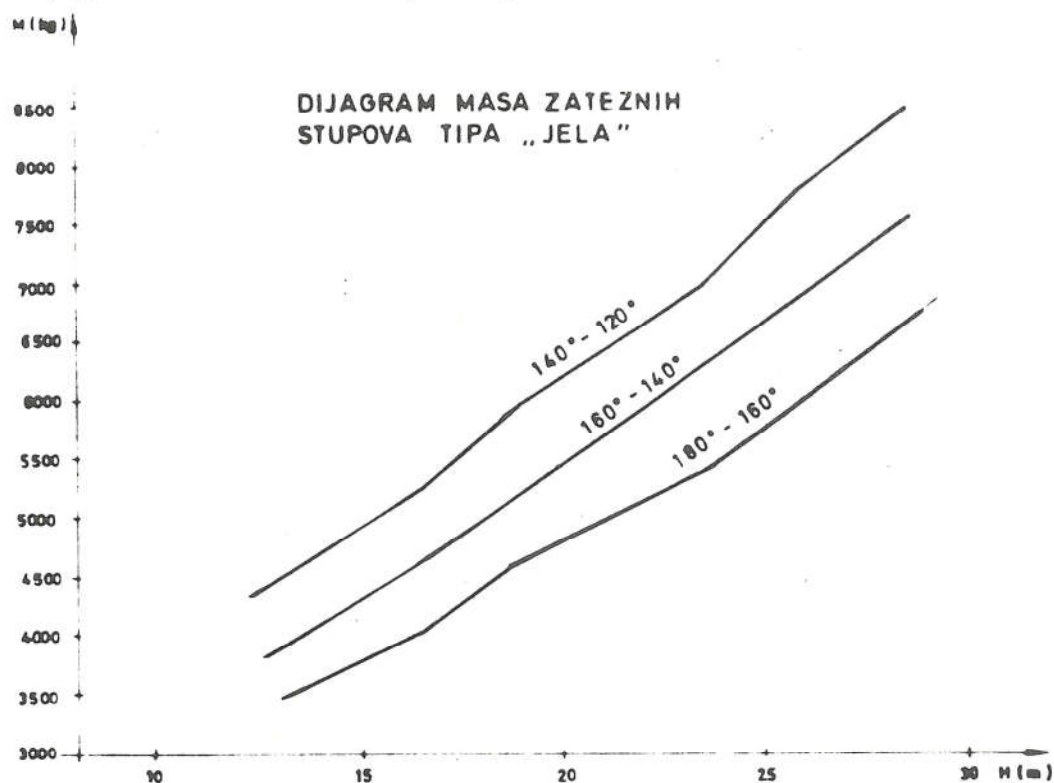
Prva grupa zateznih stupova oblika "jela" i "bačva" proračunata je za primjenu u svim vjetrovnim zonama $600 - 1300 \text{ N/m}^2$ i to za funkcije i kutno rasteretni (KR) $180^\circ - 165^\circ$ kutno rasteretni s diferencijalnim vlakom (KRd) $180^\circ - 165^\circ$.

Druga grupa stupova tipa "jela" i "bačva" proračunata je za primjenu u svim vjetrovnim zonama, i to za funkcije: KR $165^\circ - 125^\circ$, KRd $165^\circ - 130^\circ$, KP $180^\circ - 135^\circ$ (kutno prelazni).

Treća grupa stupova "jela" i "bačva" proračunata je za primjenu u svim vjetrovnim zonama, i to za funkcije: KR 125° - 120°, KRd 130° - 120°, KP 135° - 120°, KKA 180° - 120°.

Kao četvrti tip zateznih stupova oblika "jela" i "bačva" javlja se poseban stup za prijelaz nadzemnog voda u kabelski. To je u stvari stup iz treće grupe, znači stup projektiran za najoštrije uvjete opterećenja (140° - 120°, KKa 180° - 120°), koji ima na sebi još dodatne pomoćne konzole za kabelske glave i odvodnike prenapona. Ovaj stup se primjenjuje za sve uvjete prijelaza 180° - 120°.

Iz prikazanog se vidi da ako uzmemo veličinu naprezanja vodiča i zaštitnog užeta kao konstantu, ekonomičnost primjene zateznih stupova određena je prvenstveno kutem pod kojim se stup predviđa u primjeni, tj. stupovi imaju maksimalnu iskoristivost konstrukcije za spomenute uvjete, kutove primjene. Na slici 4.38. prikazan je dijagram masa zateznih stupova tipa "jela", a na slici 4.39. dijagram masa zateznih stupova tipa "bačva".



Mase zateznih stupova tipa "jela"
Sl. 4.38.

Iz dijagrama se vidi da razlika u masi zateznih stupova tipa "jela" za prosječnu visinu od 16 m iznosi 500-600 kg, a za zatezne stupove tipa "bačva" razlika iznosi 700-800 kg.

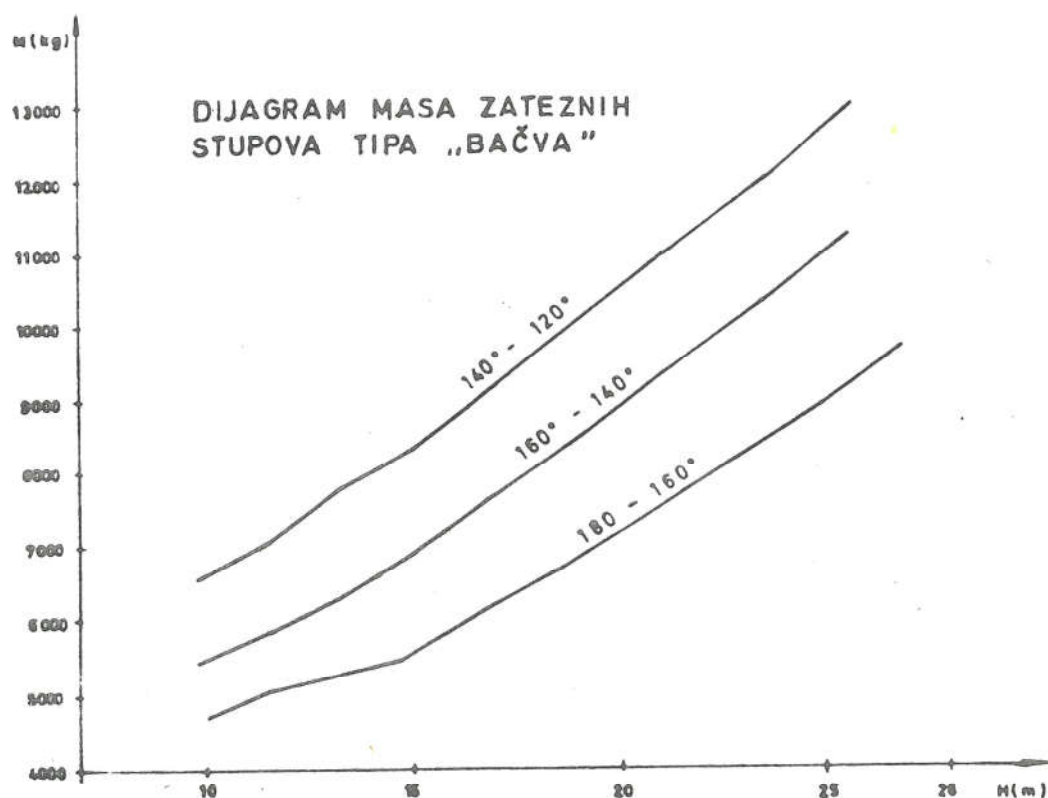
Iz dimenzioniranja se vidi da je razlika u pojasnicima takva da se idući od najlakšeg stupa (180°-160°) prema najtežem stupu pojasnici povećavaju za jedan

profil. Prema tome eventualni pokušaj ubacivanja još jednog lakšeg stupa, bilo kojeg od ova tri, doveo bi do stupa koji bi bio možda lakši 150-200 kg za tip "jela" ili 200-250 kg za tip "bačva", što nema ekonomskog opravdanja zato što se radi o zateznim stupovima kojih je u trasi dalekovoda relativno malo.

Stupanj iskoristivosti čelične konstrukcije stupa za određene uvjete opterećenja može se izraziti pomoću Ryleova izraza za koeficijent k (L4.11), gdje se masa stupa stavlja u odnos sa ukupnom visinom stupa i ukupnim momentom opterećenja stupa. U tabeli 4.21. dane su vrijednosti koeficijenta k za stupove 110 kV tipa "jela" i "bačva".

Vrijednosti koeficijenta k u svijetu variraju od 0,20 do 0,55 te ovise o sistemu opterećenja, vrsti čelika i tipu konstrukcije. Tako se npr. ti koeficijenti u Austriji kreću između 0,27 i 0,40 u Francuskoj 0,33-0,55, u SR Njemačkoj 0,35-0,45 itd.

Na osnovi izračunatih vrijednosti koeficijenta k za tipske stupove 110 kV može se zaključiti da su oni, po svojoj masi i stupnju iskoristivosti konstrukcije, u okviru standardnih evropskih rezultata.



Mase zateznih stupova tipa "bačva"
Sl. 4.39.

Tablica 4.21.

Koeficijent k kao pokazatelj iskoristivosti čelične konstrukcije

NOSIVI STUPOVI			ZATEZNI STUPOVI		
OBLIK	Tlak Vjetra N/m^2	$K = \frac{G}{H\sqrt{M}}$	OBLIK	Kut loma trase (°)	$K = \frac{G}{H\sqrt{M}}$
"JELA"	600	0,275	"JELA"	180-160	0,340
	900	0,287		160-140	0,335
	1300	0,265		140-120	0,325
"BAČVA"	600	0,310	"BAČVA"	180-160	0,375
	900	0,285		160-140	0,365
	1300	0,300		140-120	0,370

Kad se govori o ekonomičnosti, onda treba reći da se kod primjene zateznih stupova u trasi dalekovoda nastoji, radi ekonomičnosti, primjeniti što manji broj tipova zateznih stupova. Tako npr., ako u trasi nekog dalekovoda imamo veći broj stupnih mjesta koja pokrivaju dva tipa zateznih stupova, a samo jedno stupno mjesto pokriva treći tip stupa, ima ekonomske opravdanosti da se taj treći tip izbaci, a umjesto njega ubaci jedan od ona dva tipa stupa. Negativni efekt povećanja mase na tom stupnom mjestu će se kompenzirati manjim brojem tipova stupova, a to znači uštedama prilikom narudžbe za izvedbu konstrukcije i samom izvedbom konstrukcije te prilikom održavanja dalekovoda u pogonu.

Na sličan način postiže se ekonomičnost primjene stupova u sklopu nekog dalekovoda tako da se primjenjuje tipski stup sa što manjim brojem nazivnih visina, pa čak i na račun veće mase stupova na nekim stupnim mjestima. Opet će se negativni efekt povećanja mase kompenzirati jednostavnijom narudžbom za izvedbu, samom izvedbom i održavanjem.

Kao što se vidi, dosljedno inzistiranje na uštedi u masi čelične konstrukcije u primjeni ne vodi uvijek i do manje cijene koštanja dalekovoda u izgradnji i održavanju.

U smislu ekonomičnosti primjene tipskih stupova za gradnju dalekovoda, osim osnovnog određivanja klimatskih i meteoroloških prilika u području kroz koje prolazi trasa dalekovoda te pažljivog izbora trase, ekonomičnost se postiže adekvatnim razmještajem stupova, uzimajući u obzir maksimalne mogućnosti tipskih stupova te nastojanjem, ako je moguće, da se broj upotrebljenih tipova stupova i broj nazivnih visina tih stupova svede na najmanju moguću mjeru.

4.1.5.2. Tipizacija stupova sa stajališta izbora elemenata konstrukcije

Odredjivanjem uvjeta opterećenja, geometrijskog oblika stupova i dimenzioniranja došlo se do ukupno 14 tipskih stupova za jednosistemske i dvosistemske vodove. Pri tom su odredjene dimenzije profila elemenata konstrukcije.

Daljnji korak je tipizacija sa stajališta izbora elemenata konstrukcije gdje se, uzimajući u obzir raspoloživi asortiman standardnih profila, uskladjuju dimenzije profila pojedinih elemenata konstrukcije. Pri tom se nastoji odrediti optimalan broj upotrijebljenih profila i vijaka. Prednosti odredjivanja optimalnog broja upotrijebljenih profila i vijaka su višestruke. Tipiski stupovi za vodove 110 kV rade se od poznatog asortimana profila i vijaka, jednostavna je izrada konstrukcije na osnovi definiranih radioničkih nacрта i, što je možda najvažnije, na osnovi poznatog asortimana profila može se kod proizvođača profila planirati dugoročne potrebe tih profila, što bi uklonilo sve moguće probleme u vezi s nestašicom pojedinih profila na tržištu. U smislu izbora elemenata konstrukcije nastoji se broj upotrijebljenih profila i vijaka po stupu svesti na najmanju moguću mjeru, što se ponekad može postići tek uz neznatan porast mase stupa. U svrhu jednostavnosti izvedbe konstrukcije opravdano je nastojanje da se, gdje je to moguće, štapovi ispune spajaju jednim vijkom. To je moguće postići kod svih nosivih stupova, a djelomično i kod nekih lakših zateznih stupova. Istina je da veći profil vijka za vezu nalaže i nešto veći profil štapa ispune, međutim veća masa profila štapa kompezira se s masom čvornih limova koji više nisu potrebni te jednostavnijom izvedbom. Radi uštede u masi izbjegava se upotreba velikih čvornih limova, tako da je u pravilu veza na čvorni lim ostvarena sa dva vijka.

U nastavku se daje pregled standardnih profila, limova i vijaka koji se upotrebljavaju za izradu tipskih stupova 110 kV.

Standardni L profili JUS.C.BO.500

1.	L 35.35.4	Č.0371
2.	L 40.40.4	Č.0371
3.	L 45.45.5	Č.0371
4.	L 45.45.4	Č.0371
5.	L 50.50.4	Č.0371
6.	L 50.50.5	Č.0371, Č.0561
7.	L 55.55.5	Č.0371, Č.0561
8.	L 60.60.5	Č.0371, Č.0561
9.	L 60.60.6	Č.0371, Č.0561
10.	L 65.65.6	Č.0371, Č.0561

11.	L 65.65.7	Č.0371, Č.0561
12.	L 70.70.6	Č.0371, Č.0561
13.	L 70.70.7	Č.0371, Č.0561
14.	L 75.75.8	Č.0371
15.	L 80.80.6	Č.0371, Č.0561
16.	L 80.80.8	Č.0371, Č.0561
17.	L 90.90.7	Č.0371, Č.0561
18.	L 90.90.9	Č.0371, Č.0561
19.	L 100.100.8	Č.0371, Č.0561
20.	L 100.100.10	Č.0371, Č.0561
21.	L 110.110.10	Č.0371, Č.0561
22.	L 120.120.11	Č.0371, Č.0561
23.	L 130.130.12	Č.0371, Č.0561
24.	L 140.140.13	Č.0371, Č.0561
25.	L 150.150.12	Č.0561
26.	L 150.150.14	Č.0561
27.	L 160.160.17	Č.0561
28.	L 200.200.16	Č.0561
29.	L 200.200.18	Č.0561

Standardni vijci JUS.M.B1.023

1.	Ø 12	5.6
2.	Ø 14	5.6
3.	Ø 16	5.6
4.	Ø 20	5.6
5.	Ø 24	5.6
6.	Ø 27	5.6
7.	Ø 30	5.6

Standardni limovi JUS C.BO.500

1.	# 4 mm	Č.0371
2.	# 6 mm	Č.0371
3.	# 8 mm	Č.0371
4.	# 10 mm	Č.0371, Č.0561
5.	# 12 mm	Č.0371, Č.0561
6.	# 14 mm	Č.0371, Č.0561
7.	# 16 mm	Č.0371, Č.0561
8.	# 18 mm	Č.0371, Č.0561
9.	# 20 mm	Č.0371, Č.0561

Standardni NPU profili JUS.C.B0.500

1. NPU 65 Č.0371
2. NPU 80 Č.0371
3. NPU 100 Č.0371
4. NPU 120 Č.0371

Uz racionalno dimenzioniranje elemenata konstrukcije i uskladjivanja profila limova i vijaka po stupovima došlo se do broja upotrijebljenih standardnih profila, limova i vijaka po stupovima, tako da se po jednom stupu upotrebljava 10-14 različitih profila, 2-4 različite debljine limova i tri, maksimalno četiri, različita profila vijka. Kod odabiranja profila vijaka vodjeno je računa o time da na jednom konstruktivnom elementu budu maksimalno tri različita profila vijka, što znatno olakšava programiranu strojnu izvedbu u radionici.

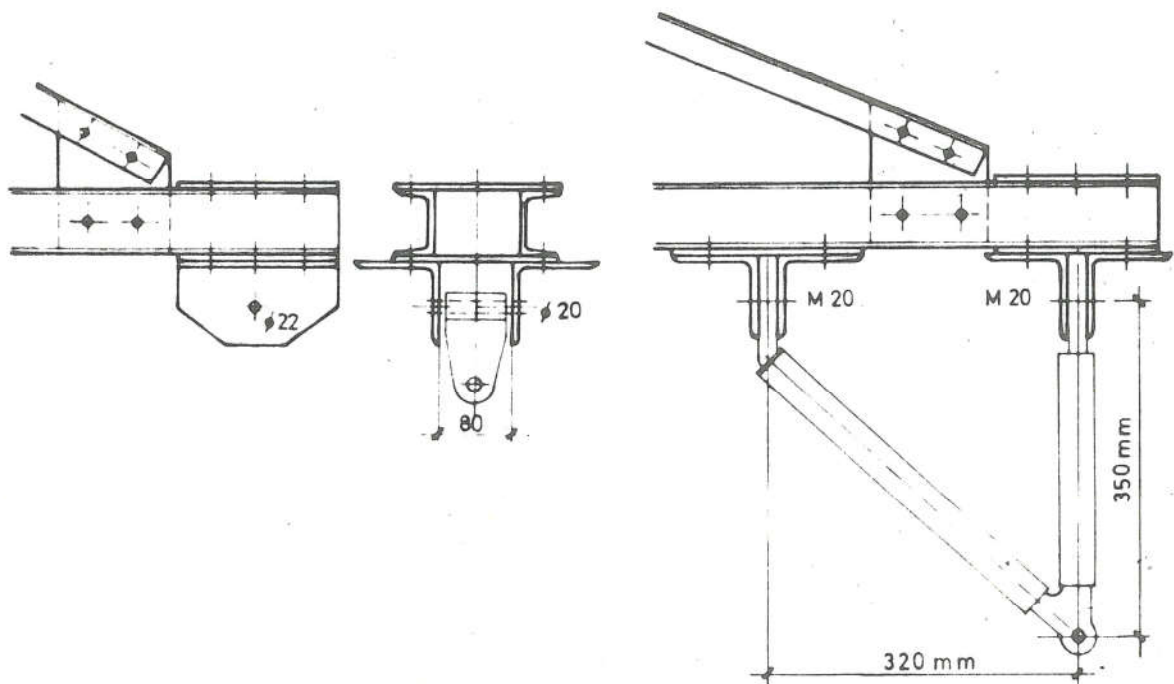
Nakon odredjivanja optimalnog broja standardnih profila, limova i vijaka, sljedeći je korak uskladjivanje konstruktivnih detalja izvedbe. Prije svega to se odnosi na konstruktivne detalje na konzolama stupova i detalje priključaka konzola na pojasnike glave stupa.

Štapovi B1 na konzolama u principu se izvode u dva dijela, tako da se štap B1 spaja na čvorni lim na pojasniku. Štapovi B2 izvode se u jednom dijelu na stupovima tipa "jela" i u dva dijela na stupovima "bačva". Potreban geometrijski oblik osi štapa postiže se savijanjem profila pri zagrijavanju.

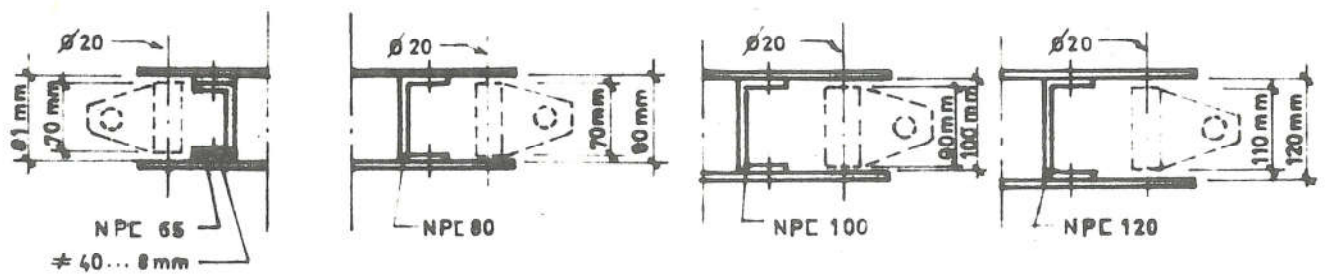
Detalji zavješnja vodiča na vrhovima konzola rješavaju se u skladu s dimenzijama štapova B2 i visinama zastavica. Na nosivim stupovima izvodi se zavješnje preko zastavice od 70 mm tako da svijetli otvor profila nosača vijka zastavice iznosi 80 mm (slika 4.40a). Alternativno zavješnje vodiča preko produžnika izvodi se postavljanjem profila nosača produžnika na razmaku 320 mm (slika 4.40b).

Zavješnje vodiča na zateznim stupovima izvodi se sa zastavicama visine 70, 90 i 110, mm zavisno od dimenzije štapa B2 na konzolama. Na konzolama gdje su štapovi B2 od profila NPU 65 vrše se umetanja dvaju limova debljine 8 mm kako bi se dobio potreban svijetli otvor za zastavicu od 70 mm.

Za visinu profila NPU 80 dolazi zastavica 70 mm, za visinu profila NPU 100 dolazi zastavica 90 mm, a za visinu profila NPU 120 dolazi zastavica 110 mm. Za sve zastavice upotrebljava se vijak Ø 20 mm. Na slici 4.41 prikazani su detalji pričvršćenja zastavice na zateznim stupovima.



Detalj zavješanja na vrhu konzole
Sl. 4.40.



Detalj pričvršćenja zastavice na zateznom stupu
Sl. 4.41.

Tipizacijom stupova sa stajališta izbora elemenata konstrukcije postiže se optimalan izbor broja upotrijebljenih profila, limova i vijaka te uskladjivanje konstruktivnih detalja izvedbe. To je preduvjet za jednostavnu i brzu izvedbu konstrukcije stupova, kako u radionici tako i na terenu. Isto tako na osnovi poznatog asortimana profila, limova i vijaka može se dugoročno planirati njihova proizvodnja, što će sigurno poboljšati mogućnosti nabave na tržištu.

S tim u vezi potrebno je reći nešto o masi stupova. Masu stupa za neku nazivnu visinu čini zbroj mase svih elemenata konstrukcije, pojasnika, dijagonala, konzola i pripadne mase spojnih elemenata znači mase svih limova i vijaka. U masu stupa za određenu nazivnu visinu uključena je i masa temeljnih dijelova pojasnika.

Kao što je već rečeno, uz osiguranje stabilnosti stupa stalno se ulažu naponi za postizanje što lakšeg stupa za određene uvjete opterećenja. Često su projektanti u situaciji da uz mnogo truda postignu maksimalnu iskoristivost konstrukcije stupa, a samim tim i najlakši stup za određene uvjete opterećenja, a izvedbom tog stupa na terenu ustanovi se da je masa izvedenog stupa znatno veća.

Projektiranjem stupa izračunava se masa stupa prema skici stupa te se dodaje određeni postotak mase limova i vijaka. To je tzv. projektantska masa stupa i ona se koristi sve do momenta izrade radioničkih nacrti i poznate mase na toj osnovi. U pravilu od trenutka poznavanja projekantske mase do poznavanja radioničke mase stupa prolazi i po nekoliko mjeseci, a zbog hitnosti izrade projekta barata se sa projektantskim masama.

Organizacija koja razradjuje nacрте u pravilu i izvodi konstrukciju te je normalno da radioničke nacрте razradjuje tako da izvedbu konstrukcije podređuje svojim proizvodnim mogućnostima. Već tu dolazi do odstupanja u odnosu na projektantsku masu stupa tako da projektant stupa mora imati na umu proizvodne mogućnosti izvodjača konstrukcije, ako se želi s projektantskom masom stupa približiti masi stupa izvedenoj u radioničkim nacrtima.

U tom smislu projektant je prisiljen na niz kompromisa koji u pravilu idu na ruku izvodjaču konstrukcije, tj. omogućuje se izvodjaču što lakša izvedba, a to u pravilu vodi do veće mase stupa. Većina problema u odnosu projektant - izvodjač rješava se kod revizije radioničkih nacrti kad se dodje do konačnih revidiranih radioničkih nacrti i poznatih radioničkih masa. Iz ovoga se vidi da projektant stupa mora biti upoznat s asortimanom čeličnih profila na tržištu, a posebno s asortimanom profila s kojima radi izvodjač konstrukcije te s njegovim proizvodnim mogućnostima.

Nakon poznavanja radioničkih masa stupova bilo bi logično da više ne bi smjelo biti razlike u masama stupova, međutim dešava se da u momentu izvodjenja konstrukcije stupova izvodjač nema na raspolaganju određenih profila pa umjesto njih primjenjuje jače profile, što dovodi do veće mase stupa izvedenog na terenu. Nažalost, takva se praksa zadnjih godina, ponavlja tako da se događa da jedan te isti tipski stup ima mase koje se razlikuju od voda do voda. Na razliku u masi stupa utječe i duljina temeljnog dijela pojasnika koja se prilagođava najmanjoj dubini temeljenja. Često dolazi do razlike u masama stupova i zbog toga što se kod ugovaranja izvodjenja konstrukcije razgovara o cijeni kilograma pocinčane konstrukcije. Radioničke mase važe za masu konstrukcije u "crno", dok ta ista konstrukcija, ako je pocinčana, ima masu, recimo kod nosivog stupa tipa "jela", veću za 50 do 70 kg, a kod zateznog stupa tipa "bačva" ima masu veću 150 - 200 kg.

Iz prezentiranih iskustava u vezi s problemom mase stupova proizlazi i jedan od ciljeva tipizacije stupova 110 kV, a to je da se na osnovi uskladenih i revidiranih radioničkih nacrti tipskih stupova dodje do mase tipskih stupova koje su konačne i nepromjenljive. Nadalje, definiranjem radioničkih nacrti tipskih stupova dolazi se do asortimana čeličnih profila i limova te vijaka koji će se isključivo upotrebljavati za izvedbu tipskih stupova 110 kV, a samim tim omogućuje se izvodjaču konstrukcije da u dogovoru s proizvođačem čeličnih profila dugoročno planira njihovu proizvodnju i nabavku.

4.2. TEMELJI

4.2.1. Klasifikacija karakteristika tla za proračun temelja

4.2.1.1. U v o d

Temelji dalekovodnih stupova su konstrukcije namijenjene prijenosu vanjskog opterećenja koje djeluje na konstrukciju stupa u tlo.

Konstrukcija temelja je određena:

- vanjskim opterećenjem
- vrstom i karakteristikama temeljnog tla
- mogućnostima i načinom izvedbe
- temeljnim dijelom konstrukcije stupa

Prema važećoj zakonskoj regulativi (L4.1) dalekovodi napona 110 kV (i višeg) smatraju se velikim objektima i za njih su potrebni prethodni istraživački radovi koji obuhvaćaju:

- geološke
- geotehničke
- hidrogeološke i
- druge istraživačke radove.

Tla u kojima se nalaze temelji najčešće su heterogena. Iz tog razloga treba, za potrebe tipizacije temelja, tla klasificirati, tj. odrediti prosječne geomehaničke (geotehničke) podatke za najučestalija, odnosno karakteristična tla.

Ovakva klasifikacija, odnosno tipizacija, ne obuhvaća:

- nepovoljne utjecaje podzemnih i nadzemnih voda (osim uzgona), kao npr. agresivnost, erozija i sl.
- nestabilna tla
- organska i muljevita tla
- vodotoke, inundacije
- itd.

Za navedene izuzetke nužni su detaljniji i kompleksniji istraživački radovi.

4.2.1.2. Karakteristike tla

Klasifikacija tla omogućuje izbor karakterističnih uzoraka tla na temelju velikog broja do sada ispitanih uzoraka. Klasifikacija ne može zamijeniti geomehanička ispitivanja već omogućuje grupiranje sličnih vrsta tla u svrhu smanjivanja broja tipova temelja. Prema AC (L4.2.) klasifikaciji u geomehanici razlikujemo:

- krupnozrnata tla
- sitnozrnata tla
- organska tla (nepovoljno za temeljenje).

Krupnozrnata tla obuhvaćaju:

- šljunak (dobro i slabo graduiran)
- šljunkovita tla (slabo graduirana)
- pijesak (dobro i slabo graduiran)
- pjeskovita tla (slabo graduirana)

Sitnozrnata tla obuhvaćaju prašinata i glinovita tla:

- male stišljivosti
- srednje stišljivosti
- visoke istišljivosti

Ova tla raspoznaju se identifikacijskim pokusima "in situ" i svrstavaju se u navedene grupacije.

Osim u navedenim vrstama tla, značajan dio dalekovodnih stupova temelji se u stijeni različitih slojeva rastrošenosti i sastava.

Bitan činilac kod temeljenja je i utjecaj podzemnih, odnosno poplavnih voda.

Uvažavajući ovu podjelu i dosadašnja iskustva s izgrađenih dalekovoda, za potrebe temeljenja dalekovodnih stupova (a neovisno o načinu proračuna) može se izvršiti sljedeće grupiranje tla:

a) krupnozrnata tla (nekoherentna)

- | | |
|---------------------|-----------------------------|
| - u podzemnoj vodi | - prosječnih karakteristika |
| - bez podzemne vode | - boljih karakteristika |
| | - lošijih karakteristika |

b) sitnozrnata tla (koherentna)

- | | |
|---------------------|-----------------------------|
| - u podzemnoj vodi | - prosječnih karakteristika |
| - bez podzemne vode | - boljih karakteristika |
| | - lošijih karakteristika |

c) stijena (s površinskim slojem rastrošenosti do 1,0 m)

Iz navedene podjele proizlazi 7 kategorija (grupacija) tla za tipizaciju temelja.

Karakteristike tla u ovoj podjeli odnose se na:

- | | |
|----------------|--|
| γ | - težina jedinice volumena suhog tla |
| γ' | - težina jedinice volumena uronjenog tla |
| φ | - kut otpornosti na smicanje (kut unutarnjeg trenja tla) |
| σ_{dop} | - specifično dopušteno opterećenje tla |
| c | - kohezija |
| ζ_0 | - dopušteni prosječni napon na odrez |

Parametri $\gamma, \gamma', \varphi, c$ i ζ_0 odnose se na tlo iznad stope temelja, a σ_{dop} na tlo ispod stope temelja.

Usvojene prosječne vrijednosti ovih parametara za navedene kategorije tla dane su u tabl. 4.22.

Tablica 4.22.

Kategorije i kvaliteta tla

Tlo	Karakteristika		Geomehanički podaci				
Vrsta	Podzemna voda	Klasifikacija	γ	γ'	ρ	c	σ_{dop}
			kN/m ³		°		kN/m ²
	u podzem. vodi	prosječno	(18)	8	20	0	150
nekoherentne	bez podzemne vode	bolje	19	(9)	35	0	250
		lošije	17	(7)	25	0	180
	u podzemnoj vodi	prosječno	(19)	9	18	3	150
koherentno	bez podzemne vode	bolje	19	(10)	30	10	200
		lošije	17	(8)	22	5	180
stijena	bez podzemne vode		20	-	-	-	$\tau_o = 50$ > 500

Ovi podaci odgovaraju proračunu temelja klasičnim metodama (pritisak tla), a uz dopunu tablice odgovarajućim koeficijentima mogu se koristiti i za suvremenije metode (Sarač).

Navedene prosječne vrijednosti karakteristika tla djelomično odstupaju od podataka navedenih u tablici 16. Pravilnika za nadzemne vodove (L4.9). Ova odstupanja proizlaze iz raspoloživih podataka o ispitivanju geomehaničkih karakteristika tla, a odnose se naročito na tla u podzemnoj vodi, odnosno parametre γ , γ' , φ i c .

4.2.2. Izbor načina izrade i oblika temelja

Prema načinu izrade, temelje djelimo na one koji su:

- izradjeni na radilištu (stupnom mjestu) i
- prefabricirane temelje

Ovisno o materijalu iz kojega su izradjeni, temelji mogu biti:

- betonski
- betonski s armaturom ili armiranobetonski
- čelični
- drveni
- kombinirani (od navedenih materijala)
- ostali

Na području ZEOH, gotovo u svim slučajevima, bez obzira na oblik, betonski temelji izradjivani su na radilištu.

Prema dosadašnjem iskustvu proizlazi da je trajnost betonskih temelja (sa i bez armature) veća od 35 godina.

S obzirom na raspoloživu tehnologiju izrade, specifičnost objekta (dalekovod), a uvažavajući dosadašnju praksu, pretpostavlja se da će se većina temelja i u doglednoj budućnosti izradjivati na radilištu od betona, odnosno od betona s armaturom.

Armatura u betonu preuzima ukupnu vlačnu silu, odnosno povezuje tijelo i stopu temelja. Iz odnosa površina armature i betonskog presjeka temelja, ($<0,1\%$), osim u posebnim slučajevima (npr. povišenja temelja), proizlazi da se tako armirani temelji ne mogu smatrati armiranobetonskim konstrukcijama.

Za ravničarske terene, odnosno radilišta na kojima je moguć pristup odgovarajućoj mehanizaciji, a uvažavajući ekonomičnost temeljenja, nameće se potreba da se istraži mogućnost ugradnje prefabriciranih temelja. Ovakvi temelji primijenjeni su u pojedinim zemljama (npr. SSSR - vidi L 4.4), a izradjeni su od kvalitetnijeg armiranog betona i imaju manji volumen.

Beton se na radilištu uglavnom izradjuje strojno, a ugradjuje uz upotrebu pervibratora.

Kod standardne izvedbe temelj se betonira u jednom dijelu, tj. bez radne reške. Budući da se u svim temeljima ugradjuje armatura (vlačna) moguće je betonirati temelj u dva dijela. Radna reška treba biti na prijelazu stope u tijelo temelja.

Prema osnovnom tlocrtnom obliku temelji stupova su:

- rasčlanjeni (prizmatični, piramidni, valjkasti, stožasti, kombinirani, sidra) i
- zajednički (blok, ploče, roštilji, bunari, piloti i dr.)

Temelji dalekovodnih stupova, osim posebnih (piloti) svrstavaju se (L4.3.) u plitke temelje budući da je omjer dubine i širine temelja manji od 4, tj.

$$D : \check{S} < 4.$$

Ovisno o konfiguraciji terena, poplavnim vodama i dr. nadzemni dio temelja može biti:

- nepovišen (kruna temelja je izdignuta do 40 cm iznad terena)
- povišen (kruna temelja je izdignuta više od 50 cm iznad terena).

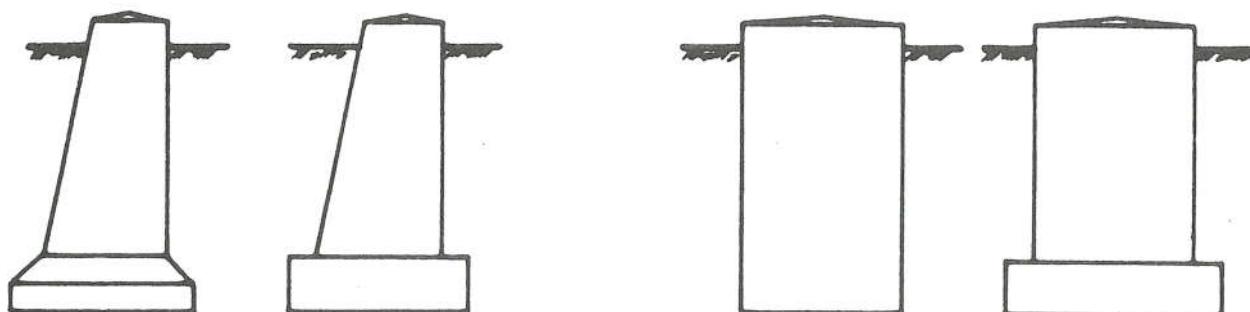
Standardni oblik i minimalne dimenzije temelja u stijeni odredjeni su gabaritom konstrukcije, karakteristikama stijene, načinom izvedbe, mogućnostima pristupa do stupnog mjesta i dr.

U skladu s dosadašnjom praksom i raspoloživom tehnologijom gradjenja standardni tipizirani raščlanjeni temelji imaju prizmatičan ili piramidan oblik, a blok temelji prizmatičan oblik. Svi temelji u pravilu imaju stopu.

U kraškim terenima (stijene) postoji mogućnost sidrenja temelja u osnovnu stijenu. Ovakav način temeljenja zahtijeva posebnu mehanizaciju, pristupni put do radilišta i kvalificiraniju radnu snagu pri izvodjenju (bušenje, ispitivanje, betoniranje). Budući da se ovim načinom temeljenja postižu značajnije uštede betona, trebalo bi istražiti mogućnost ovakvog načina temeljenja. Do sada je ovakav način temeljenja primijenjen pri gradnji 400 kV dalekovoda (L4.5.), gdje su navedeni uvjeti bili ispunjeni. Jedan od načina temeljenja u nekoherentnim tlima, sa i bez podzemne vode, jest temeljenje na krakim šipovima s naglavnom konstrukcijom. Obzirom na nedostatak iskustva s takvim temeljenjem kod nas (postoje iskustva iz inozemstva - L4.6) te potrebnu mehanizaciju i osiguranje pristupnih putova, a uvažavajući činjenicu da se time štedi na oplati i vremenu izvedbe samog temelja, i ovakav način temeljenja trebalo bi podrobnije ispitati.

Poseban je problem način izrade i oblikovanje temelja u podzemnoj vodi. U takvim se tlima traži čim pliće temeljenje i racionalne količine utrošenog materijala. Za nepovoljnije geomehaničke parametre i navedene zahtjeve, ekonomičnost izvedbe ovisi prvenstveno o primijenjenoj tehnologiji izvedbe prema kojoj treba podrediti oblikovanje temelja.

Iz navedenoga slijedi da za standardna tla sa i bez podzemne vode treba tipizirati postojeće oblike temelja. Pod postojećim podrazumijevaju se ovi oblici temelja: raščlanjeni temelji (slika 4.41a) i blok temelji (slika 4.41b).



*Oblik temelja za stup nadzemnog voda
Sl.4.42.*

Tipizacija temelja pretpostavlja da će se pri izvedbi temelja maksimalno racionalno koristiti mehanizacija i oplata, tj:

- strojni iskop (rovokopači, bušilice)
- strojna priprema betona (miješalice)
- pervibriranje ugrađenog betona
- nabijanje tla oko temeljne jame (eksplozioni nabijači)
- prefabricirana oplata za betoniranje temelja
- oplata za osiguranje temeljne jame

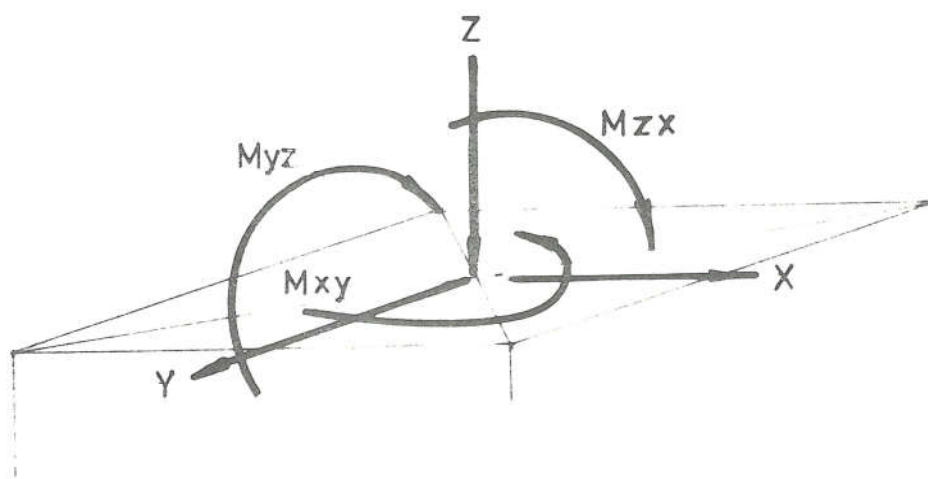
4.2.3. Proračun temelja

4.2.3.1. Općenito

Prema osnovnom tlocrtnom obliku temelja dalekovodnih stupova razlikujemo opterećenje blok temelja i opterećenje raščlanjenih temelja.

Blok temelji (slika 4.43) opterećeni su:

- momentima M_{xy} , M_{yz} , M_{zx}
- poprečnim silama X , Y
- uzdužnim silama Z

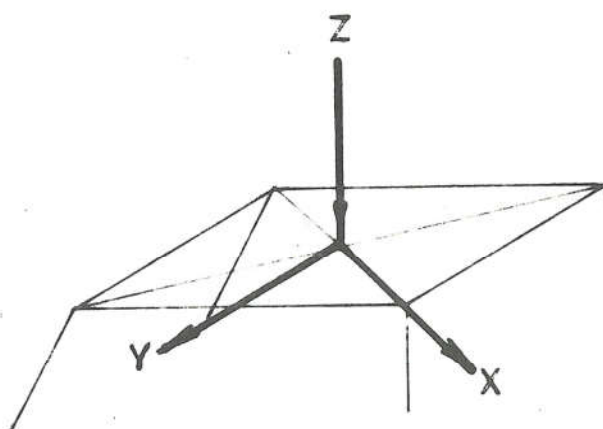


*Blok temelj
Sl. 4.43.*

Za proračun blok temelja mjerodavno je (kritično) opterećenje M_{yz} , M_{zx} , X , Y i Z .

Raščlanjeni temelji (slika 4.44) opterećeni su:

- poprečnim silama X , Y
- uzdužnom silom Z



Rasčlanjeni temelj
Sl. 4.44.

Za proračun raščlanjenih temelja mjerodavno je (kritično) opterećenje Z.

4.2.3.2. Proračun

Zadatak temelja jest da prenese opterećenje stupa u tlo. Ovisno o teorijskom (proračunskom) tretmanu ovakvog prijnosa ustanovljeni su različiti načini proračuna temelja koji se međusobno razlikuju po tome da li se uzima u obzir:

- samo težina temelja
- težina temelja i težina sudjelujućeg tla
- težina temelja, težina sudjelujućeg tla i otpor tla.

Prva dva načina su jednostavnija i rijetko se primjenjuju. Treći način, koji se pretežno primjenjuje, razlikuje više metoda proračuna koje različito tretiraju otpor tla. U tim metodama je otpor tla prikazan kao:

- težina zamjenjujućeg tla (opterećenje tlom)
- prosječni otpor na smicanje
- otpor trenja tla (pritiska tla)
- granična ravnoteža tla iznad stope temelja (metoda teorije plastičnosti).

Metode opterećenja tlom, pritiska tla te otpora na smicanje, koje se nazivaju i klasičnim metodama, baziraju se na iskustvenim podacima, a njihov matematički model nije uskladjen sa stvarnim stanjem. Te su metode do sada najčešće primjenjivane (naročito metoda pritiska tla) pri proračunavanju temelja dalekovodnih stupova.

Prema dosadašnjim iskustvima iz primjene, tako projektirani temelji pokazali su se kao pouzdani elementi dalekovoda.

Usporedba ovih temelja s temeljima proračunatim po suvremenijim metodama pokazuje da temelji proračunati klasičnim načinom imaju nešto veće koeficijente sigurnosti (u ovisnosti o tlu i načinu opterećivanja).

Suvremenije metode, tj. metode granične ravnoteže, baziraju se na detaljnijim geomehaničkim ispitivanjima tla i teorijskim postavkama koje realnije obuhvaćaju interakciju temelja i tla.

Iz usporedbe rezultata proračuna proizlazi da za jednako opterećenje temelji proračunati klasičnom metodom mogu biti jednaki ili nešto veći od temelja proračunatih suvremenijom metodom.

4.2.3.3. Geomehanička ispitivanja

Najjednostavniji načini proračuna temelja (gravitacijski) baziraju se na ocjeni tla i ne zahtijevaju geomehanička ispitivanja budući da ne uzimaju u obzir sudjelovanje okolnog tla. Kao rezultat ovakvog pristupa dobiju se i najveći temelji (σ_{dop} se procjenjuje).

Realniji, odnosno racionalniji pristup matematičkom modeliranju stvarnog stanja pri prijenosu sila u tlo traži detaljnije geološke i geomehaničke istražne radove kod temeljenja. Kao rezultat suvremenijih metoda proračuna proizlaze sigurniji i ekonomičniji temelji, odnosno temelji čija je sigurnost i stabilnost poznata.

Uobičajene klasične metode proračuna nalaze se između navedenih graničnih slučajeva. One zahtijevaju geološka i geomehanička ispitivanja nešto manjeg opsega od suvremenijih.

Razvoj temeljenja, odnosno primjena novijih metoda proračuna podrazumijeva korištenje suvremenijih metoda uz istodobno korištenje pozitivnih iskustava klasičnih metoda.

Dosadašnja praksa temeljenja u stijeni nije zahtijevala geomehnička ispitivanja. Potrebni parametri procijenjeni su na temelju raspoloživih podataka o tlu (sloj rastrošenosti i nosivosti osnovne stijene i sl.).

4.2.3.4. Metoda proračuna temelja

Uobičajene metode proračuna temelja kod nas su:

- za blok temelje metode Sulzbergera i Kleinlogel-Bürklina
- za rasčlanjene temelje metoda Müller-Fröhlicha i Sarača.

Prihvaćena i najčešće primjenjivana metoda proračuna blok-temelja za dalekovodne stupove napona 110 kV je Kleinlogel-Bürklin metoda.

Za rasčlanjene izvlačne temelje primjenjuje se klasična metoda Müller-Fröhlicha i suvremenija metoda Sarača. Temelji u stijeni kontroliraju se na odrez, iako takva kontrola nije nužna (L4.9).

Osim navedenih metoda (i njima sličnih) postoje postupci, odnosno proračuni, koji se baziraju na korištenju priručnih sprava za približno određivanje određenih geomehničkih karakteristika tla (pritisak, smik, penetrometri). Metoda mjerenja pritiska tzv. penevane (L4.8) bazira se na provedenim ispitivanjima modela temelja u prirodnoj veličini (Francuska). Navedeni postupci proračuna (osim eventualno penevan) nisu se pokazali zadovoljavajućim u praksi budući da se zasnivaju na nedovoljno točnim geomehničkim podacima.

4.2.3.5. Osnovni izrazi za proračun temelja

Navest će se osnovni izrazi za proračun temelja, i to za:

a. blok - temelje

- prema Sulzbergeru osnovni uvjet ravnoteže glasi

$$F_s M_v = M_s + M_b$$

- F_s - faktor sigurnosti temelja
- M_v - moment vanjskih sila
- M_s - moment otpora tla na bočnoj plohi temelja
- M_b - moment otpora tla na dnu temelja

- metoda Kleinlogel-Bürklina pretpostavlja da su zadovoljeni osnovni uvjeti ravnoteže, tj.

$$M = 0 \quad X = 0 \quad Y = 0$$

$$Z = 0$$

gdje je M rezultirajući moment. U ovom se slučaju pretpostavlja da se vanjskim silama suprotstavljaju otpori tla i temelj.

b. raščlanjene temelje

- prema Müller-Fröhlichu kontrolira se sigurnost temelja protiv pomicanja

$$\gamma_a = \frac{G_t + G_b + R_t + R_b}{V_{\max}} \quad \gamma_p = \frac{G_t + G_b + R_t + R_b}{V_{\max}}$$

G_t i G_b	- težine tla i betona
R_t i R_b	- otpori tla protiv pomicanja
R_t' i R_b'	- otpori tla protiv izvlačenja
$V_{\max}$	- maksimalna vlačna sila

Uvjet: $\gamma_a > 1,0 \quad \gamma_p > 1,5$

- kod proračuna metodom odreza mora biti zadovoljen uvjet

$$F_s = \frac{G_b + G_t + c \cdot O}{V_{\max}}$$

G_b i G_z	- težina betona i tla
c	- kohezija
O	- odrezna ploha
$V_{\max}$	- maksimalna vlačna sila

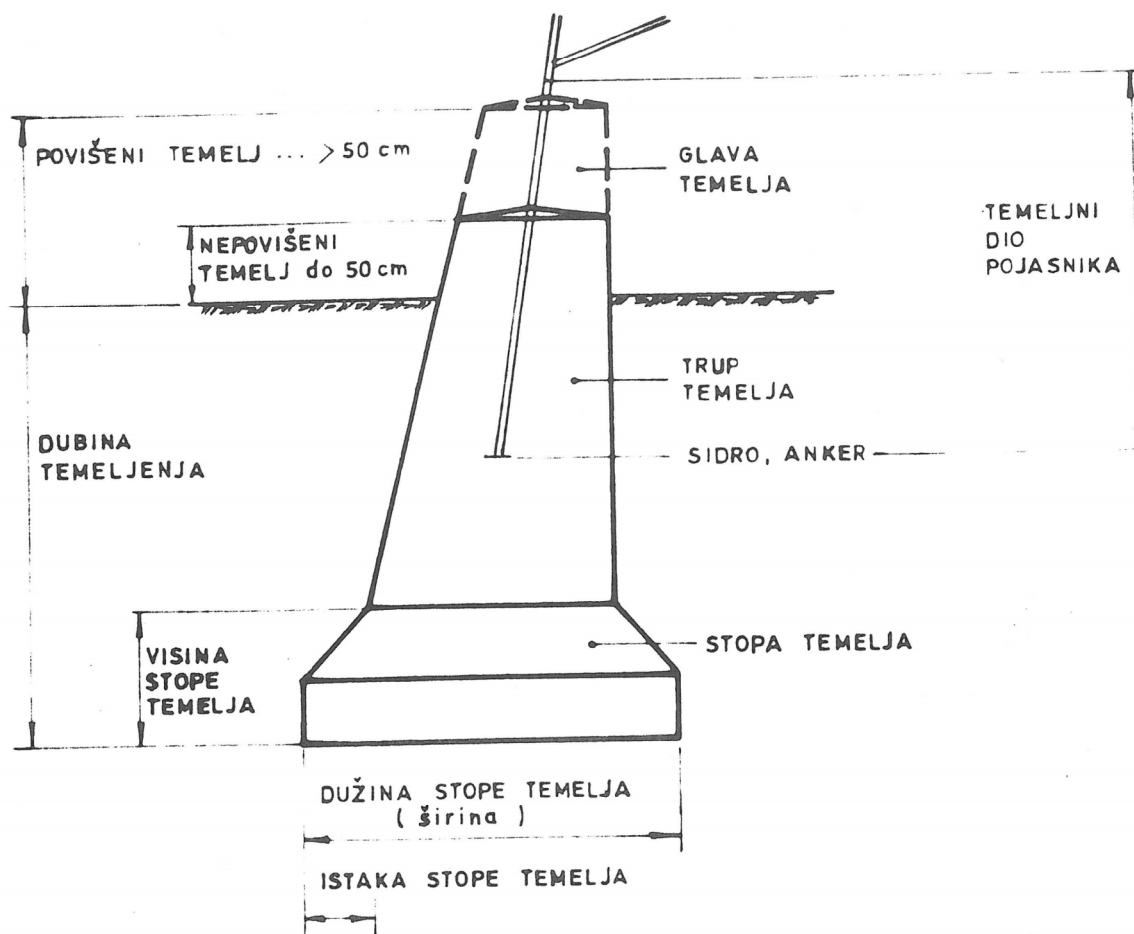
Uvjet: $F_s > 1,5$

- metodom proračuna po Saraču određuje se kritična sila

$$V_{krit} = V_{\gamma} + V_c + G_b + G_t$$

- V_{γ} - otpor temelja protiv izvlačenja - težina tla
- V_c - otpor temelja protiv izvlačenja - kohezija tla
- G_b i G_z - težina betona i tla
- F_s - faktor sigurnosti
- V_{max} - maksimalna vlačna sila

Uvjet: $V_{krit} > F_s \cdot V_{max}$



Oznaka termina u vezi temelja
Sl. 4.45.

4.2.4. Tipizacija temelja

4.2.4.1. U v o d

Za opterećenje tipiziranih stupova i odabrane karakteristike tla treba odrediti optimalan broj geometrijskih oblika temelja. Ovi temelji su tipski elementi dalekovoda, a njihova primjena ovisi o ispitanim karakteristikama tla i zadanim tipovima stupova. Svrha tipizacije jest da se odredi optimalan broj oblika temelja s kontinuitetom povećanja (smanjenja) dimenzija zadanog oblika temelja.

Tipizacija se u prvom redu odnosi na raščlanjene temelje kojih ima i najviše.

Iz dosadašnje prakse projektiranja i izgradnje temelja dalekovodnih stupova koristit će se termini prema slici 4.45.

4.2.4.2. Geomehaničke karakteristike i proračun

Prosječne vrijednosti geomehaničkih karakteristika odabranih vrsta tla klasificirane su u točki 4.2.1, a baziraju se na dokumentaciji izgrađenih dalekovoda, pregledu karakteristika tla iz tipizacije dalekovoda 35 kV te podacima iz tablice 16. Pravilnika za nadzemne vodove. Ovi podaci obuhvaćaju tla koja su najčešće registrirana na izgrađenim vodovima, a odnose se na srednje vrijednosti parametara, tj. ne odgovaraju u potpunosti nekom konkretnom tlu. Za navedene prosječne vrijednosti određene su dimenzije temelja klasičnom metodom proračuna.

Suvremenijom metodom proračuna dobivaju se približno isti rezultati. S obzirom na navedene zahtjeve i konstatacije o sličnosti i razlici te ispitivanjima, navedene razlike ne utječu na tipizaciju temelja, budući da je razmatran dovoljno veliki broj tipova temelja, odnosno njihovih dimenzija.

4.2.4.3. Izbor oblika i dimenzija temelja

Izbor oblika tipiziranih temelja svodi se na dva tipa:

- blok-temelji (masivni)
- raščlanjeni temelji

Ovi oblici međusobno se dopunjuju, a u rijetkim slučajevima i preklapaju. Odluka o tome da li će temelj biti blok-temelj ili raščlanjeni ovisi u prvom redu o dimenzijama konstrukcije stupa i nosivosti tla u širem smislu, a manje o ograničenjima u izvedbi (dubina temelja i podzemna voda) i opterećenju temelja.

Nedostatak blok-temelja je veća količina ugrađenog betona (preko 50 % betona više nego kod rasčlanjenih temelja), a prednost jednostavnija izvedba (iskop, ugradnja, oplata).

Kriteriji za primjenu blok-temelja ili rasčlanjenih temelja jesu:

- gabariti temeljnog dijela konstrukcije (sa zaštitnim slojem betona)
- nosivost tla (u širem smislu)
- podzemna voda (poplavna voda)
- način izvedbe
- opterećenje temelja

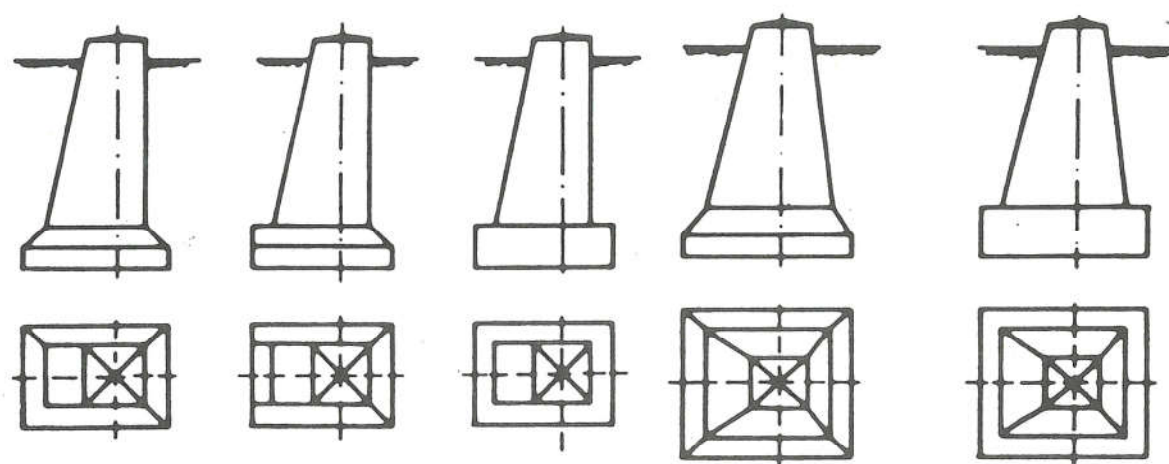
Blok-temelji uglavnom se primjenjuju kod nižih nazivnih visina stupova (uglavnom kod nosivih a manje kod zateznih) u podzemnoj vodi, odnosno slabo nosivu tlu i kod ograničenih (manjih) dubina temeljenja.

Razgraničenje primjene blok-temelja i rasčlanjenih temelja nije ni jednoznačno ni oštro. Za uobičajena tla i opterećenja te za standardnu izvedbu, blok-temelji se primjenjuju za:

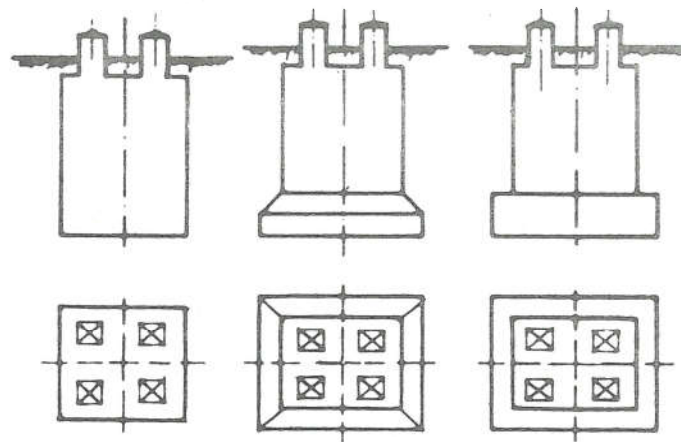
- raskorak stupa do 2,0 m
- σ_{tla} u tlu bez podzemne vode do 140 kN/m^2
- σ_{tla} u tlu s podzemnom vodom do 110 kN/m^2

4.2.4.4. Osnovni oblici temelja

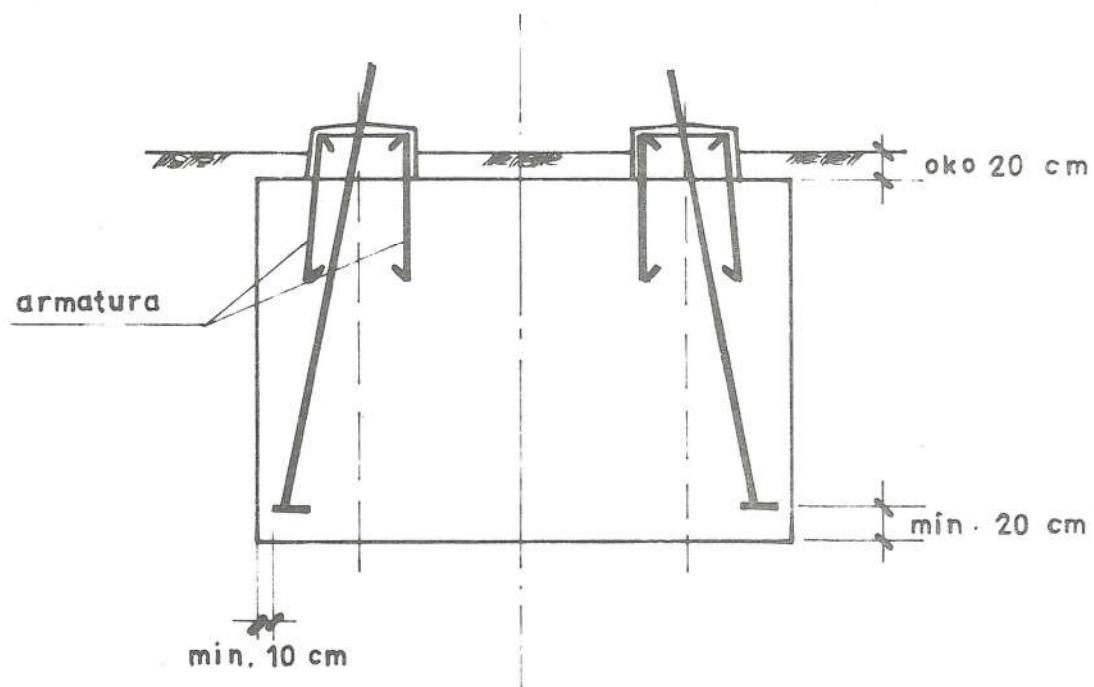
Pregled osnovnih oblika temelja dan je na slikama 4.46a i b.



Rasčlanjeni temelji
Sl. 4.46a



Blok temelji
Sl.4.46b



Glava blok-temelja
Sl.4.47

Glavu blok- temelja iznad terena treba oblikovati tako da odgovara glavi rasčlanjenih temelja. Minimalni zaštitni sloj betona iznosi 10 cm.

Za glavu i stopu temelja te dubinu temeljenja vrijede isti kriteriji kao kod rasčlanjenih temelja. Glavu temelja treba armaturom vezati za osnovni blok betona (slika 4.47).

Odredjivanje dimenzija svodi se u prvom redu na izbor dubine temeljenja. Istake-
stope temelja, ako su potrebne, treba predvidjeti čim veće.

Preporuča se stupnjevanje tlocrtnih dimenzija temelja po 20 cm.

Kod rasčlanjenih temelja moguć je vrlo velik broj kombinacija dimenzija temelja (7-10 varijabli) koje ovise o vrsti tla, gabaritima konstrukcije, podzemnoj vodi, vanjskom opterećenju, mogućnostima izvedbe i odabranom stupnjevanju dimenzija.

Praksa traži da se ograniči:

- dubina temeljenja i (tlocrtne dimenzije)
- potkapanje stope temelja
- minimalni međusobni razmak temelja .

Granična dubina temeljenja za standardne načine izvodjenja i uobičajena tla bez podzemne vode iznosi:

$$T = 3,2 \text{ do } 3,5 \text{ m}$$

a za tla s podzemnom vodom:

$$T = 3,0 \text{ do } 3,2 \text{ m}$$

Minimalna širina iskopa iznosi 0,60 m za plíće temelje, a za veće dubine temeljenja (preko 2,5 m) 0,7 do 0,8 m ovisno o vrsti tla. Prema ovim širinama određena je i minimalna širina temelja koji iznosi:

$$B = 60 \text{ cm}$$

a odnosi se na izvedbu temelja bez razupiruće oplata temeljne jame.

Minimalne dimenzije glave nepovišenih temelja iznose:

$$A \times B = 60 \times 60 \text{ cm}$$

Ove dimenzije zadovoljavaju uvjet da glave standardnih povišenih temelja ne budu manje od

$$AP \times BP = 40 \times 40 \text{ cm.}$$

Svi se temelji predviđaju sa stopom koja se u tlima bez podzemne vode (koherentnim) u pravilu potkapa u sraslom tlu, a vrši funkciju ukliještenja temelja. Stopa se potkapa samo onda kada se potkapanjem ne ugrožava sigurnost ljudi i stabilnost temeljne jame. Daje se prednost izvedbi temelja bez razupiruće oplata temeljne jame, tj. izvedbi temelja kod koje je beton u neposrednom kontaktu sa sraslim tlom. Na takav način povećava se nosivost temelja, odnosno omogućuje kvalitetniji prijenos sila iz temelja u tlo.

Kod potkapanja temelja u sraslom tlu (slika 4.48) maksimalna duljina istake stope iznosi:

$$SA = SB = 25 \text{ cm (30 cm)}$$

tj. u tlima s manjom kohezijom $SA = SB = 25 \text{ cm}$, a u tlima s većom kohezijom $SA = SB = 30 \text{ cm}$.

Maksimalne dimenzije stope iznose:

$$SA = SB = 50 \text{ cm,}$$

a limitirane su činjenicom da se stopa temelja ne armira, odnosno visinom stope

$$ST = 80 \text{ cm (75 cm).}$$

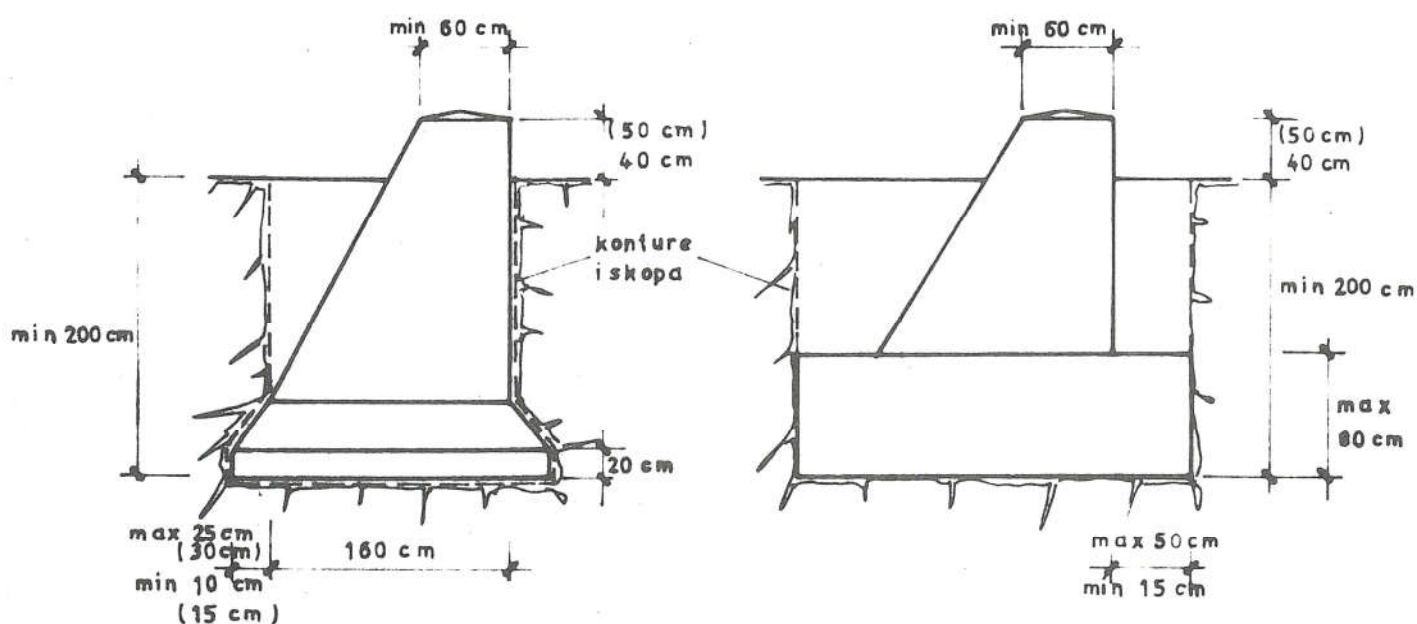
(Usporediti čl. 400 Pravilnika za nadzemne vode - L4.9).

Minimalna duljina istake stope iznosi:

$$\min SA = \min SB = 10 \text{ cm}$$

i primjenjuje se za opterećenja najslabijih nosivih stupova u stijeni, a u ostalim tlima i za veća opterećenja

$$\min SA = \min SB = 15 \text{ cm.}$$



Oblici stope temelja
Sl. 4.48.

Za temelje sa skošenom stopom (potkop) predviđa se izravnavajući sloj betona debljine 20 cm.

Na kosim terenima uobičajena je primjena povišenih temelja. Temelji kod kojih je glava izdignuta do 50 cm iznad terena smatraju se nepovišenima.

Pod standardnim povišenim temeljima podrazumijevaju se povišenja pojedinih rasčlanjenih temelja jednog stupa. Ova povišenja su uobičajena u stijeni. U poplavnim područjima ili u terenima koji se naknadno nasipavaju, temelji se jednoliko povisuju iznad terena.

Kod standardnih povišenih temelja glava je izdignuta od 50 do 150 cm iznad terena. Korak povišenja iznosi 25 cm, tj. povišenja su 75, 100, 125 i 150 cm.

Povišenja raščlanjenih temelja veća od 150 cm zahtijevaju doradu konstrukcije stupa ili temelja (armatura) te se ovakva povišenja temelja treba izbjegavati.

Potrebna povišenja veća od 150 cm treba u pravilu realizirati dodatnom konstrukcijom stupa.

Minimalni međusobni razmak najbližih točaka susjednih raščlanjenih temelja jednog stupa limitiran je nosivošću tla ispod stope temelja, a njegova prosječna vrijednost iznosi oko 50 cm.

Na temelju podataka o opterećenjima i dimenzijama stupova za zadane vrste tla, određene su granice dimenzija raščlanjenih temelja:

$$\begin{aligned} A &= B = 60 \text{ do } 90 \text{ cm (po } 10 \text{ cm)} \\ A1 &= 80 \text{ do } 300 \text{ cm (po } 20 \text{ cm)} \\ B1 &= 60 \text{ do } 260 \text{ cm (po } 20 \text{ cm)} \\ SA &= SB = 10 \text{ do } 30 \text{ cm (po } 5 \text{ cm)} \text{ i } 30 - 60 \text{ cm (po } 10 \text{ cm)} \\ T &= 200 \text{ do } 320 \text{ cm (po } 20 \text{ cm)} \text{ te } 250 \text{ i } 350 \text{ cm} \\ ST &= 40, 50, 60 \text{ i } 80 \text{ cm} \end{aligned}$$

Debljina podložnog sloja betona iznosi 20 cm kod svih temelja. Uobičajena izvedba pretpostavlja da temelj ima 2 paralelne plohe:

$$B1 = B (= A)$$

Prema navedenim kriterijima izbora dimenzija, odabranih geomehaničkih podataka i prosječnih opterećenja stupova provedeni su probni proračuni (za prosječne visine stupova) i izradjen je pregled tipova raščlanjenih temelja.

U pregledu je prikazan kontinuirani slijed dimenzija koje u većini slučajeva odgovaraju prosječnim karakteristikama ispitanog tla i opterećenju tipiziranih stupova.

Ovaj pregled može se po potrebi i dopuniti. Fiksne su jedino dimenzije glave (A, B), dubine temeljenja (T, T1) i istake stope ($ST = A2 - A1 = B2 - B1$). Nakon definiranja visina i opterećenja tipskih stupova izvršit će se statička kontrola temelja za zadane predložene dimenzije

Pregled se može dopuniti samo u okviru tipiziranih dimenzija temelja. Ako se ukaže potreba za dubinom temeljenja većom od 3,2 m (u ekstremnim slučajevim) treba primijeniti dubinu temeljenja $T = 3,5 \text{ m}$.

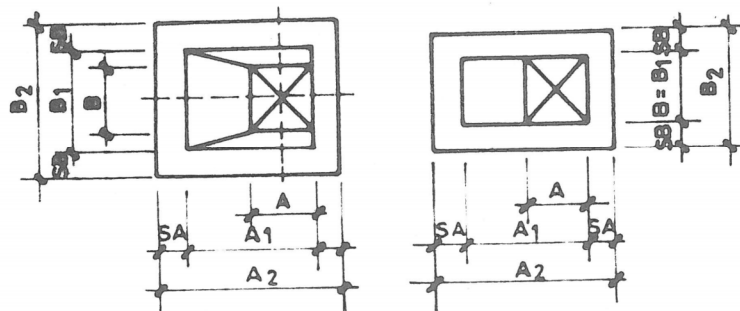
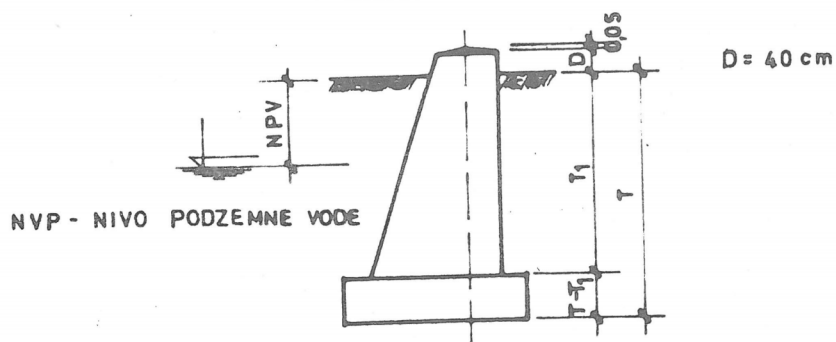
Pregled tipiziranih dimenzija temelja (m), (veza slika 4.49) dan je u tabl. 4.23.

Tablica 4.23.

Tipizirane dimenzije temelja (m)

Rasčlanjeni temelji (m)												
A = B	0,6	0,7	0,8	0,9								
A1	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
B1	0,6	0,7	0,8	0,9	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6		
SA = SB	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5					
T	2,0	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	3,2	3,5			
ST	0,4	0,5	0,6	0,8								
T1	1,6	1,8	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	3,0		

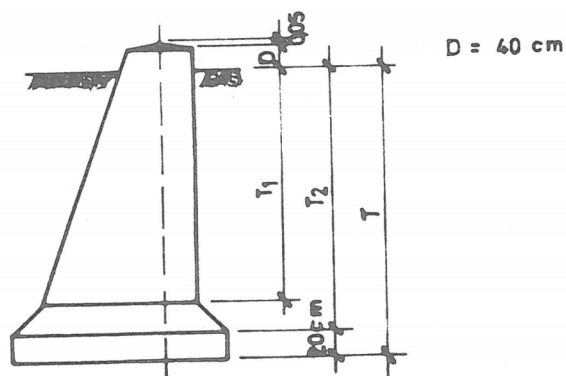
SKICA TEMELJA



$$SB = \frac{B_2 - B_1}{2}$$

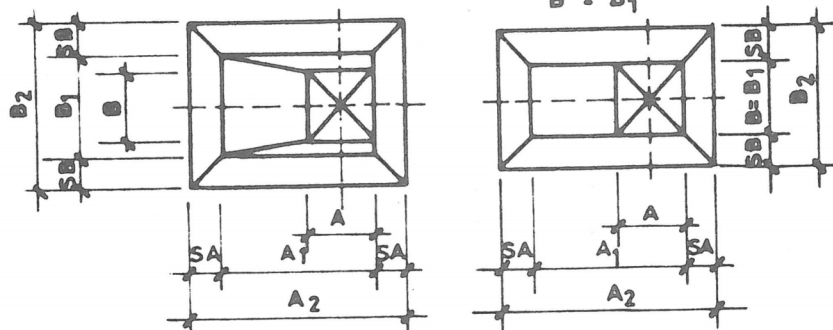
$$SA = \frac{A_2 - A_1}{2}$$

SKICA TEMELJA U TLU BEZ PODZEMNE VODE



GRANIČNI SLUČAJ

$$B = B_1$$



$$SB = \frac{B_2 - B_1}{2}$$

$$SB = \frac{A_2 - A_1}{2}$$

Oznake dimenzija tipiziranih temelja
Sl. 4.49.

Tablica 4.24.

Tipizirane dimenzije temelja (m)

Raščlanjeni temelji							
TIP	T	T1	A = B	A1	A2	B1	B2
1	2,0	1,6	0,6	1,0	1,2	0,6	0,8
2	2,2	1,8	0,6	1,0	1,4	0,6	1,0
3	2,5	2,0	0,6	1,4	1,8	0,6	1,0
4			0,6	1,8	2,2	0,6	1,0
5			0,6	1,2	1,6	0,6	1,0
6			0,6	1,6	2,0	0,6	1,0
7			0,6	1,6	2,1	0,6	1,1
8			0,6	2,0	2,5	0,6	1,1
9			0,6	2,0	2,6	0,6	1,2
10			0,7	1,8	2,4	0,7	1,3
11			0,7	2,2	2,8	0,7	1,3
12			0,8	2,0	2,6	0,8	1,4
13			0,8	2,4	3,0	0,8	1,4
14	2,6	2,0	0,6	2,0	2,6	0,6	1,2
15			0,7	2,2	2,8	0,7	1,4
16			0,8	2,4	3,2	0,8	1,6
17			0,8	2,8	3,8	0,8	1,8
18			0,9	2,4	3,4	0,9	1,9
19			0,9	2,8	3,8	0,9	1,9
20	2,8	2,3	0,6	2,0	2,5	0,6	1,9
21			0,7	2,4	2,9	0,7	1,2
22			0,8	2,6	3,1	0,8	1,3
23			0,9	2,8	3,3	0,9	1,4
24	3,0	2,5	0,7	2,4	2,9	0,7	1,2
25			0,8	2,6	3,1	0,8	1,3
26			0,9	2,8	3,3	0,9	1,4
27			0,9	2,4	3,4	0,9	1,9
28			0,9	2,8	3,8	2,0	3,0
29	3,2	2,6	0,8	2,2	2,7	0,8	1,3
30			0,8	2,6	3,1	0,8	1,3
31			0,8	3,0	3,5	0,8	1,3
32			0,8	3,0	3,8	0,8	1,8
33		2,4	0,9	2,6	3,6	2,0	3,0
34			0,9	3,0	4,0	2,6	3,6

4.3. VODIČI

4.3.1. Najčešće do sada upotrebljavani vodiči

U prilogu je dana izgradjenost 110 kV prijenosne mreže SR Hrvatske, krajem 1984. godine. U tom pregledu nisu uvršteni vodovi za EVP. Duljine su dane po trasama vodova i prema njima su analizirani presjeci vodiča i zaštitne užadi (tj. dvostruki vodovi ili vodiči u snopu tretirani su kao jedna duljina). Radi potpunosti dane su i kableske dionice. Na trasama po kojima se pojavljuje nekoliko presjeka i materijala u pregled je uvršteno najzastupljenije uže. Materijal je označen uobičajenom skraćenicom za ovakve prikaze. Treba naglasiti da će ovaj pregled biti korigiran i detaljiziran pri organizaciji datoteke podataka za prijenosni sistem. Odgovarajuća topologija mreže može se zaključiti iz slika u poglavlju 3, točka 1.

Najzastupljenije presjeke vodiča u postojećoj nadzemnoj 110 kV mreži dajemo u tabl.4.25.

Tablica 4.25.

Zastupljenost presjeka vodiča

PODRUČJE	Ukupno		Al/Č 240/40		Al/Č 150/25		Ostalo	
	km	%	km	%	km	%	km	%
Hrvatska	3713,26	100,0	1944,92	52,4	1283,27	34,5	485,07	13,1
Osijek	686,18	18,5	273,02	39,8	335,60	48,9	77,56	11,3
Rijeka	776,57	20,9	456,17	58,7	193,40	24,9	127,00	16,4
Split	1006,91	27,1	271,73	27,0	487,27	48,4	247,91	24,6
Zagreb	1243,60	33,5	944,00	75,9	267,00	21,5	32,60	2,6

U koloni "ostalo" dane su duljine trasa vodova s vodičima koji se razlikuju od Al/Č 240/40 ili 150/25 bilo materijalom bilo presjekom.

Ovaj pregled pokazuje da je preko polovice ukupne duljine trasa opremljeno Al/Č užetom 240/40, a jedna trećina sa Al/Č 150/25.

Tablica 4.26.

Vodovi kV prijenosne mreže SR Hrvatske

Između	Duljina km	Vodič		Zaštitno uže	
		(1)	(2)	(1)	(2)
Slav.Brod-Andrijevci	20,38	Al/Č	3x210/35	Č	50
Đakovo 1-Andrijevci	15,86	Al/Č	3x210/35	Č	50
Ernestinovo-Đakovo 1/1	31,47	Al/Č	3x210/35	Č	50
Ernestinovo-Đakovo 1/2	31,11	Al/Č	3x240/40	Č	50
Ernestinovo-Osijek 1/1	4,95	Al/Č	3x210/35	Č	50
Ernestinovo-Osijek 1/2	5,46	Al/Č	3x150/25	Č	50
Ernestinovo-Osijek 2/1	11,03	Al/Č	3x240/40	Č	50
Ernestinovo-Osijek 2/2	10,48	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Ernestinovo-Vinkovci	22,49	Al/Č	3x150/25	Č	50
Vinkovci-Županja	35,40	Al/Č	3x150/25	Č	50
Županja-Brčko(do Save)	4,47	Al/Č	3x150/25	Č	50
Vinkovci-Vukovar	13,60	Al/Č	3x150/25	Č	50
Đakovo 1-Vinkovci	31,98	Al/Č	3x240/40	Č	50
Osijek 1-Osijek 2	6,49	Al/Č	3x150/25	Č	50
Slav.Brod-Slav.Požega	35,40	Al/Č	3x150/25	Č	50
Đakovo-Đakovo 2	3,55	Al/Č	3x150/25	Č	50
Đakovo 2-Našice	35,30	Al/Č	3x150/25	Č	50
Našice-D.Miholjac	29,02	Al/Č	3x150/25	Č	50
Osijek 2-B.Manastir	26,85	Al/Č	3x150/25	Č	50
Đakovo 1-Slav.Brod	34,54	Al/Č	3x240/40	Č	50
Našice-Podr.Slatina	37,80	Al/Č	3x150/25	Č	50
Vukovar-Šid (do Šida)	40,67	Al/Č	3x150/25	Č	50
Našice-Cementara	8,51	Al/Č	2x3x240/40	Č	50
Podr.Slatina-Virovitica	30,80	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Ernestinovo-Valpovo	30,94	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Ernestinovo-Vukovar	30,23	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Ernestinovo-Našice	47,40	Al/Č	2x3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Sl.Brod-Bos.Brod	4,90	Al/Č	3x210/35	Č	70
Slav.Požega-N.Gradiška	39,10	Al/Č	3x150/25	Č	50
Valpovo-Komb."Belišće"	6,00	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
HE Vinodol-Rakitje	26,80	Bz	3x150	Č	2 x 50
	102,40	Al/Č	3x240/40	Č	2 x 50
HE Vinodol-Vrbovsko	42,70	Al/Č	3x240/40	Č	50
HE Gojak-otc.Vrbovsko	17,20	Al/Č	3x240/40	Č	50
Vrbovsko-otc.Vrbovsko	1,50	Al/Č	3x95/15	Č	50
HE Vinodol-Crikvenica	7,70	Al/Č	3x240/40	Č	50
Crikvenica-HE Senj	38,10	Al/Č	3x240/40	Č	50

Između	Duljina km	Vodič		Zaštitno uže	
		(1)	(2)	(1)	(2)
HE Senj-Lički Osik	55,50	Al/Č	3x150/25	Č	50
	10,10	Al/Č	3x170/40	Č	50
HE Sklope-Lički Osik	18,80	Al/Č	3x120/20	Č	50
Lički Osik-Gračac*	55,60	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Lički Osik-Plitvice*	38,80	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Gračac-D.Lapac*	33,10	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
HE Vinodol-HE Vinodol	9,00	Cu	3x150	Č	50
Poreč-Rovinj	28,03	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Cres-Lošinj	44,10	Al/Č	3x150/25	AlMg1E/Č 95/55	
Melina-Kraljevica	7,60	Al/Č	2x3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Kraljevica-Omišalj	7,24	Al/Č	3(1x400)	kabel	
	0,08	Cu	3x300	kabel	
	3,72	Al/Č	3x300	kabel	
Melina-Krasica	2,00	Al/Č	2x3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Melina-Katarina-Pehlin	16,00	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Katarina(Peh.Katarina)	0,05	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Katarina(Melina-Kat.)	0,09	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Katarina(Peh.Melina)	0,23	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Pehlin-Katarina	4,10	Cu	3x150	Č	50
Crkvenica-Krk	5,04	Al/Č	3x240/40	kabel	
	0,54	Cu	3x150	kabel	
	9,50	Al/Č	3x240/40	Č	50
Krk-Cres *	15,50	Al/Č	3x150/25	Č	50
	0,56	Cu	3x150	kabel	
	7,10	Al/Č	3x150	kabel	
Pehlin-Matulji/1	0,90	Al/Č	3x170/40	Č	95
	6,20	Al/Č	3x360/57	Č	95
Pehlin-Matulji/2	7,10	Cu	3x150	Č	50
Matulji-Lovran	8,20	Al/Č	3x150/25	Č	50
Lovran-TE Plomin	23,00	Al/Č	3x150/25	Č	50
ulaz/izlaz Lovran	0,50	Al/Č	2x3x150/25	AlMg1E/Č 95/55	
Matulji-TE Plomin	30,40	Al/Č	3x150/25	Č	50
TE Plomin-Pazin	24,90	Al/Č	3x240/40	Č	50
Pazin-Poreč	20,70	Al/Č	3x240/40	Č	50
Pazin-Buzet *	20,50	Al/Č	3x240/40	Č	50
Poreč-Buje	19,00	Al/Č	3x240/40	Č	50
Buje-Koper(do gr.)	3,20	Al/Č	3x150/25	Č	50
TE Plomin-Raša/1	14,30	Al/Č	3x150/25	Č	50
TE Plomin-Raša/2	14,10	Al/Č	3x150/25	Č	50
Raša-Pula/1	27,90	Al/Č	3x105/20	-	-

Između	Duljina km	Vodič		Zaštitno uže	
		(1)	(2)	(1)	(2)
Raša-Pula/2	28,70	Al/Č	3x150/25	Č	50
Matulji-Il.Bistrica	14,60	Cu	3x80	Č	50
Konjsko-Kaštela	12,60	Al/Č	2x3x240/40	Č	126,1
Kaštela-Bilice	52,90	Cu	3x95	Č	35
Kaštela-Trogir	14,70	Cu	3x95	Č	50
Kaštela-Meterize	7,87	Cu	3x95	Č	50
Trogir-Bilice	40,30	Cu	3x95	Č	50
Bilice-Knin	41,50	Al/Č	3x240/40	Č	35
Bilice-Biograd	51,40	Al/Č	3x150/25	Č	35
Biograd-Zadar	27,10	Al/Č	3x150/25	Č	35
Zadar-Nin*	13,30	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Pag-Novalja**	17,40	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Bilice-Obrovac	71,06	Al/Č	3x150/25	Č	50
Obrovac-Zadar	62,70	Al/Č	3x150/25	Č	50
Obrovac-Gračac*	21,30	Al/Č	3x240/40	Č	70
Bilice-Ražine	5,90	Al/Č	2(3x2x185/30)	Aw	117
Bilice-Ražine	5,90	Al/Č	2(3x2x185/30)	Aw	117
Konjsko-Vrboran	10,94	Al/Č	2x3x360/57	A-SLH	108/42
Vrboran-Meterize	1,39	Al/Č	2x3x240/40	A-SLH	133/50
Meterize-He Zakučac/1	18,60	Cu	3x95	Č	35
Meterize-He Zakučac/2	18,50	Al/Č	3x150/25	Č	50
Vrboran-Sučidar	3,44	Al/Č	2x3x240/40	Č	50
Pag-Gorica*	10,50	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Bist.Podgora*	24,50	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Ston-Orebić*	49,81	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Split 3-otc.Split 3	0,53	Al/Č	3x150/25	AlMg1E/Č 95/55	
Meterize-HE Kraljevac	33,70	Cu	3x95	Č	35
HE Zakučac-HE Kraljev.	14,90	Cu	3x95	Č	50
HE Zakučac-Dugi Rat/1	5,10	Cu	3x95	Č	50
HE Zakučac-Dugi Rat/2	5,00	Al/Č	3x240/40	Č	50
Meterize-Sinj	23,30	Al/Č	3x150/25	Č	50
Sinj-HE Peruča	11,40	Al/Č	3x150/25	Č	50
He Peruča-Br.Blato	35,30	Al/Č	3x150/25	Č	50
Buško Blato-Livno	12,40	Al/Č	3x240/40	Č	50
HE Kraljev.-Buš.Blato	36,30	Al/Č	3x240/40	Č	50
HE Kralj.-TS Kraljev.	0,40	Cu	2x3x120	Č	50
HE Kraljev.-Podgora*	28,50	Al/Č	3x240/40	Č	50
Ston-Komolac	43,90	Al/Č	3x150/25	Č	50
Komolac-Trebinje	12,50	Al/Č	3x150/25	Č	50
Opuzen-Neum	23,00	Al/Č	3x150/25	Č	50

Između	Duljina km	Vodič		Zaštitno uže	
		(1)	(2)	(1)	(2)
Neum-Ston	13,00	Al/Č	3x150/25	Č	50
Opuzen-Čapljina(do gr.)	18,80	Al/Č	3x150/25	Č	50
Vrgorac-Ljubuški	15,20	Al/Č	3x150/25	Č	50
Kraljevac-Imotski	30,20	Cu	3x95	Č	50
Imotski-Gruda (do gr.)	6,50	Cu	3x95	Č	50
Obrovac-Seline*	17,40	Al/Č	3x150/25	Č	50
Dugi Rat-KK Dugi Rat	0,58	Al/Č	3x150/25	Č	50
KK Dugi Rat-KK Postira	8,10	Cu	3x95	kabel	
KK Postira-KK Slatina	13,20	Al/Č	3x150/25	Č	50
KK Slatina-KK Travna	4,80	Al	3x150/25	kabel	
KK Travna-Starigrad	6,50	Al/Č	3x150/25	Č	50
Starigrad-KK Medvedbad	12,90	Al/Č	3x150/25	Č	50
KK Medvedbad-KK Prapr	16,60	Al	3x150/25	kabel	
KK Prapr-Blato	9,00	Al/Č	3x150/25	Č	50
Blato-KK Korčula	28,80	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
KK Korčula-KK Zamošće	1,70	Al	3x150/25	kabel	
KK Zamošće-Ston	49,80	Al/Č	3x240/40	Almg1E/Č 95/55	
Mraclin-Ludina	39,80	Al/Č	3x240/40	Č	50
Mraclin-Ivanić	28,00	Al/Č	3x150/25	Č	50
Mraclin-TETO	27,70	Al/Č	3x2x240/40	A	120/70
Mraclin-Velika Gorica	5,60	Al/Č	2x3x150/25	AlMg1E/Č 95/55	
Mraclin-Pračno	35,10	Al/Č	2x3x240/40	Č	2x50
Mraclin-Resnik	21,50	Al/Č	2x3x240/40	Č	2x50
Mraclin-Tumbari	20,80	Al/Č	2x3x240/40	Č	50
Tumbri-Rakitje	15,60	Al/Č	2x3x240/40	Č	50
otcjep Tumbri(Botinec)	12,00	Al/Č	3x2x360/60	Aw	126,1
Rakitje-Jarun	12,10	Al/Č	2x3x240/40	Č	95
Rakitje-Zaprešić	7,80	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Rakitje-Stenjevec	6,10	Al/Č	2x3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Rakitje-Podsused/1	5,40	Al/Č	3x240/40	Č	50
Rakitje-Podsused/2	5,60	Al/Č	3x240/40	Č	50
Rakitje-Samobor	9,90	Al/Č	3x120/20	-	-
Samobor-Brestan.(do gr.)	10,70	Al/Č	3x120/20	-	-
Rakitje-Zdenčina	14,60	Al/Č	3x240/40	Č	50
Zdenčina-Pokupsko	24,40	Al/Č	3x240/40	Č	50
Pokupsko-Karlovac 2*	11,10	Al/Č	3x240/40	Č	50
Pokupsko-HE Gojak	38,10	Al/Č	3x240/40	Č	50
Jarun-TETO	11,60	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Ivanec-Straža*	16,10	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Koprivnica-Virje	22,30	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	

Između	Duljina km	Vodič		Zaštitno uže	
		(1)	(2)	(1)	(2)
HE Čakovec-Prelog	10,00	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Prelog-HE Dubrava*	10,00	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Pračno-TE Sisak	5,40	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Pračno-željezara	5,40	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Jarun-Sopot	8,30	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Sopot-TETO	6,10	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Rakitje-TETO	27,50	Al/Č	3x240/40	Č	50
otcjep Klara	0,70	Al/Č	3x150/25	-	-
TETO-Resnik	8,30	Al/Č	2x3x240/40	Č	2x50
Resnik-Ksaver	16,60	Al/Č	2x3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
	1,80	Cu	2x3x(1x500)	kabel	
Podsused-Zabok	26,00	Al/Č	3x240/40	Č	50
Zabok-Straža *	30,60	Al/Č	3x240/40	Č	50
Zabok-TE Jertovec	29,80	Al/Č	3x240/40	Č	50
Zabok-Tuhelj *	16,10	Al/Č	3x240/40	Č	50
Resnik-TE Jertovec	31,50	Al/Č	3x240/40	Č	50
Nedeljanec-TE Jertovec	36,30	Al/Č	3x240/40	Č	50
Nedeljanec-Formin	22,70	Al/Č	3x240/40	Č	2x70
Nedeljanec-Sojtor	30,70	Al/Č	3x150/40	Č	50
Nedeljanec-Čakovec	13,70	Al/Č	3x150/40	Č	50
Nedeljanec-HE Varaždin	7,10	Al/Č	2x3x240/40	Č	50
Nedeljanec-Varaždin	10,40	Al/Č	3x240/40	Č	50
Nedeljanec-Ivanec *	16,20	Al/Č	3x240/40	Č	50
HE Čakovec-Čakovec	12,30	Al/Č	3x240/40	Č	50
HE Čakovec-Ludbreg	12,30	Al/Č	3x240/40	Č	50
Ludbreg-Koprivnica	19,50	Al/Č	3x240/40	Č	50
Koprivnica-Bjelovar	32,10	Al/Č	3x240/40	Č	50
Bjelovar-Ivanić	37,60	Al/Č	3x150/25	Č	50
Kutina-Kutina	23,60	Al/Č	3x240/40	Č	50
Kutina-Medjurić	11,10	Al/Č	3x240/40	Č	50
Medjurić-N.Gradiška	53,20	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Medjurić-Virovitica	61,90	Al/Č	3x150/25	Č	50
otcjep-Daruvar	11,20	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Resnik-Dugo Selo	12,90	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Dugo Selo-Križevci	36,30	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
Koprivnica-Križevci	32,40	Al/Č	3x240/40	AlMg1E/Č 95/55	
TE Sisak-Rafinerija	2,50	Al/Č	3x150/25	Č	50
Pračno-Rafinerija	6,40	Al/Č	3x150/25	Č	50
TE Sisak-Pračno	5,40	Al/Č	2x3x240/40	Č	50
Pračno-Banja Luka	35,10	Al/Č	2x3x240/40	Č	2x50
TE Sisak-Medjurić	46,10	Al/Č	3x150/25	Č	50

(1) materijal * u pogonu pod 35 kV
(2) presjek ** u pogonu pod 10 kV

Iz izlaganja u 3.1 (raspon očekivanih opterećenja, posebno na novim vodovima)
3.2.1. vodiči 110 kV nadzemnih vodova tipiziraju se

Prema JUS N.C1.351 (VIII 1985) glavni podaci ovog užeta dani su u tabeli 4.27.

OZNAKA	Al žica		Č žica						
(1)	(2)	(3)	(2)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
240/40	26x3,45	2	7x2,68	6	86460	0,1188	1,89	77	
240/40	26x3,45	2	4x3,60	6	84620	0,1188	1,88	77	

- (1) nazivni presjek užeta
- (2) broj i promjer žice
- (3) broj slojeva
- (4) odnos presjeka Al/Č
- (5) računaska sila kidanja u N ($1 \text{ kp} \approx 10 \text{ N}$)
- (6) srednji aktivni otpor na 20°C (Ω/km)
- (7) koeficijent linearnog rastezanja ($10^{-5} \text{ m/m } ^\circ\text{C}$)
- (8) modul elastičnosti (10^3 N/mm^2)

Kao što se može uočiti iz gornje tablice, novi JUS dozvoljava izbor jedne od dviju različitih konstrukcija užeta Al/Č 240/40. Pri tom, prvu od njih, za odnos Al/Č žica 26/7 treba smatrati onom koja se preferira, a drugu onom koja se iznimno dozvoljava. U dosadašnjoj praksi za vodove 110 kV mreže Hrvatske koristila se upravo konstrukcija sa 7 čeličnih žica u jezgri.

Ostaje međutim otvoreno pitanje vodiča u snopu, odnosno njihovog presjeka, ili supstitucija vodičem većeg presjeka. Danas su na teritoriju SR Hrvatske s vodičima u snopu izvedeni, uza sve 400 kV vodove (2x490/65), DV 220 kV Brinje Mracilin (2x240/40), Dv 2x220 kV TE Rijeka-Melina (2x360/57), DV 2x(2x110 kV) Ražine-Bilice (2x185/35), DV 110 kV Tumbri- (Botinec) (2x360/57). DV 110 kV Mracilin-TE TO (2x240/40). U planu su još u srednjoročnom razdoblju povezivanja TS Željezare Sisak teškim 110 kV vodovima sa TE Sisak (2x360/57) i sa TS Pračno (2x240/40), te DV 110 kV RHE Obrovac-Obrovac (2x360/57). Budući da nemamo elaboriranih daljnjih sagledavanja razvoja 110 kV mreže, može se pojaviti potreba teških vodova u sljedećim slučajevima:

- priključka elektrana
- priključka velikih potrošača
- velikih prijenosa u urbanim područjima

Svaku takvu situaciju trebat će konkretno analizirati kao specijalni slučaj i valorizirati rješenje vodičima u snopu, odnosno jednim vodičem po fazi većeg presjeka.

Naročito treba voditi računa o mogućnosti termičkog iskorištenja velikog presjeka vodiča s obzirom na dopušteni pad napona i potrebu jalove snage.

4.3.3. Izbor maksimalnih radnih naprezanja vodiča

Izbor maksimalnoga radnog naprezanja vodiča bi, u strogo teorijskom smislu, trebao biti rezultat ekonomske valorizacije cijene izgradnje i eksploatacije voda te valorizacije pogonske sigurnosti voda s aspekta mahaničkog opterećenja. Dok bi se ekonomska valorizacija cijene izgradnje pa eventualno i eksploatacije po različitim varijantnim rješenjima izbora maksimalnih naprezanja mogla obaviti uz dosta poteškoća, u drugom slučaju suočavamo se s nizom nepoznanica i nepro-
mostivih problema vezanih za statička i dinamička naprezanja vodiča tokom eksploatacije.

Uzmimo, na primjer, da treba objektivizirati izbor između svega dvije varijante maksimalnoga radnog naprezanja Al/Č vodiča, i to 90 N/mm^2 i 95 N/mm^2 . Postupak koji bi pretendirao na određenu egzaktnost zahtijevao bi da se za obje varijante dimenzioniraju odgovarajuća rješenja tipskih stupova i da se onda izračunaju cijene vodova primjenom jedne i druge varijante. Razliku u cijeni trebalo bi zatim dovesti u odnos s razlikom u pogonskoj sigurnosti s obzirom na različita statička i dinamička naprezanja u ovjesištu, prije svega uzrokovana djelovanjem leda i vjetra. Upravo tu se i javlja najveći problem, jer čak i kada bismo utvrdili pouzdano koliko nam u cijeni voda donosi povećanje maksimalnih i srednjih godišnjih naprezanja za 5-6 %, naše poznavanje uvjeta vanjskih opterećenja, pa i ponašanja užeta pri tim opterećenjima, daleko je od mogućnosti tako točne ekonomske valorizacije.

Upravo se zato izbor maksimalnih radnih naprezanja u praksi redovno i svodi na interpretaciju iskustvenih podataka, imajući jasno pri tom na umu upravo one osnovne faktore o kojima je već bilo riječi.

Jedna od karakteristika jugoslavenske prakse gradjenja dalekovoda jest upravo izbor maksimalnih radnih naprezanja koja su redovno 15 - 20 % niža od normalno dozvoljenih za odabrano užje. Dosadašnja pogonska iskustva, pa i tendencije u svijetu, uglavnom potvrđuju opravdanost takvog pristupa.

Odabrano užje Al/Č 240/40 ima u skladu s propisima i JU standardima sljedeća dozvoljena naprezanja:

- 110 N/mm^2 - normalno dozvoljeno
- 210 N/mm^2 - iznimno dozvoljeno
- 275 N/mm^2 - prekidna čvrstoća

Osnovni izbor maksimalnoga radnog, nereduciranog naprezanja je:

- 90 N/mm^2

pri čemu se, uvažavajući raniju praksu i mogućnosti boljeg iskorištenja tipskih stupova, ostavlja mogućnost i izbora maksimalnoga radnog naprezanja od 95 N/mm^2 za vjetrovne zone do 900 N/m^2 .

Za ovaj izbor maksimalnoga radnog naprezanja treba reći da rezultira iznosima srednjeg godišnjeg naprezanja koje i u najnepovoljnijem slučaju ne prelaze 20 % prekidne čvrstoće užeta.

Pod srednjim godišnjim naprezanjem (EDS - Every Day Stress) podrazumjeva se naprezanje pri srednjoj godišnjoj eksploatacijskoj temperaturi koja se može dobiti iz meteoroloških podataka za dotično područje.

Na primjer, za granične slučajeve izbora normalnoga dozvoljenog opterećenja ledom s faktorom 1,0 do 4,0 i odgovarajuće prosječne raspone reda veličine 360 m, odnosno 260 m, vrijednost EDS-a dobiva se prema tabeli 4.28.

Tablica 4.28.

Primjer iznosa EDS-a

Naprezanje (N/mm ²)	E D S			
	k = 1,0	a = 360 m	k = 4,0	a = 260 m
95	54,0 N/mm ²	(19,6 %)	22,5 N/mm ²	(8,2 %)
90	50,6 N/mm ²	(18,4 %)	21,2 N/mm ²	(7,7 %)

Na kraju, za izbor osnovnih naprezanja 90 (95) N/mm² utvrđuju se sljedeći iznosi reduciranih naprezanja za slučajeve koje propisuju uvjeti prijelaza preko drugih objekata:

- 80 N/mm² - naseljena mjesta
- 60(65) N/mm² - prijelazi
- 50 N/mm² - priključci

Približno u proporciji smanjenja maksimalnoga radnog naprezanja u odnosu na osnovno 90 (95) N/mm² je i smanjenje odgovarajućeg iznosa EDS-a.

Ovdje su ti iznosi daleko ispod dopuštenih vrijednosti izračunatih za kriterije zaštite od vibracija.

Za navedeni izbor maksimalnih radnih naprezanja utvrđene su odgovarajuće tablice opterećenja tipskih stupova, a izvršeno je i električko dimenzioniranje glave stupa.

4.4. ZAŠTITNO UŽE

4.4.1. Najčešći do sada upotrebljavani materijali i presjeci zaštitne užadi

Prema izgradjenosti mreže 110 kV danoj u prilogu, u tabl. 4.29, a analogno točki 4.3.1. dajemo pregled najzastupljenijih materijala i presjeka zaštitne užadi.

Tablica 4.29.

Zastupljenost materijala i presjeka zaštitnog užeta

PODRUČJE	AlMg1E/Č		Č 50		Ostalo	
	km	%	km	%	km	%
Hrvatska	683,56	18,4	2615,67	70,4	364,83	9,8
Osijek	155,86	22,7	530,32	77,3	-	-
Rijeka	153,97	19,8	587,60	75,7	7,10	0,9
Split	109,83	10,9	613,85	61,0	283,23	28,1
Zagreb	263,90	21,2	883,90	71,1	74,50	6,0

Ovaj pregled pokazuje da je najzastupljenije zaštitno uže Č 50. Treba dodati da na nekim dionicama vodova uopće nema zaštitnog užeta (ukupno 27,9 km na riječkom i 21,3 km na zagrebačkom području).

4.4.2. Prijedlog tipizacije zaštitne užadi

Prema dosadašnjim teoretskim i laboratorijskim ispitivanjima te desetogodišnjem eksploatacijskom iskustvu predlaže se tipiziranje zaštitnog užeta na nadzemnim vodovima u SR Hrvatskoj sa

užetom 95/55 Al Mg1E/Č

koje optimalno udružuje potrebna mehanička, električna i toplinska svojstva, te mogućnost domaće proizvodnje.

Prema JUS N.C1.551 (VIII 1985) glavni podaci ovog užeta dani su u tabl. 4.30.

Tablica 4.30.

Podaci za uže AlMg1E/Č

(1)	E - AlMg1 žica		Čelična žica		(5)	(6)	(7)	(8)
	(2)	(3)	(2)	(4)				
95/55	12x3,20	1	7x3,20	1,7	88885	0,3412	1,53	107

Objašnjenja uz tablicu 4.30.

- (1) nazivni presjek užeta
- (2) broj i promjer žice
- (3) broj slojeva
- (4) odnos presjeka AlMg1E/Č
- (5) računaska sila kidanja u N ($1 \text{ kp} \approx 10 \text{ N}$)
- (6) srednji aktivni otpor na 20°C (Ω/km)
- (7) koeficijent linearnog rastezanja ($10^{-5} \text{ m/m } ^\circ\text{C}$)
- (8) modul elastičnosti (10^3 N/mm^2)

Redukcioni faktor za predloženo tipizirano zaštitno uže iznosi:

$$0,6732 - j 0,11 = 0,6819 - \underline{9,2^\circ}.$$

Što se tiče člana 21. Pravilnika u nedostatku jugoslavenske regulative određujemo dozvoljenu temperaturu užeta pri kratkom spoju 200°C prema DIN 57103/VDE 0103 (II 1982), član 9, 5, 11,3 i sl. 11. Ako se pretpostavlja da je početna temperatura jednaka nazivnoj temperaturi okoline 40°C , onda je dozvoljena jednosekundna struja kratkog spoja za presjek 95 mm^2 oko 9,5 kA (za Al, Al/Č i Aldrey užeta). Toliko opterećenje zaštitnog užeta prijenosnog voda 110 kV nije vjerojatno, pogotovo podalje od transformatorskih stanica, a i zaštita djeluje u znatno kraćem vremenu od jedne sekunde, tako da se može smatrati da predloženi materijal i presjek zaštitnog užeta zadovoljavaju član 21 našeg Pravilnika.

Usvajanjem užeta AlMg1E/Č 95/55 kao tipskog za vodove 110 kV u Hrvatskoj, takav izbor postaje, kao jedna od mogućnosti supstitucije uvozne užadi "Alumoweld", prihvatljiv i kao rješenje za buduće 400 kV vodove, jasno u konfiguraciji sa dva zaštitna užeta.

Pored toga treba istaći da se u novije vrijeme u našoj praksi dosta radilo na razvoju konstrukcija dvoslojne užadi, da bi se time pokušali riješiti određeni problemi uočeni u eksploataciji, posebno u teškim klimatskim uvjetima i uvjetima učestalih vibracija. Razvijeno AlMg1E/Č 95/55 dvoslojno uže je pri laboratorijskim ispitivanjima pokazalo zadovoljavajuće rezultate i može se, prema zaključcima STK 22 CIGRE i SSRG za dalekovode JUGEL-a, primijeniti kao alternativa jednoslojnome. Tek određeni period eksploatacije treba pokazati u kojoj su mjeri ostvarene potencijalne prednosti novog užeta i ima li razloga uvesti ga u širu primjenu.

4.4.3. Izbor maksimalnih radnih naprezanja zaštitnog užeta

Za odabrano zaštitno uže AlMg1E/Č 95/55 propisima i JU standardima definirana su sljedeća dozvoljena naprezanja:

210 N/mm ² -	normalno dozvoljeno
390 N/mm ² -	iznimno dozvoljeno
524 N/mm ² -	prekidna čvrstoća

Izbor maksimalnih radnih naprezanja zaštitnog užeta definiran je prethodnim izborom maksimalnih radnih naprezanja vodiča. Polazeći od osnovnoga propisima utvrđenog uvjeta da se provodnici moraju nalaziti u granicama zaštitne zone za sve raspone i temperature vodiča od 0° C do 40° C i kriterija da provjes zaštitnog užeta bude oko 10 % manji u sredini prosječnog raspona i pri prosječnoj temperaturi od 10° C, utvrđena su računski sljedeća naprezanja zaštitnog užeta AlMg1E/Č:

- 150 N/mm ² -	osnovno naprezanje
- 130 N/mm ² -	naseljena mjesta
- 100 N/mm ² -	prijelazi
- 75 N/mm ² -	priključci

Iznos EDS-a u najnepovoljnijem slučaju, a ovdje je to maksimalno radno naprezanje 150 N/mm², faktor normalnog dodatnog opterećenja 1,0 i prosječni raspon od oko 360 m, iznosi 79 N/mm² ili 15 % prekidne čvrstoće odabranog užeta. To znači da i za zaštitno uže vrijede svi zaključci u pogledu odnosa odabranog naprezanja i kriterija zaštite od vibracija, navedeni u točki 4.3.

4.5. MEHANIČKI PRORAČUN UŽETA

Mehaničkim proračunom užadi visokonaponskih vodova kontrolira se mehaničko naprezanje same užadi (faznih vodiča i zaštitne užadi), dredjuju opterećenja stupova, vrši kontrola sigurnosnih visina i sigurnosnih udaljenosti na trasi voda te razradjuju optimalni postupci montaže.

Osnovni uvjeti proračuna definirani su Pravilnikom (čl.19 do 27), a odnose se na:

- minimalne dozvoljene presjeke žica i užadi
- dozvoljenu temperaturu zagrijavanja i maksimalnu temperaturu okoliša
- iznose dozvoljenog normalnog i iznimno dozvoljenog naprezanja užadi
- osnovne fizičke karakteristike materijala koji se najčešće kod nas upotrebljavaju za vodiče i zaštitnu užad
- uvjete proračuna naprezanja vodiča dalekovoda sa visećim izolatorima i na na ravnom terenu.

Ostali podaci o fizičkim karakteristikama užadi i žica dani su u odgovarajućim JUS standardima, prema specifikaciji u točki 1.3.

Osnova matematičkog modela svakog mehaničkog proračuna užadi sastoji se u odredjivanju položaja užeta ovješnog izmedju dvije točke za različita stanja temperature i vanjskih opterećenja.

Normalno dozvoljeno naprezanje definirano je kao horizontalna komponenta naprezanja užeta, koja se ne smije prekoračiti pri normalnim uvjetima, tj. na -5°C pri normalnom dodatnom opterećenju ledom ili na -20°C bez dodatnog opterećenja, pa su time odredjeni početni uvjeti od kojih se polazi pri odredjivanju provjesa i naprezanja za druga ravnotežna stanja.

Budući da se i u najjednostavnijim slučajevima, npr. proračun tablica provjesa, svaki matematički model svodi na višestruko ponavljanje rješavanja nelinearne jednačbe, tokom razvoja prakse gradjenja dalekovoda razradjene su različite pojednostavnjene metode proračuna, dijagrami, nomogrami, mehanička računala i sl. u svrhu lakšeg obavljanja ovog posla.

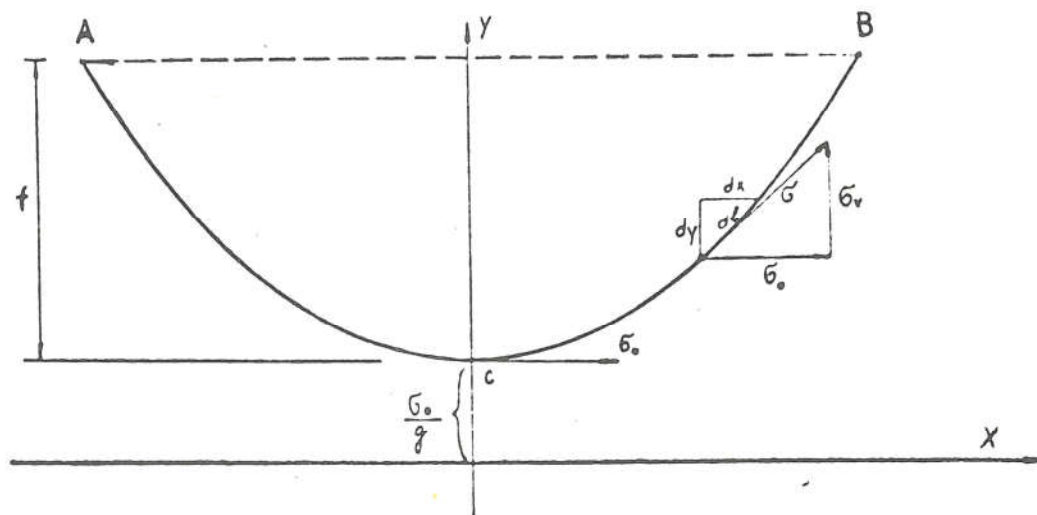
Tokom zadnjih 20 godina bitno se promijenio pristup mehaničkom proračunu užadi, pa i znatno proširila njegova namjena. Na te promjene utjecale su prije svega sljedeće okolnosti:

- izgradnja dalekovoda s vrlo velikim rasponima, npr. na prijelazima preko velikih rijeka, zaljeva i sl.
- uvodjenje u primjenu suvremene mehanizacije za montažu užadi
- primjena računala u praksi projektiranja dalekovoda.

Ovdje će se dati osnovni prikaz suvremenog proračuna užadi, uz osvrt na osnovna područja primjene. Konceptija proračuna pretpostavlja obaveznu razradu odgovarajuće obrade na elektroničkom računalu, ali se većina problema može uspješno rješavati mikroračunalnom pa i personalnim računalima, tako da to danas i ne može biti ograničavajući faktor.

4.5.1. Suvremeni proračun provjesa

Ako pretpostavimo homogeno elastično uže, čija je specifična masa g (kg/m) jednaka po duljini, ovješeno izmedju dvije fiksne točke A i B, sl. 4.50, horizontalna komponenta σ_0 (N/mm²) ukupnog naprezanja vodiča σ (N/mm²) mora biti u svakoj točki užeta jednaka jer ne postoji nikakav prirast horizontalnog naprezanja.



*Sile u zavješenom užetu
Sl.4.50.*

Iz navedenih pretpostavki slijedi da je

$$d\sigma_x = g \cdot dl = g \cdot \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

$$\frac{dx}{dy} = \frac{\sigma_0}{\sigma_v}$$

Odgovarajućim supstitucijama i integracijom dobivamo iz gornjih izraza duljinu u polurasponu:

$$l = \frac{\sigma_0}{g} \cdot \operatorname{sh} \frac{x \cdot g}{\sigma_0}$$

i vertikalnu komponentu naprezanja u svakoj točki užeta:

$$\sigma_x = \sigma_0 \cdot \operatorname{sh} \frac{x \cdot g}{\sigma_0}$$

Navedenim osnovnim izrazima dolazimo do definicije tzv. obične lančanice, čiji je oblik određen jednažbom:

$$y = \int_0^x \operatorname{sh} \left(\frac{x \cdot g}{\sigma_0} \right) dx = \frac{\sigma_0}{g} \cdot \operatorname{ch} \left(\frac{x \cdot g}{\sigma_0} \right)$$

Iz gornje jednažbe slijede izrazi koje najčešće koristimo u mehaničkim proračunima:

- ukupna duljina užeta između točaka A i B

$$L = \int_0^B \sqrt{(1 + y'^2)} dx = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot \sigma_0^2}{g^2} \operatorname{sh}^2 \left(\frac{a \cdot g}{2 \cdot \sigma_0} \right) + h^2 \right)}$$

- totalni raspon

$$a_t = a \cdot \frac{2 \cdot \sigma_0}{g} \cdot \operatorname{Arsh} \frac{h \cdot g}{2 \cdot \sigma_0 \cdot \operatorname{sh} \left(\frac{a \cdot g}{2 \cdot \sigma_0} \right)}$$

- provjes u sredini raspona

$$f = \frac{2 \cdot \sigma_0}{g} \cdot \left[\operatorname{sh} \frac{(a_t - a/2) \cdot g}{2 \cdot \sigma_0} \cdot \operatorname{sh} \frac{a \cdot g}{4 \cdot \sigma_0} \right] - \frac{h}{2}$$

- srednje naprezanje duž luka lančanice

$$\sigma_{sr} = g y_{sr} = g \cdot \int_A^B \frac{y \cdot \sqrt{1 + y'^2}}{1} dx = \frac{\sigma_0}{2 \cdot l} \left(a + \frac{\sqrt{l^2 + h^2}}{2 \cdot \frac{\sigma_0}{g} \cdot \operatorname{th} \frac{a \cdot g}{2 \cdot \sigma_0}} \right)$$

Prva jednačba karakteristična je za spomenuti oblik obične lančanice, za razliku od tzv. parabolične lančanice, kod koje je pretpostavka da je specifična masa g (kg/m) konstanta po horizontalnoj duljini x :

$$d\sigma_x = g \cdot dx$$

Jedna od posljedica gornje pretpostavke jest da su konačni izrazi koje koristimo u mehaničkim proračunima relativno jednostavni za konvencionalne metode proračuna:

- ukupna duljina užeta u rasponu

$$L = a + \frac{a^3 \cdot g^2}{24 \cdot \sigma_0^2} + \frac{h^2}{2 \cdot a}$$

- totalni raspon

$$a_t = a + \frac{2 \cdot h \cdot \sigma_0}{a \cdot g} = a + \frac{h \cdot a}{4 \cdot f}$$

- provjes u sredini raspona

$$f = \frac{a^2 \cdot g}{8 \cdot \sigma_0}$$

- srednje naprezanje duž luka lančanice

$$\sigma_{sr} = \sigma_0 \cdot \frac{L}{a} = \sigma_0 + \frac{1}{3} \cdot f \cdot g$$

Inače, gornji izrazi za parabolički oblik lančanice mogu se dobiti i tako da se hiperbolne funkcije u jednažbama za običnu lančanicu razviju u red te u daljnjem postupku zanemare svi ostali članovi reda osim prvoga. Obično se u literaturi postupak po običnoj lančanici naziva "točnim", a po paraboličkoj "približnim". Korištenje paraboličkog oblika ima danas opravdanja samo za zaista jednostavne rutinske brze kontrole i eventualno, za izradu jednostavnijih programa na džepnom računalu namjenjenih prvenstveno pojedinim specifičnim kontrolama na terenu.

Medjutim ni pretpostavka obične lančanice nije u potpunosti teorijski ispravna. Naime pri promjeni stanja, npr. izduženjem vodiča promjenom temperature, i u teoriji obične i parabolične lančanice polazimo od pretpostavke da je izduženje jednako u svim segmentima ukupne duljine vodiča:

$$L_2 = L_1 \cdot \left[1 + \frac{\sigma_{sr1} - \sigma_{sr2}}{E} \right] \cdot [1 + \alpha \cdot (t_2 - t_1)]$$

gdje su:

- 1,2 - indeksi početnog, odnosno konačnog stanja
- $L(m)$ - ukupna duljina vodiča u rasponu
- $\sigma_{sr} (N/mm^2)$ - srednje naprezanje duž luka lančanice
- $E (N/mm^2)$ - modul elastičnosti užeta
- $\alpha (1/^\circ C)$ - temperaturni koeficijent izduženja
- $t (^\circ C)$ - temperatura užeta

Međutim uže nije u svakoj točki jednako napregnuto. Preko srednjeg naprezanja možemo dobiti tek srednje ukupno izduženje, što nas obično i interesira. Ali stvarni oblik užeta u rasponu ponešto će odstupati od lančanice jer izduženje neće biti po duljini jednako, pa ni masa $g (kg/mm^2)$ neće biti konstantna. Pojednostavnjeno rečeno, najmanje izduženje bit će u tjemenu lančanice, a najveće u točkama ovješnja vodiča.

Rijetki su praktični primjeri u kojima ova finesa može imati određeno praktično značenje. Uzimanjem u obzir i tog efekta ulazimo u teoriju tzv. elastične linije. Za praktične potrebe, redovno pouzdane rezultate dobit ćemo ako matematički model razvijemo na teoriji obične lančanice, a promjenu specifične mase računamo samo pri promjeni stanja u iterativnom postupku računanja horizontalnog naprezanja.

Na taj način dolazimo do potrebe definiranja specifične mase nezategnutog užeta $g_0 (kg/m \text{ mm}^2)$, kao specifične mase za stanje pri $\sigma = 0$ i $t = 20^\circ C$.

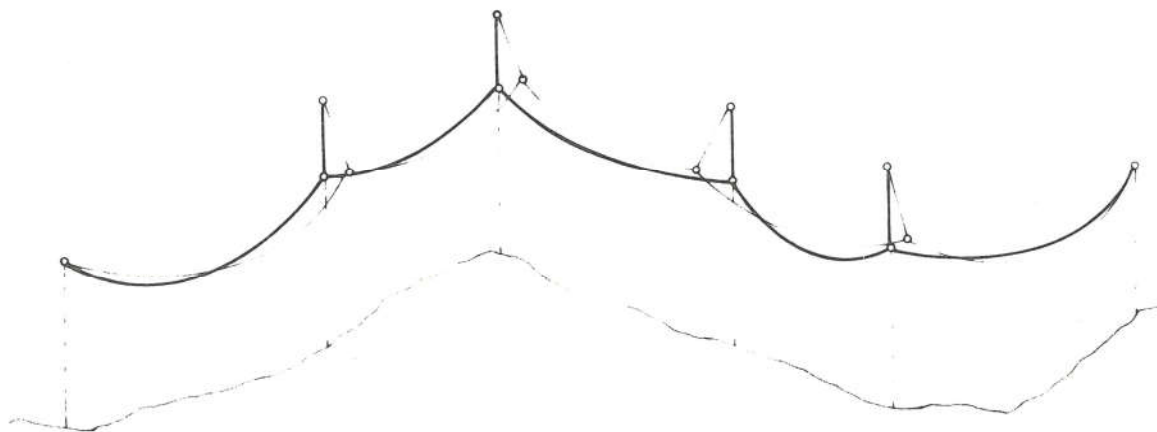
darda treba interpretirati kao mase užeta u nezategnutom stanju (npr. na bubnju ili na tlu) pri temperaturi od 20° C. U svakom drugom stanju temperature i opterećenja užeta računa se stvarna masa g_0 (kg/m mm²).

Postupak ima svoje puno opravdanje posebno pri računanju provjesa i naprezanja vrlo kratkih raspona s malim radnim naprežanjima, kao što su npr. priključci, strujni mostovi i sl.

4.5.2. Proračun montažnih tablica

Nešto detaljniji opis principa suvremenog proračuna užeta u rasponu ni u kojem slučaju ne bi trebao navesti na zaključak da je u "točnom" tretiranju oblika krivulje užeta u rasponu suština unapredjenja koje je donijela novija teorija i praksa na ovom području. Naprotiv, kvalitetno novi sadržaj i smisao dobio se tek unapredjenjem proračuna užeta u zateznom polju.

Ako između dva zatezna stupa imamo N raspona, sl. 4.51. onda za svaki raspon možemo postaviti jednadžbu stanja računajući sa stvarnom konfiguracijom svakog pojedinog raspona.

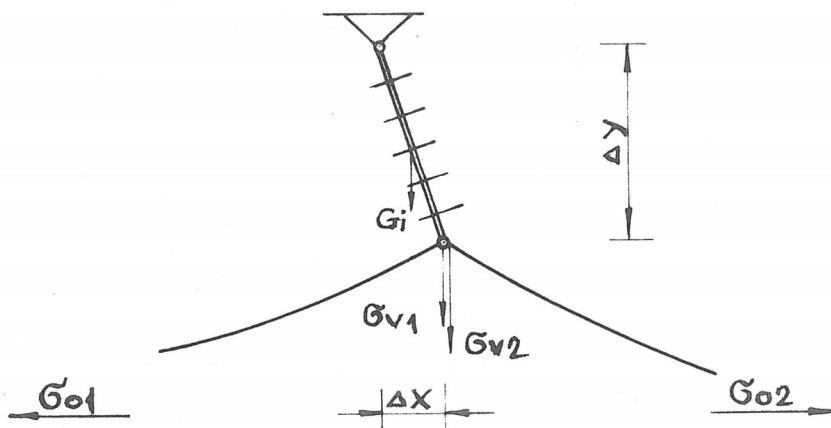


Rasponi između dva zatezna stupa

Sl.4.51.

Medjutim položaji užeta i provjes i naprezanja u svim rasponima zateznog polja

Medjutim položaji užeta i provjes i naprezanja u svim rasponima zateznog polja medjusobno su uvjetovani jer utječu jedan na drugoga pomakom nosivog lanca na svakom pojedinom nosivom stupu, sl. 4.52.



Sile na nosivom izolatorskom lancu
Sl. 4.52.

Ta medjusobna uvjetovanost definirana je jednadžbom ravnoteže u točki ovješnja izolatorskog lanca:

$$\Delta x \cdot (P_{v1} - P_{v2}) - \Delta y \cdot (P_{o1} - P_{o2}) + \frac{\Delta x}{2} \cdot G_i = 0,$$

gdje su:

- 1,2 - indeksi početnog, odnosno konačnog stanja
- v,o - indeksi vertikalnog, odnosno horizontalnog opterećenja
- G_i (N) - gravitaciono opterećenje nosnog lanca
- P (N) - opterećenje vodiča

Jednadžbi ima upravo onoliko koliko ima nosivih stupova u zateznom polju, a to znači $N-1$.

Preko jednadžbi pomaka izolatorskog lanca x (m) jednadžba stanja u svakom pojedinom rasponu zateznog polja postaje funkcija naprezanja u svim rasponima zateznog polja. To znači da se sistem jednadžbi za cijelo zatezno polje može postaviti kao vektor funkcije horizontalnog naprezanja:

$$f(\sigma) = \begin{bmatrix} f_1(\sigma) \\ f_2(\sigma) \\ f(\sigma) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_N) \\ f_2(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_N) \\ f_N(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_N) \end{bmatrix}$$

Rješenje jednadžbi pretpostavlja da je $f(\sigma) = \vec{0}$, a do njega možemo doći primjenom Newtonova iteracionog pravila:

$$\sigma_b = \begin{bmatrix} f & (\sigma_{1b}) \\ f & (\sigma_{2b}) \\ f & (\sigma_{Nb}) \end{bmatrix} = \sigma_a - [f'(\sigma_a)]^{-1} \cdot f(\sigma_a),$$

gdje se indeks "a" odnosi na prethodno, a "b" na upravo izračunato rješenje.

Matrica parcijalnih derivacija $f(\sigma_a)$ dobije se diferenciranjem jednadžbi stanja:

$$f_{ik}(\sigma) = \frac{1}{\Delta\sigma} \cdot f_i(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k + \Delta\sigma, \dots, \sigma_N) - f_i(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k, \dots, \sigma_N)$$

$$(i = 1, \dots, N)$$

$$(k = 1, \dots, N)$$

Mehanički proračun organiziran na ovim principima uz izradu odgovarajućih programa na elektroničkom računalu pruža mogućnost rješavanja najrazličitijih rutinskih i nestandardnih studijskih problema iz ovog područja.

To su prije svega:

- proračuni montažnih tablica
- proračuni uvjeta nejednolikog opterećenja ledom (prijelazi)
- proračun provjesa i naprezanja za opći slučaj i različite moguće kombinacije opterećenja ledom i/ili vjetrom u pojedinim rasponima
- proračun sila razvlačenja užeta i položaja nosnih stezaljki pri montaži užeta.

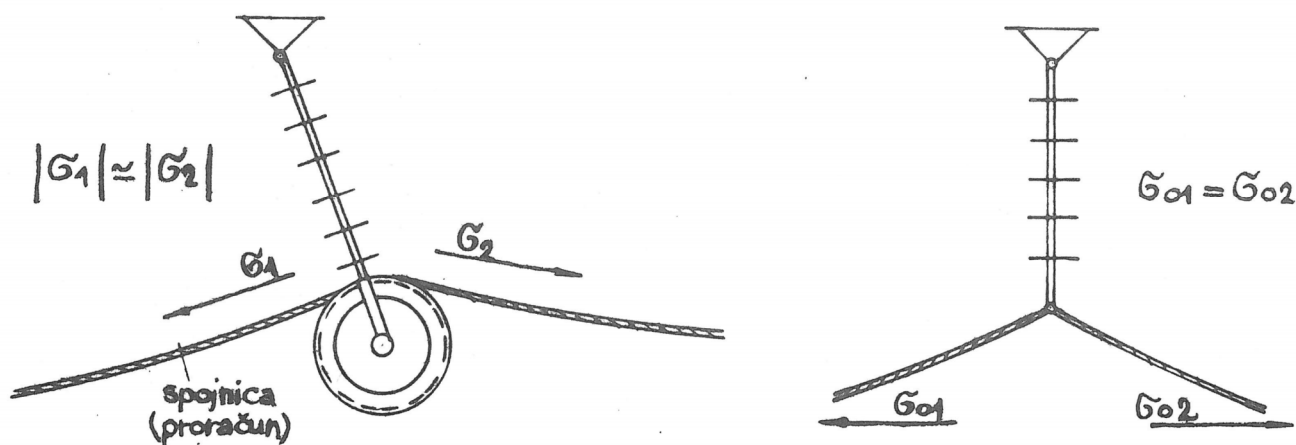
Standardni sadržaj montažnih tablica daje podatke o provjesima vodiča i zaštitne užadi u svim rasponima i za sve temperature montaže, te vertikalne sile na nosivim i zateznim zavješanjima. Projektanti, osim tog još koriste u svrhu analiziranja rješenja razmještaje stupova, podatke o totalnim rasponima te horizontalnim i vertikalnim naprezanjima.

Proračun uvjeta nejednolikog opterećenja ledom je kvalitetnija zamjena za ranije primijenjene razne pojednostavnjene metode, kao što su Wyciskova i sl. Usto je na isti način moguće odrediti i optimalne iznose diferencijalnog opterećenja za regulaciju sile proklizavanja u slučaju primjene kliznih stezaljki.

Primjena u općem slučaju opterećenja ledom i/ili vjetrom posebno je interesantna i značajna za situacije u kojima se analiziraju mogući parametri istodobnog djelovanja ledom i vjetrom te za analizu stvarnih uvjeta opterećenja stupova, što je značajno za primjenu tzv. elastične koncepcije funkcije nosivog stupa u trasi voda, unapredjenje propisima definiranih kriterija za određivanje opterećenja stupova itd.

Proračun sila razvlačenja užeta i položaja nosivih stezaljki pri montaži vodiča jedan je segment primjene mehaničkog proračuna u kome se u stvari detaljnije razradjuje tehnologija montaže užeta. Pod time se podrazumijeva:

- razrada optimalnih duljina užeta i optimalnog rasporeda bubnjeva u trasi voda. Problem tek posredno vezan za mehaničke proračune, jer se ovdje samo koriste izračunate duljine nezategnutih vodiča u zateznim poljima;
- proračun sila razvlačenja užeta koji osigurava da se vodič razvlači onom silom koja ga zadržava dovoljno visoko iznad tla da ne dolazi do oštećenja, a da to s druge strane ne stvara probleme na uređajima za razvlačenje;
- proračun položaja nosivih stezaljki, kojim se ostvaruje uvjet vertikalnosti svih nosnih lanaca po izvršenoj montaži. Poznato je da se prilikom razvlačenja i zatezanja užeta sila u užetu prenosi preko kolotura, uz zanemarenje trenja, u istom iznosu od jednog na drugi raspon, slika 4.53.



*Razvlačenje užeta preko kolotura
Sl. 4.53.*

Postavljanje u vertikalni položaj obavlja se tako da se nakon zatezanja prvo utvrde položaji svih nosivih stezaljki u zateznom polju, a onda izvrši montaža. U protivnom, na brdovitom terenu i uz neujednačene raspone, dolazi do pomaka nosivih lanaca i nepotrebnoga diferencijalnog opterećenja stupa. Tablice položaja nosivih stezaljki računaju se, u osnovi, sličnim matematičkim postupkom kao i montažne tablice.

4.6. OSTALI PROBLEMI VEZANI ZA UŽAD DALEKOVODA

4.6.1. Kompenzacija trajnog izduženja užadi

Iako se dobro poznati fenomen neelastičnog izduženja užadi nadzemnih vodova već dugo proučava, još uvijek nije pronadjeno zadovoljavajuće rješenje u pogledu mogućnosti procjene istežanja na osnovi eksperimentalnih podataka te pogonskih i okolnih uvjeta dalekovoda.

Posljednjih godina u svijetu je nastavljeno eksperimentalno ispitivanje i utvrđeni su neki empirijski zakoni istežanja koji definiraju utjecaj vanjskih i unutrašnjih faktora na sam fenomen trajnog izduženja.

U našoj praksi još nemamo rezultata vlastitih ispitivanja, no trenutno je u toku eksperiment koji će po završetku pružiti realne podatke o vrijednostima koeficijenata kod istežanja užadi domaće proizvodnje. Nosilac ispitivanja je "Dalekovod", a eksperiment sadrži kratkoročna i dugoročna laboratorijska i terenska mjerenja istežanja užadi odgovarajućih presjeka.

Važnost ovog ispitivanja upravo je u tome što usvajanjem pretpostavke da je iznos neelastičnog izduženja za naše uže jednak nekom inozemnom slične konstrukcije, mi usvajamo i pretpostavku da je tehnologija proizvodnje jednaka, što naravno nije istina.

U ovom poglavlju navedene su osnovne karakteristike neelastičnog izduženja, kriteriji koje projektant treba uzeti u obzir kod procjene i kompenzacije neelastičnog izduženja te praktični postupci kompenzacije pri samoj montaži vodiča i zaštitnog užeta dalekovoda.

4.6.1.1. Osnovno o neelastičnom izduženju

Neelastično izduženje nastaje kao rezultat:

- trajnih deformacija materijala (tzv. metalurgijsko istežanje)
- poravnavanja opterećenja među slojevima i razdiobe opterećenja između komponenti složenog vodiča (tzv. geometrijsko istežanje).

Metalurgijsko istežanje je karakteristika homogenog materijala i to je ono neelastično izduženje koje nastaje kada se materijal podvrgava mehaničkom naprezanju kroz dulji vremenski period. Ova komponenta izduženja prevladava u vremenu eksploatacije dalekovoda (oko 30 god.) pa je njena procjena vrlo bitna za efikasnu kompenzaciju i otklanjanje posljedica ovog fenomena.

Kod geometrijskog istezanja, kada je kompletan vodič podvrgnut naprezanju, znatna vrijednost neelastičnog izduženja pojavljuje se kod opterećenja u kratkom vremenskom intervalu. Objašnjenje koje su već dali brojni istraživači leži u složenoj strukturi pletenih vodiča. Proces pletenja ne približava dovoljno žice jednu drugoj već se, kod razvlačenja užeta, opaža unutrašnje djelovanje između pojedinih slojeva sa posljedicom lokalne deformacije u točkama kontakta između žica i njihova daljnjeg učvršćivanja. Za praktičnu svrhu može se smatrati da je geometrijsko izduženje neovisno o trajanju primijenjenog opterećenja, već da se javlja u ograničenom periodu (interval od nekoliko sati, koji je razmjerno mali u odnosu na vijek eksploatacije voda; oko 30 god.).

U pogledu utjecaja opterećenja i temperature u vremenskom periodu, može se razvoj metalurgijskog izduženja opisati jednadžbom:

$$\varepsilon_c = K \cdot f(\tau) \cdot \sigma^\alpha \cdot t^\mu(\sigma)$$

gdje je:

- | | | |
|-----------------------|---|---|
| K | - | konstanta ovisna o materijalu |
| $f(\tau)$ | - | funkcija promjene temperature |
| τ | - | temperatura užeta (°C) |
| σ | - | prosječno naprezanje užeta (N/mm ²) |
| t | - | vrijeme (h) |
| $\alpha, \mu(\sigma)$ | - | eksperimentom određeni koeficijenti |

Empirijski zakon geometrijskog istezanja izražava se relacijom:

$$\varepsilon_s = H(x) \cdot \sigma^\gamma,$$

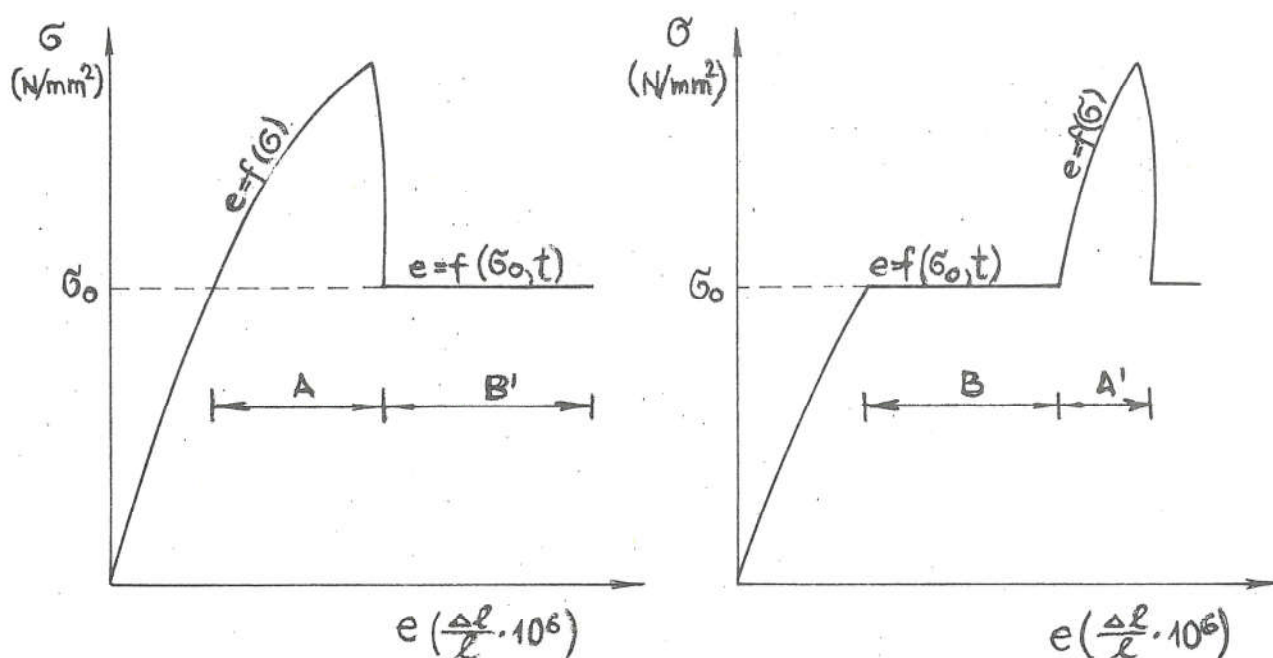
gdje je:

- | | | |
|----------|---|--|
| $H(x)$ | - | koeficijent koji ovisi o konstruktivnim karakteristikama užeta |
| γ | - | koeficijent ovisan o unutrašnjim faktorima (kemijska struktura i industrijski proces proizvodnje). |

Naprijed navedenim definirali smo uzroke nastanka neelastičnog izduženja. Rezultat toga je promjenljivost modula elastičnosti, odnosno nelinearnost odnosa ukupnog izduženja vodiča i vlačnog opterećenja.

Na slici 4.54. prikazana je stvarna promjena relativnog izduženja u ovisnosti o promjeni vlačnog naprezanja. Potrebno je možda naglasiti da dijagram predstavlja ukupno izduženje vodiča. Neelastično izduženje je samo ona razlika koja nastaje u odnosu na početni period opterećenja, a koji se s dovoljnom točnošću može aproksimirati pravcem.

Ukupno neelastično izduženje (izraženo u relativnom odnosu) je $B + A'$ za slučaj 1, odnosno $A + B'$ za slučaj 2.



Relativno izduženje u ovisnosti o promjeni vlačnog naprezanja
Sl. 4.54.

Na dijagramu se jasno mogu uočiti spomenuta dva različita tipa neelastičnog izduženja:

- A i A' - neelastično izduženje nastalo kratkotrajnim opterećenjem, tzv. geometrijsko istezanje
- B i B' - neelastično izduženje nastalo pri konstantnom vlačnom opterećenju, tzv. metalurgijsko istezanje.

Pored toga, ovdje je važno primijetiti da je za ukupni iznos pojedinih komponenti bitan redoslijed. Drugim riječima, nije svejedno ako kratkotrajno preopterećenje slijedi nakon dužeg perioda opterećenja konstantnim vlakom, i obrnuto. Komponenta A' manjeg je iznosa od komponente A upravo zbog prethodnog perioda opterećenja konstantnim vlakom, u kome je došlo do prijanjanja žica i stabilizacije strukture užeta.

4.6.1.2. Kompenzacija trajnog izduženja užeta u toku eksploatacije dalekovoda

U toku eksploatacije dalekovoda uže je podvrgnuto promjenama u naprezanju i temperaturi, koje ovise o početnom naprezanju te o postepenim pogonskim i okolnim promjenama.

Projektant mora dobro poznavati mehaničko i strujno opterećenje voda da bi mogao izračunati izduženje vodiča i povećanje provjesa u toku životnog vijeka. U tu svrhu treba izraditi tablicu gdje je izvršena procjena trajanja, temperature vodiča i naprezanja na osnovi iskustva. Medjutim pouzdaniji rezultat bi se dobio kada bi se ovi podaci uredno registrirali na postojećim vodovima (bar onim magistralnim, karakterističnim za određena područja) i podvrgli zakonima vjerojatnosti (tzv. probabilistički pristup određivanja trajnog izduženja u pogonu). No sve dok se ne formuliraju statističke funkcije promjene ovih parametara (σ, t), treba se ograničiti na tzv. deterministički pristup, tj. procjenu vrijednosti opterećenja u životnoj dobi dalekovoda.

Tablica 4.31.

Vijek trajanja dalekovoda i odgovarajući parametri

Broj intervala	Faza vijeka trajanja	Opis uvjeta opterećenja	Parametri		
			naprez. N/mm^2	temp. $^{\circ}C$	vrijeme sati
1	montaža	razvlačenje užeta	σ_1	τ_1	t_1
2		prezatezanje	σ_2	τ_2	t_2
3		predzatezanje	σ_3	τ_3	t_3
4	vrijeme eksploatacije voda	dio vijeka trajanja opterećen maksimalnim radnim naprezanjem	σ_4	τ_4	t_4
5		kod EDS-a	σ_5	τ_5	t_5
6		kod prosječne temperature u godini	σ_6	τ_6	t_6
7		kod maksimalne temperature u godini	σ_7	τ_7	t_7

Kvaliteta proračuna i sama procjena neelastičnog izduženja vodiča u znatnoj mjeri ovise o procjeni uvjeta rada voda u njegovoj životnoj dobi. Životna dob se obično računa u 10 i 30 godina. U toku analize proračuna neelastičnog izduženja moraju se odvojeno razmatrati montažni intervali (1, 2 i 3 u tablici 4.31.) od intervala koji se odnose na vrijeme eksploatacije voda. Za projektanta je važan eksploatacijski period, kako bi nakon fiksiranja vodiča mogao ocijeniti ukupno istežanje i na taj način konačnu sigurnosnu visinu u toku njegove životne dobi.

Za proračun ukupnog izduženja kompletnog vodiča, bez temperaturnog ograničenja, dan je obrazac sljedećeg oblika:

$$\xi = K \cdot e^{\Phi \tau} \cdot \sigma^{\alpha} \cdot t \cdot \frac{\mu}{\sigma^{\delta}}$$

gdje su K , Φ , α , μ , δ eksperimentom određeni koeficijenti.

S obzirom na kompleksnost cjelokupnog proračuna, razradjen je dijagram toka i matematički model za program na elektroničkom računalu.

Iterativnim postupkom određuju se izduženja u pojedinim intervalima te ukupno izduženje ξ_7 na kraju eksploatacije voda.

Praktički vremenske intervale iz tablice treba podijeliti u takve podintervale da izduženje ne prelazi 20 do 30 mm/km; to znači da je duljina podintervala od 0,1 do 1 sat.

Izlaz programa daje ukupno neelastično izduženje užeta α_7 , zatim dio izduženja koji se očekuje u eksploataciji dalekovoda $\Delta \xi_7$ i naprezanje σ_7 . S ovim naprežanjem izračuna se i najveći provjes vodiča f_7 na kraju životne dobi dalekovoda.

S druge strane, za idealno elastični vodič zna se EDS naprezanje i iz njega se može izračunati naprezanje te provjes f_t elastičnog vodiča na istoj temperaturi kao i f_7 .

Tako se dodje do razlike provjesa "plastičnog" i "elastičnog" vodiča.

$$f = f_7 - f_t$$

Projektant treba odlučiti da li će raspored stupova vršiti na bazi f_7 ili f_t , ili će kod rasporeda imati malu rezervu x u sigurnosnoj visini.

1. Ako se projektant odluči da raspored stupova izvrši na bazi najvećeg provjesa f_7 na kraju životne dobi, tada se za prvi bazični raspon (u principu jednak srednjem rasponu nosnog stupa) izradi šablona poštivajući sljedeće relacije:

$$f_7 = f_f \longrightarrow \sigma_f \longrightarrow \sigma_{f20^\circ}$$

gdje je f_f krajnii ili finalni provjes, a σ_7 finalno naprezanje na kraju vijeka trajanja.

Montažno naprezanje za izradu montažnih tablica provjesa dobije se iz relacije $f_e = f_t - \Delta f \longrightarrow \sigma_e \longrightarrow \sigma_{e20^\circ}$, gdje je montažno naprezanje na 20° C jednako EDS.

U ovom slučaju povećanjem visina stupova rješava se Δf .

2. Ako se projektant odluči da razmještaj stupova na uzdužnom profilu vrši na bazi f_t s idealno elastičnom krivuljom vodiča za koji poznaje EDS, tada je finalni provjes

$$f_f = f_t = f_7 - \Delta f \longrightarrow \sigma_t \longrightarrow \sigma_{t20^\circ} = \sigma_{\text{EDS}}$$

Da bi vodič nakon životne dobi zauzeo svoj finalni položaj $f_f = f_t$, kod montaže mora se vodič prezategnuti do montažne vrijednosti provjesa f_7 . Oдавде proizlaze relacije za određivanje montažnih tablica provjesa:

$$f_e = f_f - \Delta f = f_7 - 2 \cdot \Delta f \longrightarrow e$$

Dok se u prethodnom slučaju Δf rješavalo visinom stupa, ovdje se to postiže prezatezanjem vodiča za $2 \cdot \Delta f$. Prema tome u prvom slučaju su povećani troškovi zbog povećanja visina stupova, a u drugom zbog povećanog naprezanja postoji opasnost od intezivnih vibracija te ukupnog smanjenja stupnja pouzdanosti sistema visokonaponskog voda.

Očigledno, između ova dva slučaja postoji neki optimum koji bi dao minimum troškova po ovom kriteriju.

U principu dakle treba kombinirati ove dvije metode kompenzacije. Za određeno povećanje visine stupova x , montažu treba izvršiti kod vrijednosti provjesa $f_e = f_7 - (2 \cdot \Delta f - x)$, što rezultira umanjenom vrijednošću povećanja troškova izgradnje stupova, a i smanjenjem montažnog naprezanja s obzirom na opasnosti od vibracija.

4.6.1.3. Montaža užeta

Ako se poslije razvlačenja vodič dovede do nekog početnog naprezanja i tu se fiksira, kažemo da je uže prezategnuto radi kompenzacije neelastičnog izduženja. Početno naprezanje dobije se prethodno opisanim postupkom proračuna za ukupnu životnu dob dalekovoda, a ono je mjerodavno za proračun montažnih tablica provjesa. Zbog neelastičnih izduženja, naprezanje postepeno u životnoj dobi opada na finalnu vrijednost.

Ovakav način montaže nije dobar u uvjetima gdje postoji opasnost od eolskih vibracija kod malih brzina vjetra, te dolazi do zamora i prekida pojedinih žica užeta. Pogotovo je to moguće kod ovakvog pristupa gdje je naprezanje u početnom periodu eksploatacije (čak i do 1 000 sati) neprestano iznad dopuštenog EDS-a za ugradjeni vodič.

Ovo je osnovni razlog zašto je u uvjetima gdje postoji opasnost od vibracija uvedena montaža vodiča predzatezanjem. Ovdje se nakon razvlačenja vodič zateže do neke više vrijednosti naprezanja (40 % od prekidnog), tu se drži nekoliko sati i poslije toga spušta na nižu vrijednost montažnog naprezanja ili EDS. Na ovaj način izbjegava se visoka vrijednost početnog naprezanja jer se eliminira geometrijski dio neelastičnih izduženja i dovodi se uže u stabilno područje modula elastičnosti.

Kod izvođenja montaže predzatezanjem treba biti vrlo oprezan budući da vrijednost naprezanja dosiže veličinu maksimalnog radnog naprezanja pa je radi stabilnosti posebno važno pravilno usidriti zatezne stupove.

4.6.1.4. Preporuke na bazi dosadašnjih iskustava

Budući da je program laboratorijskih ispitivanja u toku, tj. nisu poznate vrijednosti koeficijenata za proračun ukupnog neelastičnog izduženja užeta, nemoguće je u ovom trenutku dati konkretne podatke o izduženju našeg užeta Al/c 240/40 mm² (odabrano kao tipsko za dalekovode 110 kV) na bazi spomenutih kriterija.

Stoga se za primjenu u praksi preporuča metoda tzv. temperaturne kompenzacije.

Za konstrukciju užeta Al/č 240/40 mm² (26 x 3,44 mm Al + 7 x 2,68 mm), proizvodnju žice "Properzi" metodom, strani izvori preporučuju, za vijek eksploatacije od 30 godina, temperaturnu kompenzaciju od 10°C. To znači da će se pri montaži na terenu uže prenapregnuti za iznos razlike provjesa koji odgovara razlici temperature od 10°C.

Ako se pri izgradnji tzv. "teških vodova" koristi uže Al/č 490/65 mm² (54 x 3,40 mm Al + 7 x 3,40 mm), tada je postupak kompenzacije potrebno provesti temperaturnom korekcijom od 15°C za isti vijek eksploatacije dalekovoda od 30 godina.

Navedeni podaci rezultat su ispitivanja, proračuna i praktičnih iskustava inozemnih istraživača te se, uz brojne pretpostavke, mogu u ovom trenutku koristiti kao kriteriji za rješavanje ovog problema i kod naših novoprojektiranih vodova.

4.6.2. Rastojnici i rastojnici-prigušivači za vodiče u snopu

Poznato je da je uloga rastojnika da vodiče snopa drži na odredjenom rastojanju i u odredjenom geometrijskom rasporedu.

Pri djelovanju sila vjetra, otpadanju leda ili pri djelovanju struja kratkog spoja ovaj raspored i rastojanja mogu biti izmijenjeni, ali se po prestanku djelovanja sila snop mora vratiti u privobitnan položaj.

Rastojanja i odredjeni geometrijski raspored vodiča snopa mogu biti i trajno izmijenjeni ako dodje do pojave okretanja snopa ili zaplitanja vodiča snopa pod utjecajem navedenih sila. Tada govorimo o gubitku stabilnosti snopa.

Stabilnost snopa se, osim na geometrijskom rasporedu vodiča snopa, bazira i na svojstvima rastojnika i njegovu rasporedu u rasponu. Posebno je važan raspored rastojnika u rasponu.

Rastojnici koji ispunjavaju sve osnovne tehničke uvjete, vezane za stabilnost snopa te mehaničke i električke uvjete vodiča u snopu, su elastični rastojnici s distantnim prstenom i graničnicima.

Ovaj tip rastojnika samo djelomično prigušuje vibracije na vodu pa se ne može tretirati kao sredstvo za zaštitu od vibracija. Stoga se u kombinaciji s elastičnim rastojnicima koriste prigušivači vibracija kao sredstvo za zaštitu od vibracija.

Konstrukcije elastičnih rastojnika kod kojih je, pored ostalih svojstava rastojnika, naglašena i osobina prigušenja eolskih vibracija i oscilacija u podrasponima su rastojnici-prigušivači. Uz ove tipove rastojnika nije potrebno koristiti prugušivače vibracija, ako se mjerenjem vibracija ne utvrdi suprotno.

Rasporedi rastojnika i rastojnika-prigušivača u rasponu koji se primjenjuju na vodovima uglavnom su iskustveno utvrđeni, bilo ispitivanjem na ispitnim vodovima bilo kroz praksu gradnje.

Uzimajući u obzir naprezanja vodiča odredjena "Pravilnikom" i standardno rastojanje snopa od 400 mm, može se za uvjete naše elektroenergetske mreže preporučiti raspored dan grafičkim prikazom (slika 4.55).

Broj rastojnika u rasponu odredjen je ovisno o duljini raspona i klimatskim uvjetima. Udaljenost između rastojnika od 70 m uzeta je kao razdjelna linija.

Za područja s lakšim klimatskim uvjetima (dodatni teret 1,0 i $1,6 \times 0,18 \sqrt{d}$ kg/m i tlak vjetra 600 N/m²) broj rastojnika i međusobnu udaljenost određuje se prema gornjem dijelu grafičkog prikaza (crtano izvučene linije).

Za područja s težim klimatskim uvjetima (dodatni teret 2,5 i $4,0 \times 0,18 \sqrt{d}$ kg/m i tlak vjetra 750 i 900 N/m²) broj rastojnika i udaljenost između njih određuje se prema donjem dijelu grafičkog prikaza (puna izvučena linija).

U slučaju tlaka vjetra 1300 i 1500 N/m² vrijednosti udaljenosti između rastojnika smanjuju se za oko 20 %.

Udaljenost između rastojnika i ovjesišta vodiča u snopu je umanjena u odnosu na udaljenosti između rastojnika i ona za sve slučajeve iznosi 35 m.

4.6.3. Zaštita vodiča i zaštitne užadi od mehaničkih oscilacija

Na užadi nadzemnih elektroenergetskih vodova pojavljuju se mehaničke oscilacije u sljedećim oblicima:

- eolske vibracije
- vibracije u podrasponima
- galopiranje

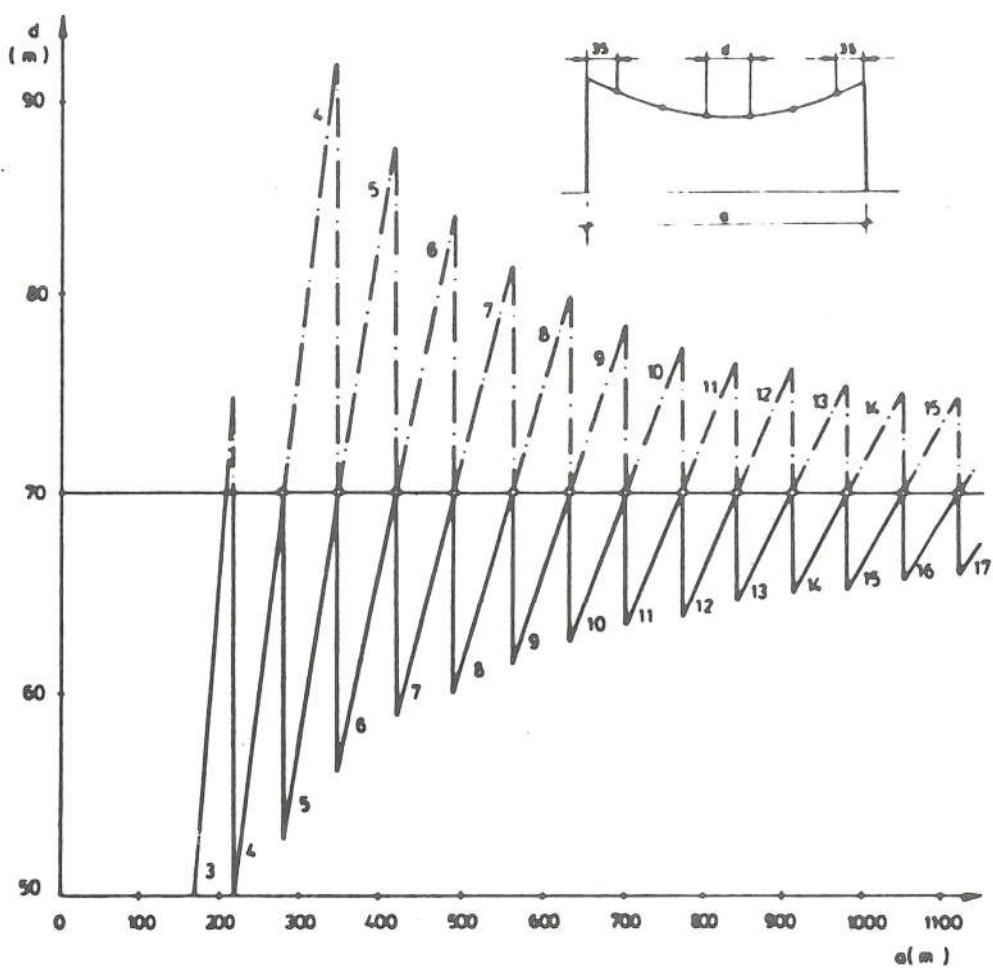
4.6.3.1. Eolske vibracije

Eolske vibracije su kao pojava najbolje izučene, a imaju frekvenciju u intervalu od 5 do 120 Hz, amplitudu u intervalu 0,1-1,0 cm, vrlo rijetko veću, te valnu duljinu 0,5-10 m.

Uzrok nastanka eolskih vibracija su zračna strujanja koja moraju biti okomita ili pod određenim kutem na trasu voda. Najpogodnija su konstantna zračna strujanja čija je brzina oko 1-5 m/s.

Pored uvjeta vjetra nastanku pojave eolskih vibracija pogoduju i određeni topografski i klimatološki uvjeti te određeni faktori vezani za karakteristike vodiča i voda.

Topografski uvjeti koji pogoduju pojavi vibracija su ravan teren i nisko raslinje ili tereni bez raslinja. Mjesta gdje dalekovodi presjecaju riječna korita ili prolaze, uske doline, gdje dolazi do strujanja zračnih masa, predstavljaju pogodna mjesta za nastanak ove pojave.



Broj rastojnika u rasponu i ovisnost o duljini raspona
Sl. 4.55.

Niske temperature i suho vrijeme su klimatološki uvjeti koji pogoduju pojavi vibracija uz navedene uvjete vjetra.

Dugački rasponi i veća mehanička naprezanja vodiča i zaštitne užadi takodjer pogoduju pojavi vibracija. Karakteristika vodiča i zaštitne užadi, koje pogoduju ovoj pojavi, su mala specifična težina po jedinici volumena te nizak nivo samog prigušenja.

Posljedice djelovanja eolskih vibracija su zamori materijala koji su ugradjeni na dalekovodima, a najčešće su to lomovi pojedinih žica vodiča ili zaštitnog užeta neposredno u blizini nosive i zatezne stezaljke, nastavne spojnice, rastojnika, te odvrtnje vijaka i matica na stupovima i ovjesnoj opremi.

Danas postoje mnogobrojna sredstva i metode zaštite od vibracija. Jedna od dobro poznatih mjera za smanjenje intenziteta vibracija jest smanjenje naprezanja u vodiču. Medjutim ova mjera zaštite od vibracija ne uzima u obzir topografske i atmosferske uvjete ni uvjete vjetrovnog opterećenja po intenzitetu učestalosti pa se stoga u praksi mora selektivno primjenjivati i u kombinaciji s drugim sredstvima zaštite.

Kao najpouzdanije sredstvo zaštite od vibracija koriste se prigušivači vibracija tipa Stockbridge, zapravo poboljšane verzije ovog tipa prigušivača. Oni posjeduju najveće prigušne snage i najveće pokrivanje frekventnog područja. (slika 4.56).

Područje djelovanja poboljšanih verzija prigušivača vibracija tipa Stockbridge je od 5 do 50 Hz, dok jest u području frekvencija iznad 50 Hz djelovanje prigušivača znatno slabije izraženo. U području od 5 do 50 Hz ovaj tip prigušivača ne djeluje jednako efikasno, nego ima dva ili četiri područja frekvencija u kojima izrazito efikasno djeluje, a koja odgovaraju njegovim rezonantnim frekvencijama.

Prigušivači vibracija s četiri rezonantne frekvencije ujednačenije pokrivaju frekventno područje od 5 do 50 Hz, ali im se u odnosu na prigušivače vibracija s dvije rezonantne frekvencije smanjuju maksimalne prigušne snage.

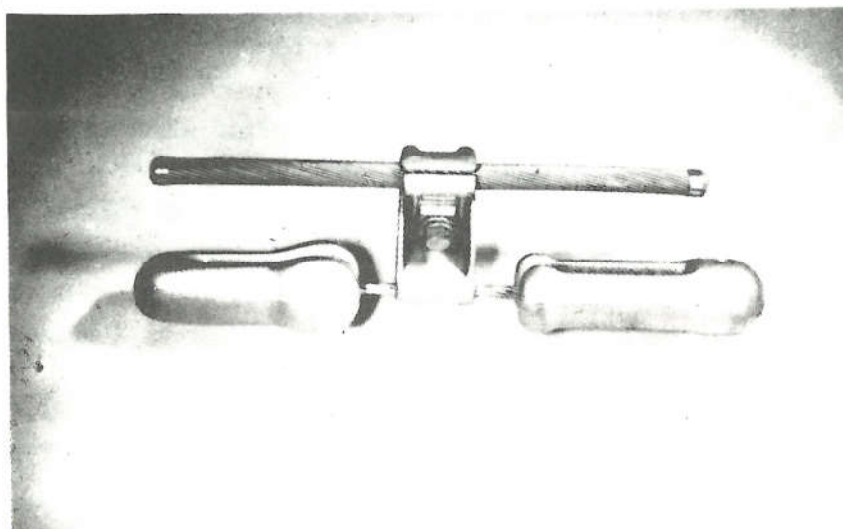
U kombinaciji s prigušivačima vibracija mogu se ugraditi i zaštitne spirale u nosivim ovješnjima voda koja su inače najizloženija djelovanju eolskih vibracija.

Zaštitne spirale nisu sredstvo zaštite od vibracija koje može smanjiti intenzitet vibracija, odnosno amplitudu vibracija u štićenom rasponu, ali u nosivom ovješju gdje su montirane povećavaju krutost vodiča, a time i njegovu otpornost na zamor od vibracija.

4.6.3.2. Raspored prigušivača u rasponu

Preduvjet efikasnog djelovanja prigušivača vibracija je, pored ostaloga, i pravilan raspored u rasponu.

Za prigušivače vibracija s dvije rezonantne frekvencije (grupa 20) i prigušivače vibracija s četiri rezonantne frekvencije (grupa 90), proizvodnje "Dalekovod" - Zagreb, dan je u tabl. 4.33 odabir tipa prigušivača u odnosu na promjer vodiča ili zaštitnog užeta.



Prigušivač vibracija tipa Stockbridge - "Dalekovod"
Sl.4.56.

Tablica 4.32.

Podaci o prigušivaču tipa Stockbridge - "Dalekovod"

Broj kataloga	Dimenzije [mm]				Masa kg	Vijak Moment M zatez. Nm mm		Sila klizanja N
	ϕA	L	B	C				
66.01.90	6,61- 9,90	310	48	60	1,00	10	M 8	1 200
66.10.90	8,31- 15,00	400	50	71	2,00	20	M 10	1 400
66.20.90	12,01-17,80	400	52	74	2,00	35	M 12	2 000
66.30.90	15,01-21,00	450	52	74	3,00	35	M 12	2 000
66.40.90	17,81-24,60	500	58	90	4,20	53	M 14	3 000
66.50.90	21,01-29,00	500	58	90	5,20	53	M 14	3 000
66.60.90	24,61-33,00	520	60	100	5,80	83	M 16	4 000
66.70.90	29,01-36,00	565	60	100	7,10	83	M 16	4 000

Tablica 4.33.

Podaci prigušivača vibracija tipa Stockbridge - "Dalekovod"

Broj kataloga	Tip vodiča ili zaštitnog užeta	Promjer vodiča mm	Masa kg	Moment pritezanja Nm
66.30.90	95/55-AlMg1E/Č	15,01-21,00	3,0	35
66.50.90	240/40-Al/Č	21,01-29,00	5,2	55
66.70.90	490/65-Al/Č	29,01-36,00	7,1	83

Broj prigušivača vibracija u rasponu određuje se prema duljini raspona. Za prigušivače grupe 20 i grupe 90 određen je sljedeći broj prigušivača po rasponu:

- raspon do 350 m - jedan prigušivač vibracija na svakoj strani raspona
- raspon od 350 do 600 m - dva prigušivača vibracija na svakoj strani raspona
- raspon preko 600 m - broj prigušivača vibracija se posebno određuje za svaki određeni slučaj.

Ovako određen broj prigušivača vibracija pretpostavlja maksimalna naprezanja vodiča i zaštitne užadi u okvirima dozvoljenim Pravilnikom, te postojanje topografskih i klimatoloških faktora za nastanak pojave vibracija.

Lokacija prigušivača vibracija u rasponu dana je u tabl. 4.34. u ovisnosti o promjeru vodiča odnosno zaštitnog užeta.

Tablica 4.34.

Lokacija prigušivača vibracija

Promjer vodiča (mm)	Tip vodiča ili zaštitnog užeta	Odstojanje od kraja raspona (mm)	
		A	B
14,57 - 16,16	95/55-AlMg1E/Č	915	1 830
21,09 - 22,84	240/40-Al/Č	1 220	2 440
28,97 - 31,09	490/65-Al/Č	1 525	3 050

Odstojanje A određuje poziciju prvog prigušivača, a odstojanje B poziciju drugog prigušivača od kraja raspona.

Odstojanja A i B mjere se od sredine nosive stezaljke kod nosivih ovješnja, a kod zateznih zavješnja od mjesta izlaska vodiča iz zatezne stezaljke.

Nakon postavljanja prigušivača na vod preporuča se izvršiti mjerenje vibracija sa svrhom da se ustanovi efikasnost postavljene zaštite od vibracija.

Ovaj postupak treba primijeniti obavezno, ako je zbog malih raspona, smanjenih naprezanja i povoljnih topografskih uvjeta zaštita od vibracija postavljana selektivno, tj. izostavljena ili postavljena samo na dijelu voda.

Kao kriterij za postavljanje zaštite od vibracija treba koristiti preporuku međunarodne organizacije CIGRE koja dozvoljava pojavu amplituda vibracija do nivoa određenog s maksimalnim izduženjem na savijanje u stojnim točkama vala od 150 mikrostraina.

Ako se pri mjerenjima utvrde veće vrijednosti amplituda vibracija od dozvoljenih, potrebno je na osnovi izmjerenih vrijednosti vibracija izvršiti odabir prigušivača i ugraditi ih na vod.

4.6.3.3. Vibracije u podrasponima

Vibracije u podrasponima javljaju se samo kod vodiča u snopu u područjima s vjetrom srednjeg i velikog inteziteta. Zaštita od ove vrste oscilacija provodi se pravilnim izborom i postavljanjem rastojnika-prigušivača u rasponu. U praksi je uobičajno da duljina podraspona ne bude veća od oko 100 m jer u slučaju izvanrednih pogonskih uvjeta i pojave dodatnih elektromagnetskih sila te nepovoljnih vjetrovnih prilika može doći do međusobnog privlačenja i sudaranja vodiča u snopu.

4.6.3.4. Galopiranje

Pojave galopiranja opažene su kod jednostrukih vodiča te kod vodiča u snopu pri vjetru srednje i velike jačine, a potencirane su stvaranjem ledenog omotača aerodinamičkih karakteristika. Vodiči u snopu podložni su galopiranju, pogotovo ako je snop postavljen u horizontalnoj ravnini i prilikom zaleđivanja poprima oblik sličan avionskom krilu. Prilikom udara vjetra dolazi do podizanja ovakvog snopa što može uzrokovati međufazne dodire vodiča te oštećenja stupa prilikom jačih dinamičkih udara.

Mjere zaštite od galopiranja mogu se podijeliti na one u fazi projektiranja i one u fazi eksploatacije kod već izgrađenih vodova. Prilikom odabira trase potrebno je po mogućnosti izbjeći područja gdje je već opažena pojava galopiranja (prijełazi uskih kanjona i sl.). Ako se takva kritična područja ne mogu izbjeći, potrebno je dimenzionirati opremu tako da se postignuti veći međufazni razmaci te predvidjeti dodatna sredstva za zaštitu od galopiranja. Kod već izgrađenih vodova, u rasponima gdje je uočena ova pojava, a koristeći iskustva iz svjetske prakse, moguće je poduzeti sjedeće zaštitne mjere:

- montaža međusobnih rastojnika
- otpuštanje snopa tako da se omogući slobodna rotacija vodiča i time spriječi formiranje "avionskog krila"
- ugradnja prigušnih naprava s nesimetrično raspoređenim masama
- ugradnja zračnih spojlera za ublažavanje djelovanja vjetra
- ugradnja prstenastih rastojnika koji omogućuju slobodnu rotaciju svakog pojedinog vodiča u snopu.

Kod horizontalne konfiguracije snopa otpuštanjem, odnosno uklanjanjem rastojnika javlja se problem sudaranja vodiča u snopu, pa je jedan vodič potrebno otpustiti, tj. napraviti denivelaciju snopa.

4.7. IZOLACIJA DALEKOVODA

4.7.1. Izbor tipa izolatora

U sastavu izolatorskih lanaca koriste se izolatori kao izolacioni dio montažnog sklopa, koji zajedno s odgovarajućom ovjesnom opremom čini izolatorski lanac.

Za gradnju dalekovoda 110 kV dolaze u obzir kapasti i štapni izolatori, dok se potporni izolatori koriste za napone do 35 kV.

S obzirom na upotrijebljeni materijal izolacionog dijela moguća je primjena porculanskih i staklenih izolatora koje domaća industrija proizvodi.

U dosadašnjoj praksi gradnje dalekovoda 110 kV na području SFRJ korišteni su kapasti porculanski i stakleni izolatori te porculanski štapni izolatori. Najveći broj izgrađenih dalekovoda 110 kV ima u sklopu izolatorskih lanaca porculanske i staklene kapaste izolatore, dok su porculanski štapni izolatori korišteni na malom broju dalekovoda koji su bili gradjeni neposredno nakon drugoga svjetskog rata.

Proizvodnju porculanskih kapastih i štapnih izolatora domaća industrija je potpuno usvojila, dok se izolacioni dio staklenih kapastih izolatora uvozi iz SSSR-a na bazi dugoročne kooperacije domaće industrije izolatora IEP Arandjelovac i tvornice izolatora u SSSR-u.

U praksi gradnje dalekovoda 35, 110 i 220 kV korišteni su uglavnom porculanski kapasti izolatori tipa K-2 i K-3 te stakleni kapasti izolatori tipa KT-120 i KT-120 M, koje proizvodi domaća tvornica IEP Arandjelovac. Karakteristike ovih tipova porculanskih i staklenih kapastih izolatora dane su u tabl. 4.35.

Svojim osnovnim mjerama i karakteristikama kapasti izolatori navedeni u tabl. 4.35. odgovaraju preporukama standardnih mjera i karakteristika prema IEC publikaciji br. 305, osim izolatora tip KT 120 M. Ovaj tip izolatora namijenjen je za upotrebu u uvjetima zagađene atmosfere ili u uvjetima magle.

Zglobna veza batić-zdjelica izvedena je kod sva četiri navedena tipa izolatora u skladu sa standardom IEC publikacije br. 120, a osiguranje zglobne veze izvedeno je R - zatićem koji je također u skladu sa standardom IEC publikacije br. 372. Ovaj tip zatića omogućuje rad pod naponom na izolatorskim lancima.

Štapni izolatori su relativno slabo zastupljeni u našoj elektroenergetskoj mreži. Osim upotrebe štapnih porculanskih izolatora inozemne proizvodnje neposredno poslije rata, štapni izolatori domaće proizvodnje korišteni su jedino u TS 400 kV Konjsko.

Za gradnju dalekovoda 110 kV može se koristiti štapni parculanski izolator tipa Š 75/18 i Š 75/22 te L 120 E 1000, proizvodnje IEP Arandjelovac.

Štapni izolator tipa L 120 E 1000 proizveden je zbog interesa za primjenu štapnih izolatora u vezi s rješavanjem problema izolacije u uvjetima zagađene atmosfere i posolice.

Detaljniji podaci o izmjerenim električkim vrijednostima napona kao električkim karakteristikama navedenih tipova štapnih izolatora nažalost ne postoje, jer detaljna dielektrička ispitivanja izolatorskih jedinica još nisu izvršena. Stoga su u tabl. 4.36. navedene samo mjere, masa i mehaničke karakteristike.

Za porculanske kapaste izolatore poznato je da su probojni, tj. da pri djelovanju većih udarnih ili izmjeničnih napona dolazi do preskoka, a rjeđe i do proboja izolacionog diska izolatora. Proboj izolacionog diska kod kapastih izolatora nastaje između metalnih dijelova, kape i batića, kroz izolacioni disk, ali pri tom ne dolazi do prekida izolatora u sklopu izolatorskog lanca.

Slučaj proboja izolatora dovodi do potrebe izmjene pojedinih članaka izolatora u sklopu izolatorskog lanca u toku eksploatacije, što nije jednostavno, jer se vizualno ne može utvrditi na kom je izolatorskom članku u izolatorskom nizu nastupio proboj. Metode koji se koriste u detekciji probijenih izolatora zahtijevaju vrijeme i prekid pogona.

Kod staklenih kapastih izolatora ova pojava je vrlo rijetka, a kad se dogodi disk izolatora se rasprskava jer je izradjen od prenapregnutog stakla, te se jednostavnom vizualnom kontrolom otkriva mjesto kvara u izolatorskom lancu.

Proboj staklenog kapastog izolatora u pravilu se događa na izolatorskim člancima koji imaju ili mehaničko oštećenje, ili unutrašnju grešku u dielektriku, ili lošu termičku obradu. Potpuno ispravan stakleni kapasti izolator praktički je neprobojan.

Štapni izolator je zbog oblika izolacionog dijela izolatora neprobojan izolator, a pri djelovanju većih udarnih napona može nastupiti oštećenje jednog ili više diskova. U slučaju većih oštećenja na izolacionom dijelu izolatora može nastupiti i prekid izolatora.

Tablica 4.35.

Mjere i karakteristike kapskih izolatora

Oznaka izolatora Oznaka prema IEC 305	Jed. mjere	K-2 U70BL	K-3 U120BL	KT-120 U120BS	KT-120M -
Promjer izolacionog dijela	mm	255	280	255	300
Ugradbena visina izolatora	mm	146	170	146	146
Duljina strujne staze	mm	270	290	310	432
Duljina zaštićenog dijela strujne staze	mm	187	200	200	301
Zglobna veza prema IEC-120		16A	16A	16A	16A
Zatić prema IEC-372		R 16A	R 16A	R 16A	R 16A
Udarni atmosf.napon 1,2/50					
100 % pozitivni preskočni	kV	125	135	115	153
50 % pozitivni preskočni	kV	117	130	110	145
0 % pozitivni preskočni	kV	110	120	105	135
100 % negativni preskočni	kV	130	145	120	148
50 % negativni preskočni	kV	122	136	115	140
0 % negativni preskočni	kV	115	127	110	130
Izmjenični napon 50 Hz					
Preskočni napon na suho	kV	75	75	75	85
Podnosivi napon na suho	kV	70	70	70	80
Preskočni napon na kiši	kV	45	50	45	60
Podnosivi napon na kiši	kV	38	45	40	55
Probojni napon u ulju	kV	110	110	130	130
Kapacitet izolatora	pF	52	56	70	72
Nivo radiosmet.pri 1000kHz					
Nivo radiosmet.pri 10 kV	dB	16	15	21	17
Nivo radiosmet.pri 14 kV	dB	34	37	45	39
Nivo radiosmet.pri 18 kV	dB	54	52	58	50
Nivo radiosmet.pri 22 kV	dB	64	61	63	59
Mehaničko prijelomno opter.	kN	70	120	120	120
Elektromehan.prijel.opter.	kN	70	120	120	120
Mehaničko ispitno opter.	kN	28	48	48	48
Masa izolatora	kg	5,6	6,1	5,7	7,3

Tablica 4.36.

Mjere i karakteristike štapnih izolatora

Oznaka izolatora	Jed.mj.	Š 75/18	Š 75/22	L 120 E 1000
Maksimalni promjer izolatorskog dijela	mm	170	195	200
Minimalni promjer izolacionog dijela	mm	75	75	75
Ugrad. duljina.izol.	mm	1240	1240	1260
Duljina izol. dijela	mm	1180	1210	1000
Razmak između rebara izolacionog dijela	mm	57	47,5	47,5
Duljina strujne staze	mm	2200	3300	3300
Zglobna veza prema IEC		B 16	B 16	B 16
Zatič prema IEC		R 16 B	R 16 B	R 16 B
Mehaničko prijel.opter.	kN	120	120	120
Mehaničko ispitno opter.	kN	48	48	48
Masa	kg	28,6	36,7	

Njegove prednosti su što se pri izradi koristi manji broj metalnih dijelova u odnosu na duljinu izolacionog dijela, što utječe na cijenu izolacije. Također se smanjuju radovi na terenu zbog toga što manji broj izolacionih jedinica ulazi u sastav izolatorskog lanaca.

Izolatorski lanac sastavljen od kapastih izolatora gipkiji je od izolatorskog lanca sastavljenog od štapnih izolatora, koji je također osjetljiv na bočne sile zbog oblika i male otpornosti porculana na savijanje.

Stakleni kapasti izolator ima jednu bitnu prednost u odnosu na porculanske izolatore, a to je mogućnost jednostavne vizualne kontrole unutrašnjih grešaka izolacionog dijela zbog providnosti stakla, dok se kod porculanskih izolatora kontrola unutrašnjih grešaka mora izvoditi ultrazvukom, što znatno otežava proces kontrole pri serijskoj proizvodnji.

Porculanski izolatori, prema saznanjima dosadašnjih istraživanja, pokazuju bolja svojstva u uvjetima zagađene atmosfere jer su otporniji na djelovanje kemijskih agensa, omogućuju lakše spiranje sloja zagađjenja zbog manje hrapavosti površine, što otežava i taloženje sloja zagađjenja.

Zbog prednosti staklenih izolatora da se u tehnološkom procesu proizvodnje relativno lagano pouzdano kontroliraju te da imaju za eksploataciju vrlo značajnu osobinu da se pri probodu stakleni disk raspada bez prekida izolatorskog niza, stakleni kapasti izolatori imaju široku primjenu u svijetu, a i u našoj zemlji.

U našoj elektroenergetskoj mreži stakleni kapasti izolator koristi se s vrlo dobrim iskustvima oko 30 godina, a stakleni kapasti izolatori domaće proizvodnje oko 15 godina. Nasuprot tome, iskustva iz eksploatacije porculanskih kapastih izolatora pokazuju da je česta pojava proboda izolacionih diskova, a naročito u kraškim područjima gdje je teško postići dobro uzemljenje i gdje su izokeraunički nivoi visoki.

Ovo iskustvo vrijedi prvenstveno za porculanske kapaste izolatore domaće proizvodnje, ali se dobrim dijelom odnosi i na porculanske kapaste izolatore nabavljene iz inozemstva.

Promatrajući kroz konstrukcijske osobine izolatorski članak, najprihvatljivija je ona konstrukcija koja dozvoljava postizanje maksimalno mogućeg podnosivog napona. Prema iskustvima svjetskih istraživanja optimalni odnosi pojedinih karakterističnih dimenzija izolatorskog članka pri kome se postižu maksimalno mogući podnosivi naponi jesu:

$$H/D < 0,6 \quad l_p/H > 1,25 \quad S/H > 2,2 \quad S/D > 1,1.$$

Karakteristične dimenzije izolatorskog članka

D - promjer diska izolatora

H - visina izolatorskog članka

S - strujna staza izolatorskog članka

l_p - najkraći zračni razmak između kape i batića izolatorskog članka.

Za kapaste izolatore domaće proizvodnje odnosi karakterističnih dimenzija dani su u tabl. 4.37.

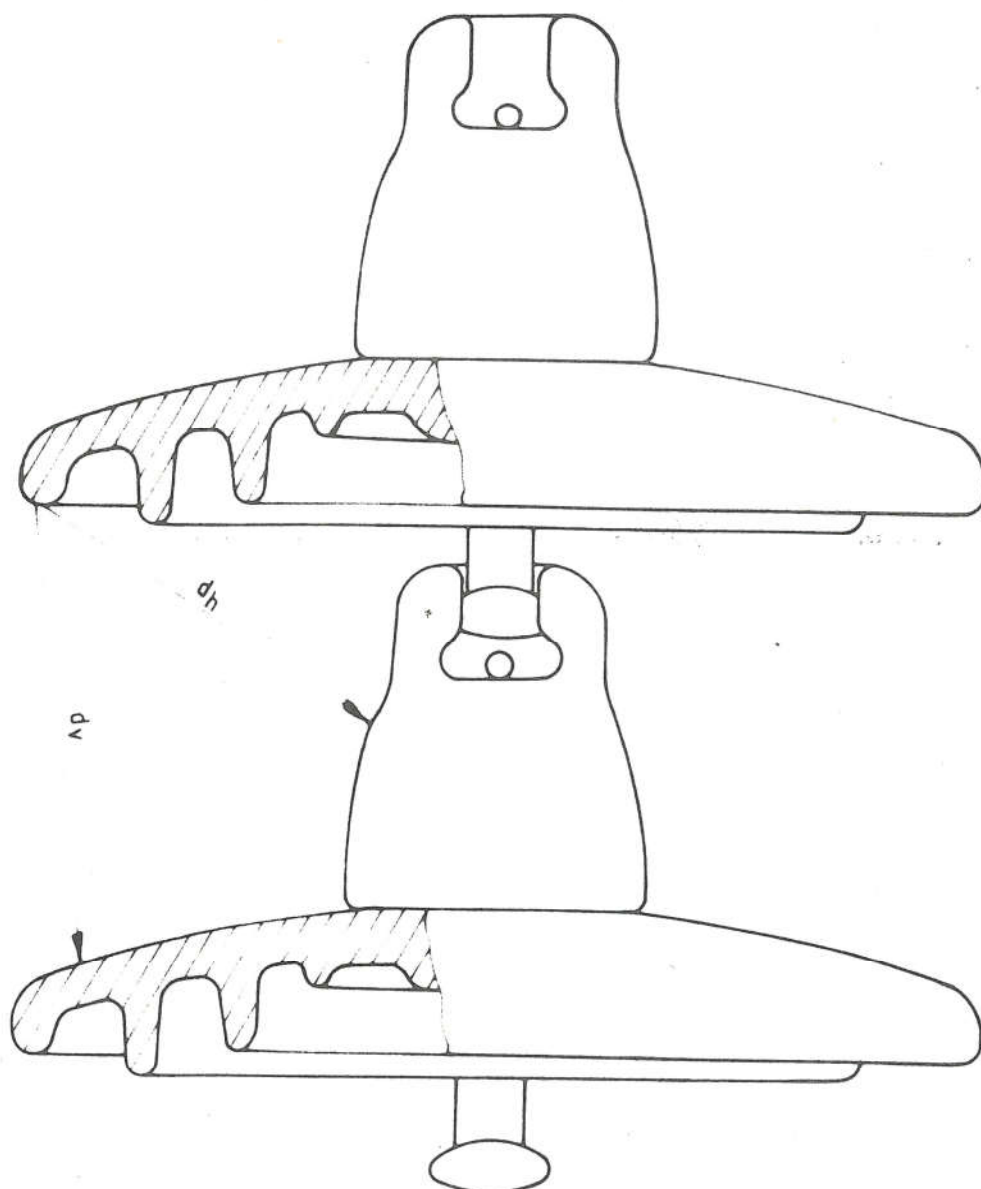
Tablica 4.37.

Odnosi karakterističnih dimenzija kapastih izolatora domaće proizvodnje

Tip izolatora	Odnos dimenzija			
	H/D	l_p/H	S/H	S/D
K - 2	0,57	1,34	1,85	1,06
K - 3	0,61	1,38	1,71	1,00
KT - 120	0,57	1,37	2,12	1,22
KT - 120M	0,49	1,57	2,96	1,44

Kao što je vidljivo iz tabl.4.37. kapasti izolatori tipa K-2 i K-3 ne zadovoljavaju tri odnosa koji su vrlo značajni. Bolje karakteristike konstrukcije pokazuju stakleni izolatori, a tip izolatora KT-120M ima sve relativne vrijednosti dimenzija daleko povoljnije od preporučenih, čime se mogu objasniti i njegove bolje karakteristike za uvjete zagađene atmosfere.

Pored navedenih odnosa karakterističnih dimenzija, važnu karakteristiku izolatorskog niza kao posljedice oblika izolatora čini odnos najkraćih rastojanja između susjednih izolatorskih članaka d_v i d_h , prema slici 4.57.



*Razmaci između susjednih izolatorskih članaka
Sl. 4.57.*

Prema IEC publikaciji br. 305 odnos dimenzija dv i dh preporuča se maksimalno moguć pri zadanoj visini izolatorskog članka. To je praktično zahtjev za maksimalnim smanjenjem metalne kape izolatora te istodobno držanje rastojanja između izolacionih diskova, što je značajno za sprečavanje pojave parcijalnih preskoka i postizanje većih vrijednosti podnosivih napona.

Nažalost, ovaj odnos rastojanja dv i dh kod kapastih izolatora domaće proizvodnje nije povoljan zbog izrazito velike metalne kape izolatora.

Pored relativnih odnosa dimenzija izolatorskog članka, pri izboru tipa izolatora, specijalno za uvjete zagađene atmosfere, značajni su i drugi faktori, kao što su vrsta materijala, oblik izolacionog diska, nagib rebara, duljina strujne staze, duljina zaštićenog dijela strujne staze itd.

Medjutim najbitnija karakteristika izolatora za uvjete zagađene atmosfere jest dužina strujne staze te zaštićeni dio strujne staze, tj. onaj dio strujne staze koji je teško dostupan česticama zagađjenja koje se talože iz atmosfere.

Da bi se spoznala podesnost izolatora za primjenu u uvjetima zagađene atmosfere potrebno je duljinu strujne staze izolatora staviti u odnos prema visini i maksimalnom linijskim naponu voda na kome će izolator biti korišten. Tako dolazimo do parametra koji karakterizira izolatorski niz u izolatorskom lancu, tj. do relativne duljine strujne staze koja je dana sljedećim izrazom:

$$\lambda = \frac{n \cdot S}{U_m} \quad [\text{cm/kV}]$$

gdje su:

- S - duljina strujne staze jednog članka (cm)
- n - broj izolatorskih članaka u izolatorskom nizu
- U_m - maksimalni linijski napon voda (kV)

Podaci o vrijednostima relativne duljine strujne staze izolatorskog niza u sklopu izolatorskog lanca 110 kV dani su u tabl. 4.38. za kapaste i štapne izolatore domaće proizvodnje.

Tablica 4.38.

Relativne duljine strujne staze izolatorskog niza za 110 kV sastavljenog
od izolatora

Broj izolatorskih članaka u izolat.nizu	Tip izolatora						
	K-2	K-3	KT-120	KT-120M	Š75/18	Š75/22	L120E1000
1	-	-	-	-	1,79	2,68	2,68
6	-	1,41	-	-	-	-	-
7	1,54	1,65	1,76	2,46	-	-	-
8	1,76	-	2,02	2,81	-	-	-

Usporedbu relativnih duljina strujnih staza treba vršiti za približno jednaku duljinu izolatorskog niza. Ona iznosi kod 110 kV izolatorskih lanaca 1 240 mm kod upotrebe štapnih izolatora, 1 190 mm kod upotrebe kapastih izolatora visine 170 mm (K-3) te 1 168 mm kod upotrebe kapastih izolatora visine 146 mm (K-2, KT-120, KT-120M). Pri tome je uzet izolatorski niz od 7 kapastih izolatora visine 170 mm te 8 kapastih izolatora visine 146 mm.

Budući da se preporuča relativna duljina strujne staze minimalno 1,5 cm/kV, vrijednosti relativnih duljina strujne staze navedenih kapastih izolatora nisu prihvatljive za rad u uvjetima zagađene atmosfere, osim kapastog izolatora tipa KT-120 M.

Sa štapni izolatorima je nešto bolje, jer se tipovi Š 75/22 i L 120 E 1000 mogu koristiti za uvjete zagađene atmosfere.

Kriterij relativne duljine strujne staze nikada se ne koristi sam, nego isključivo u kombinaciji s drugim kriterijima. Tako je naprimjer, štapni izolator tipa L 120 E 1000 mnogo povoljniji za uvjete zagađene atmosfere od izolatora tipa Š 75/22, premda imaju indentičnu relativnu duljinu strujne staze. Razlog je u znatno većoj zaštićenoj strujnoj stazi, povoljnijem nagibu rebara i drugim povoljnijim geometrijskim odnosima.

Pored duljine strujne staze najbitniju karakteristiku predstavlja faktor oblika izolatora koji je definiran sljedećom jednažbom:

$$f = \frac{1}{\pi} \int_D^S \frac{ds}{D(S)}$$

gdje su:

D(S) - promjer diska izolatora kao funkcija strujne staze
S - strujna staza.

Faktor oblika je odnos površinskog otpora jednog izolatora prema specifičnom površinskom otporu, tj. prema otporu jednog kvadrata površine.

Faktor oblika zapravo je dan kao površina ispod krivulje određene gornjim integralom i ona je karakteristična za svaki tip izolatora.

Za rad u uvjetima zagađene atmosfere faktor oblika izolatora treba biti iznad 1,0. Tako faktor oblika za izolator tipa K-2 iznosi 0,750, za izolator tipa K-3 iznosi 0,823 za izolator tipa KT-120 iznosi 0,933 a za izolator tipa KT-120M iznosi 1,072.

Prema podacima za faktor oblika jedino stakleni kapasti izolator tipa KT-120M zadovoljava zahtijevanu vrijednost i može se smatrati izolatorom za uvjete zagađene atmosfere.

Ako sumirano rezultate analize kapastih i štapnih izolatora domaće proizvodnje prema izloženim kriterijima, onda možemo zaključiti da na raspolaganju imamo izolatore za rad u uvjetima čiste i zagađene atmosfere.

Za rad u uvjetima čiste atmosfere mogu se koristiti kapasti izolatori tipa K-2, K-3, KT-120 te štapni izolator Š 75/18 i Š 75/22. Za uvjete zagađene atmosfere izbor se svodi na kapasti izolator tipa KT-120 M i štapne izolatore tipa Š 75/22 i tipa L 120 E 1000.

Nažalost, potpunu analizu štapnih izolatora nije bilo moguće izvesti jer nedostaju potrebna dielektrička ispitivanja i iskustvo iz pogona. Stoga se zaključci u vezi sa štapnim izolatorima trebaju uzeti s rezervom, a u slučaju njihova izbora za pojedine vodove obavezno treba izvesti potrebna ispitivanja.

Stakleni kapasti izolatori prema izloženim kriterijima imaju prednost pred porculanskim kapastim izolatorima. Tu prednost im daju bolja karakteristika konstrukcije, bolja pogonska iskustva, bolji faktor oblika te bolja relativna duljina strujne staze. Stoga se može preporučiti da se u sklopu tipskih izolatorskih lanaca za 110 kV koriste stakleni kapasti izolatori tip KT-120 za rad u uvjetima čiste atmosfere, a stakleni kapasti izolator tip KT-120M za rad u uvjetima zagađene atmosfere.

Stakleni izolator tipa KT-120 M treba koristiti u uvjetima zagađene atmosfere i posolice, posebno u uvjetima kraša gdje se teško postižu dobra uzemljenja i gdje su izokeramički nivoi visoki.

Porculanski štapni izolator tipa L 120 E 1000, s obzirom da je specijalno projektiran za uvjete zagađene atmosfere i posolice, treba koristiti za rad u tim uvjetima tek sva potrebna ispitivanja pokažu njegove neosporne prednosti.

Napomena: Tokom izrade studije na tržištu opreme za izgradnju dalekovoda pojavio se novi tip izolatora pod nazivom V 120 BS koji po svojim osnovnim karakteristikama odgovara postojećem tipu izolatora 120 K. S obzirom da prilikom definiranja tipskih rješenja za 110 kV vodove nisu izvršena ispitivanja izolatorskih lanaca s novim člancima, studijom su obrađeni postojeći tipovi članaka. Upotrebom novih članaka neće se promijeniti dosadašnji sastav lanaca.

4.7.2. Izbor ovjesne opreme za izolatorske lance

Pod ovjesnom opremom podrazumijevaju se elementi koji služe za spajanje izolatorskih lanaca s nosivim i zateznim konstrukcijama, elementi koji ulaze u sastav izolatorskih lanaca, nosive i zatezne stezaljke za vodič, nosiva i zatezna zavješnja za zaštitno uže, preformirani zaštitni prutevi, rastojnici i rastojnici-prigušivači za vodiče u snopu te prugušivači vibracija.

U sastavu ovjesne opreme za izolatorske lance u širem smislu spadaju elementi koji služe za spajanje izolatorskih lanaca s nosivim i zateznim konstrukcijama, elementi za međusobna spajanja izolatorskih nizova, elementi koji spajaju izolatorske lance s vodičem te zaštitne armature.

U sklopu tipskih izolatorskih lanaca, radi otpornosti na habanje i otpornosti na luk struje kratkog spoja, primjenjuju se samo tri vrste montažnih spojeva očka-vilica, batić-zdjelica i vijčani spoj.

Montažni spojevi očka-vilica i batić-zdjelica dozvoljavaju potrebne stupnjeve slobode gibanja, a spoj se ostvaruje preko dodirnih površina koje su dovoljne da izdrže mehanička naprezanja bez habanja i tok struje kratkog spoja bez zavarivanja.

Montažni spoj očka-vilica koristi se za međusobnu montažu elemenata ovjesne opreme i standardnih je dimenzija za sve napone (22/24 mm), tj. očka širine 22 mm spaja se s vilicom širine 24 mm. Spoj se ostvaruje vijkom i maticom čije dimenzije određuju mehaničku nosivost spoja, a spoj se osigurava rascjepkom.

Montažni spoj batić-zdjelica standardiziran je prema IEC standardu br. 120, a za vodove 110 kV koriste se montažni spojevi batić-zdjelica oznaka 16 A i 16 B. Za spoj izolatorskih članaka u izolatorskom nizu i elemenata ovjesne opreme s kapama izolatora koristi se spoj 16 A, a za spoj elemenata ovjesne opreme s batićima izolatora koristi se spoj 16 B.

Za osigiranje montažnog spoja batić-zdjelica koriste se R-zatići, oznaka R 16 A i R 16 B, koji su standardizirani prema IEC standardu br. 372.

Vijčani spojevi koriste se kod montaže zaštitnih armatura, zaštitnih iskrišta, zatezača, nosivih i zateznih stezaljki. Vijčani spoj izvodi se s vijkom i maticom, a osigurava se od odvrtanja elastičnim prstenom.

Radi otpornosti na mehaničko i električko djelovanje luka struje kratkog spoja, montažni spoj zaštitnih armatura i zaštitnih iskrišta s drugim elementima ovjesne opreme izvodi se sa dva vijčana spoja.

Zaštitne armature u sklopu izolatorskog lanca imaju značajnu ulogu. Prije svega one moraju osigurati da izolatorski lanci izdrže propisane podnosive ispitne napone, što pretpostavlja postizanje povoljne raspodjele električkog potencijala duž izolatorskog lanca te ispravan odabir razmaka između zaštitnih armatura.

Postizanje povoljne raspodjele električkog potencijala duž izolatorskog lanca, odnosno postizanje povoljne raspodjele električkog polja izolatorskog lanca, prvenstveno je uloga donjih zaštitnih armatura.

Ne samo zaštitne armature, nego i drugi elementi ovjesne opreme koji ulaze u sastav izolatorskih lanaca moraju biti tako projektirani da se održe zahtijevane minimalne vrijednosti nivoa korone i radiosmetnji. To znači da elementi ovjesne opreme ne smiju imati oštre ivice i izbočenja, a vruće pocinčanje elemenata treba tako izvesti da površina bude glatka.

Zaštitne armature elektraniziraju izolatore i ovjesnu opremu u sastavu izolatorskog lanca te na taj način omogućuju da se održe zahtijevani naponi korone i zahtijevani nivoi radiosmetnji.

U slučaju preskoka preko izolatorskog lanca zaštitne armature treba da onemoguće kaskadni preskok preko izolatorskih članaka, a u slučaju nastanka preskoka na izolatorskom nizu (u maglovitoj i zagađenoj atmosferi) treba da brzo prihvate nastali električki luk koji tjeran elektromagnetskim silama završava na vrhovima zaštitnih armatura gdje se gasi djelovanjem zaštite.

Na našim tipskim izolatorskim lancima za vodove 110 kV ugradjuju se zaštitne armature tipa rog-rog ako se u sastavu koriste kapasti izolatori. U slučaju upotrebe štapnih izolatora koriste se zaštitne armature otvorenoga prstena.

Spoj zaštitnih armatura s drugim elementima ovjesne opreme u sastavu izolatorskih lanaca izveden je sa dva vijčana spoja zbog razornog djelovanja električkog luka struja kratkog spoja te zbog potrebe održavanja konstantnog razmaka između donjih i gornjih zaštitnih armatura.

Projektirani oblik zaštitnih armatura provjerava se dielektričkim ispitivanjima i ispitivanjima strujama kratkog spoja.

4.7.3. Dimenzioniranje izolacije

Pod izolacijom voda podrazumijeva se izolatorski lanac i zračni prostor koji okružuje vodiče pod naponom. Izolatorski lanac i zrak čine kombinirani dielektrik koji u glavi stupa izolira vodič pod naponom od uzemljenih dijelova stupa i zemlje. U rasponu voda izolaciju vodiča prema zemlji ili zaštitnom užet te izolaciju između vodiča čini zrak, odnosno zračni prostor.

Dimenzioniranje izolacije voda stoga podrazumijeva električko i mehaničko dimenzioniranje izolatorskih lanaca, električko dimenzioniranje zračnih razmaka između vodiča i uzemljenih dijelova voda, električko dimenzioniranje zračnih razmaka u rasponu između vodiča i zemlje, vodiča i zaštitnog užeta te između vodičima.

4.7.3.1. Električko dimenzioniranje izolatorskih lanaca

Električko dimenzioniranje izolatorskih lanaca podrazumijeva određivanje tipa i broja izolatorskih članaka u izolatorskom nizu te određivanje oblika zaštitnih armatura i razmaka između gornje i donje zaštitne armature.

Izolatorski lanci se električki dimenzioniraju za uvjete nezagadjene ili čiste atmosfere i za uvjete zagadjene atmosfere i posolice.

Ovisno o uvjetima za koje se dimenzionira izolatorski lanac, vrši se i odabir tipa izolatora o čemu je šire bilo govora u točki 4.7.1.

Zajedničku osnovu električkog dimenzioniranja izolatorskih lanaca za uvjete čiste atmosfere i uvjete zagadjene atmosfere i posolice čine zahtijevane vrijednosti podnosivih atmosferskih udarnih napona, zahtijevane vrijednosti podnosivih izmjeničnih napona industrijske frekvencije, zahtjevi za povećanje podnosivih napona za više nadmorske visine te zahtjevi nivoa korone i radiosmetnja.

Za 110 kV izolatorske lance Pravilnikom su predviđena dva stupnja izolacije, ovisno o tome da li je oprema u mreži sa kompenzacijom struje zemljospoja ili bez nje. Kako je naša mreža 110 kV direktno uzemljena primjenjuje se niži stupanj izolacije za koji se zahtjeva podnosivi atmosferski udarni napon od 450 kV max. i podnosivi izmjenični napon industrijske frekvencije od 185 kV efektivnih.

Ove vrijednosti podnosivih napona izolatorski lanci 110 kV moraju izdržati pri dielektričkom ispitivanju kod atmosferskih uvjeta danih Pravilnikom:

- | | |
|----------------------|---------------------|
| 1. barometarski tlak | 101325 Pa (paskala) |
| 2. temperatura | + 20°C |
| 3. vlaga | 11 g/m ³ |

Vrijednosti podnosivih napona izolatorskih lanaca koje se postignu pri drugim atmosferskim uvjetima moraju se preračunati na zadane atmosferske uvjete.

Ako će izolatorski lanac biti ugrađen na vodu ili dijelu voda na većim nadmorskim visinama, zahtjevano vrijednosti podnosivih napona treba povećati množenjem sa faktorom koji se povećava povećanjem nadmorske visine.

Faktor 1,00 za nadmorske visine do 1000 m faktor 1,075 za nadmorske visine od 1000 do 1500 m faktor 1,150 za nadmorske visine od 1500 do 2000 m Faktor 1,225 za nadmorske visine preko 2000 do 2500 m.

Izolacija dimenzionirana za podnosivi atmosferski napon 450 kV max. i podnosivi napon industrijske frekvencije 185 kV eff predstavlja osnovnu izolaciju voda, tj. onu koja na vodu prevladava. U određenim slučajevima, koji su vezani za prijelaze dalekovoda preko pojedinih objekata i drugo, potrebno je primijeniti električki pojačanu izolaciju.

U smislu važećeg Pravilnika električki pojačana izolacija je ona čiji je jednogminutni podnosi napon industrijske frekvencije za oko 15 % viši od jednogminutnog podnosivog napona industrijske frekvencije osnovne izolacije, tj. izolacije preostalog dijela voda.

U praksi električki pojačana izolacija na vodovima 110 kV ostvaruje se ugradnjom jednog izolatorskog članka više po izolatorskom nizu u odnosu na osnovnu izolaciju, ako su primijenjeni kapasti izolatori. U slučaju primjene štapnih izolatora električki pojačana izolacija ostvaruje se upotrebom štapnih izolatorskih jedinica sljedećeg višeg izolacionog nivoa u odnosu na upotrijebljeni štapni izolator za osnovnu izolaciju voda.

Pravilnikom nisu dani kriteriji za napon korone i nivo radiosmetnji pa se u praksi koriste za izolatorske lance kriteriji za napon korone dani u JUS.N.F2.010 za ovjesnu i spojnu opremu. To je moguće jer u sastav izolatorskog lanca ulazi i ovjesna oprema, a kriterij napona korone jedinstven je za izolatorske lance i ovjesnu i spojnu opremu koja se koristi na vodu.

Za izolatorske 110 kV lance primjenjuje se napon korone od 88 kV eff., tj. napon pri koje se ne smije pojaviti vidna korona u odredjenim uvjetima ispitivanja.

Slično se postupa i pri ispitivanju nivoa radiosmetnji izolatorskih lanaca, ali se koriste kriteriji koje daju strani standardi jer ova materija nije tretirana našim važećim propisima i standardima. U tom smislu najčešće se koristi britanski standard BS 137, dio II koji daje vrlo selektivne kriterije za nivo radiosmetnji.

Za izolatorske lance 110kV prema britanskom standardu dozvoljen je nivo radiosmetnji od 34 dB pri ispitnom naponu od 75 kV efektivnih.

Mjerenje se vrši s ispitnim krugom preko otpora od 300 Ω i pri frekvenciji od 1 MHz.

Za izolatorske lance koji se dimenzioniraju za uvjete zagađene atmosfere i posolice treba pored navedenih zahtjeva dimenzioniranja za uvjete čiste atmosfere primijeniti i zahtjev minimalne relativne duljine strujne staze. Pored ovog zahtjeva koji pretpostavlja izbor izolatora s dužom strujnom stazom, bitan je i zahtjev povoljnog oblika izolatora i zaštićenosti strujne staze o čemu je šire bilo govora u točki 4.7.1.

Pravilnikom je dana klasifikacija stupnjeva prirodne zagađenosti kojom se tretira industrijsko zagađenje i posolica. Klasifikacijom su predviđena četiri stupnja zagađenosti: beznačajna zagađenost, mala zagađenost, velika zagađenost i vrlo velika zagađenost.

U tabl. 4.39. dana je klasifikacija stupnjeva prirodne zagađenosti.

Normalni tip kapastog izolatora podrazumijeva visinu od 170 mm, promjer diska 280 mm te strujnu stazu od 320 mm.

Zbog raznovrsnosti izolatora za uvjete zagađene atmosfere nije moguće navesti neke određene karakteristike.

U ovisnosti o nivou zagađenja danog stupnjevima zagađenosti određena je duljina strujne staze u odnosu na maksimalni pogonski napon, koja određuje broj izolatorskih članaka odabranog tipa, po izolatorskom nizu. U tabl. 4.40. dane su specifične duljine strujnih staza u ovisnosti o stupnjevima zagađenosti područja kroz koje prolazi dalekovod.

Tabl. 4.40. daje i vrijednosti podnosive slanosti i vodljivosti sloja za dvije metode ispitivanja izolatorskih lanaca koje su određene IEC standardom br. 507. Ovo je dano zato što se izolatorski lanac za određeni nivo zagađenja može dimenzionirati ispitivanjem u komori za ispitivanje u uvjetima zagađenja jednom od dvije metode dane IEC standardom.

Klasifikacija stupnjeva zagađenosti

Stupanj zagađenosti	Opis okoliša	Ponašanje postojećih dalekovoda
1	- Područje bez industrije, gdje ima malo kuća s uređajima za grijanje na ugljen ili naftu. - Područja sa malom gustoćom industrijskih ili stambenih objekata, ali koje su izložena čestim vjetrovima ili kišama. Ova područja moraju biti daleko od mora ili na većim visinama i ne smiju biti izložena vjetrovima s mora.	Nisu bili primijećeni kvarovi zbog velike vlažnosti (magla, izmaglica itd.) na dalekovodima 110 kV čak ni kad je 6 ili 7 izolatora normalnog tipa u izolatorskom lancu, ni na dalekovodima 220 kV kad je 11 izolatora normalnog tipa u izolatorskom lancu.
2	- Industrijska područja bez dima koji naročito zagađuje, s prosječnom gustoćom kuća s uređajima za grijanje na ugljen ili naftu. - Područja s većom gustoćom zgrada ili industrije, koja često izložena vjetrovima s mora, ali ne suviše blizu morskoj obali (najmanje 1 km od obale).	Kvarovi nastaju pri magli na dalekovodima 110 kV s izolatorskim lancima od 6 ili 7 izolatora normalnog tipa, a na dalekovodima 220 kV s izolatorskim lancima od 11 izolatora normalnog tipa.
3	- Područja s velikom gustoćom industrije i predgradja velikih gradova s velikom gustoćom uređaja za grijanje na ugljen ili naftu koji stvaraju zagađenost. - Područja blizu mora ili koja su izložena relativno snažnim vjetrom sa mora.	Kvarovi nastaju pri magli ili onda kad s mora puše vjetar, na dalekovodima 110 kV s izolatorskim lancima sa 7 ili 8 izolatora normalnog tipa, odnosno na dalekovodima 220 kV s izolatorskim lancima sa 11 ili 13 izolatora normalnog tipa.

(nastavak)

Stupanj zagađe- nosti	Opis okoliša	Ponašanje postojećih dalekovoda
4	- Područja koja su uglavnom malih površina s industrijskim dimom koji stvara debele provodne slojeve. - Područja manje površine, vrlo blizu morskoj obali te izložena snažnim vjetrovima sa mora koji stvaraju posolicu.	Kvarovi se javljaju pri magli ili u toku slanijih oluja čak i na dalekovodima na kojima su ugrađeni izolatori za uvjete zagađenja ili na dalekovodima 110 kV s izolatorskim lancima od 7 ili 8 izolatora, odnosno na dalekovodima 220 kV s izolatorskim lancima od maksimalno 13 izolatora.

Tablica 4.40.

Zagađenost i duljina strujne staze

Stupanj prirodnog zagađenja	Tip ispitivanja		Duljina strujne staze/maksimalni pogonski napon (mm/kV)
	Metoda slane magle	Metoda čvrstog sloja	
	Podnosiva slanost(salinitet) (da N/m ³)	Vodljivost sloja (μ S)	
Beznačajna zagađenost	5	5-10	11,5-14,5 (20-25)
Mala zagađenost	10-20	10-20	17,5-20,0 (30-35)
Velika zagađenost	40-80	20-40	23,0-29,0 (40-45)
Vrlo velika zagađenost	≥ 160	> 50	$\geq 35,6$ (≥ 60)

4.7.3.2. Mehaničko dimenzioniranje izolatorskih lanaca

Mehaničko dimenzioniranje izolatorskih lanaca obuhvaća dimenzioniranje izolatorskih nizova i ovjesne opreme u sklopu izolatorskog lanca. Pri tom se posebno dimenzioniraju izolatorski nizovi kao element izolacije, a posebno ovjesna oprema.

Princip mehaničkog dimenzioniranja izolatorskih nizova i ovjesne opreme je identičan, ali se primjenjuju različiti faktori sigurnosti jer se za izolatorske nizove uzima faktor 3, a za ovjesnu opremu faktor 2,5.

Izolatorski nizovi u sklopu nosnih izolatorskih lanaca moraju biti dimenzionirani za prekidno opterećenje koje je najmanje 3 puta veće od težine vodiča s dodatnim teretom.

Za zatezne izolatorske lance izolatorski nizovi moraju biti dimenzionirani za prekidno opterećenje koje je najmanje 3 puta veće od sile zatezanja vodiča.

Višestruki nosivi i zatezni izolatorski lanci upotrebljavaju se u smislu pojačane mehaničke sigurnosti, a pojačana mehanička sigurnost postiže se izolacijom koja se u mehaničkom pogledu jače dimenzionira.

Pravilnikom se dozvoljava upotreba višestrukih izolatorskih lanaca pod uvjetom da se osigura ravnomjerna raspodjela opterećenja na pojedine izolatorske nizove.

4.7.3.3. Dimenzioniranje zračnih razmaka

U pogonskim uvjetima izolaciona čvrstoća zračnih razmaka za neotklonjene vodiče mora biti na nivou izolacione čvrstoće izolatorskog lanca, koja je određena s podnosivim atmosferskim naponom od 450 kV max. i podnosivim izmjeničnim naponom industrijske frekvencije od 185 kV eff.

Za otklonjene vodiče izolaciona čvrstoća zračnih razmaka je bitno manja i određena je maksimalnim pogonskim naponom od 123 kV eff.

Pravilnikom se izolaciona čvrstoća zračnih razmaka određuje sigurnosnim razmacima za neotklonjene i otklonjene vodiče koji moraju biti održani u svim pogonskim uvjetima, uzimajući u obzir djelovanje vjetera i dodatnog tereta.

Za dalekovode 110 kV zračni razmak između dijelova pod naponom i između dijelova pod naponom do uzemljenih dijelova i dijelova stupa mora biti najmanje jednak sigurnosnom razmaku od 75 cm za neotklonjene vodiče i 55 cm za otklonjene vodiče.

Kut odklona izolatorskog lanca određuje se za slučaj vodiča bez leda, a računa se sa 70 % tlaka vjetra na jednostruke vodiče, odnosno sa 50 % tlaka vjetra na vodiče u snopu.

Za zračne razmake između vodiča, odnosno vodiča i zaštitnog užeta u sredini raspona zahtijevani sigurnosni razmak računa se prema jednadžbi na strani 222.

Pri proračunavanju zračnog razmaka između dva različita vodiča, odnosno između vodiča i zaštitnog užeta treba za svaki vodič, odnosno za vodič i zaštitno uže, izračunati zračni razmak ili udaljenost D te odabrati veću vrijednost.

Pri prijelazu sa jednog rasporeda provodnika na drugi raspored, provjeravaju se rastojanja na najkritičnijem mjestu, s tim da se u jednadžbu uvrsti iznos provjesa f (cm) na tom mjestu.

Duljina l (cm) za sva učvršćenja ili dijelove učvršćenja koji se ne otklanjaju u smjeru okomitom na pravce voda, kao i potporne izolatore, zatezne izolatorske lance i zaštitna užeta je jednaka nuli.

4.7.4. Mehaničko dimenzioniranje ovjesnog i spojnog materijala

Ovjesna oprema koja je u sastavu izolatorskih lanaca mehanički se dimenzionira prema uvjetima dimenzioniranja za izolatorske lance.

Način dimenzioniranja izolatorskih lanaca određen je Pravilnikom o tehničkim normativima za gradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova.

Mehanička opterećenja koja su Pravilnikom određena za izolatorske lance primjenjuju se na ovjesnu opremu koja čini izolatorski lanac bez izolatorskih nizova. Na takvim montažnim sklopovima vrše se mehanička ispitivanja u svrhu provjere mehaničke nosivosti.

Kao kriterij za nosive lance Pravilnikom je predviđeno da moraju biti dimenzionirani za prekidna opterećenja koja su najmanje 2,5 puta veća od težine vodiča s dodatnim teretom. Ako je opterećenje vodiča zbog djelovanja vjetera veće, uzima se ovo veće opterećenje kao mjerodavno za dimenzioniranje.

Za zatezne lance propisano je da moraju biti dimenzionirani za prekidno opterećenje koje je najmanje 2,5 puta veće od sile zatezanja vodiča.

Navedeni kriteriji vrijede za jednostruke nosive i zatezne lance, dok se za višestruke nosive i zatezne lance kriteriji postavljaju u odnosu na nivo mehaničke opteretivosti izolatorskih nizova u sklopu izolatorskih lanaca. Za njih vrijedi kriterij dan Pravilnikom koji određuje da u slučaju prekida izolatorskog niza u izolatorskom lancu preostali dio izolatorskog lanca mora izdržati mehaničko opterećenje koje je dano za izolatorske nizove, ali uvećano za faktor 1,7.

Izolatorski nizovi u sklopu nosivih izolatorskih lanaca moraju biti dimenzionirani za prekidno opterećenje koje je najmanje 3 puta veće od težine vodiča s dodatnim teretom, a za zatezne izolatorske lance tri puta veće od sile zatezanja vodiča.

Nosive stezaljke kao elementi spoja nosivog izolatorskog lanca s vodičem. moraju imati mehaničku opteretivost jednostrukog nosivog izolatorskog lanca. Taj kriterij vrijedi za nosive stezaljke i u slučaju spajanja višestrukih nosivih izolatorskih lanaca, jer se mehaničko pojačanje isključivo odnosi na izolatorske lance.

Ovaj kriterij nije primjenjiv za nosive stezaljke zaštitnog užeta, ali je logika određivanja mehaničke opteretivosti ista. Prema Pravilniku mehaničko opterećenje nosivih stezaljki za zaštitno uže mora biti najmanje tri puta veće od težine zaštitnog užeta s dodatnim teretom. Ovo vrijedi i za ostale elemente ovjesne opreme kojima se nosiva stezaljka montira na glavu nosivih stupova.

Za nosive stezaljke bitna je i sila izvlačenja vodiča odnosno zaštitnog užeta s obzirom na djelovanje sila diferencijalnog vlaka. Kao kriterij za minimalnu silu izvlačenja Pravilnik određuje vrijednost od 60 % sile zatezanja vodiča odnosno zaštitnog užeta.

Ovaj kriterij minimalnih sila izvlačenja za vodiče je odgovarajući, jer u slučaju djelovanja sila diferencijalnog vlaka postoji mogućnost pomaka nosive stezaljke u smjeru djelovanja sile diferencijalnog vlaka, a time i rasterećenja.

Kod zaštitne užadi ta mogućnost pomaka nosive stezaljke u smjeru djelovanja sila diferencijalnog vlaka je mala pa praktično ne dolazi do bitnog rasterećenja glave stupa.

U dosadašnjoj praksi glava stupa štićena je G-nosačem čija je prekidna sila 15 kN s obzirom na sile diferencijalnog vlaka.

Neugodnost ovoga rješenja zaštite glave stupa jest da se u slučaju deformacije ili loma G-nosača mora vršiti intervencija zamjene, a postoji i mogućnost prekida pogona u slučaju loma G-nosača.

Rješenje zaštite glave stupa od razornog djelovanja sila diferencijalnog vlaka jest montaža nosivih stezaljki sa moment- ključem ili upotreba kliznih stezaljki u kombinaciji s G nosačem ili O-nosačem.

Zatezne stezaljke kao elementi spoja zateznih izolatorskih lanaca s vodičem ili zaštinog užeta s glavom zateznog stupa moraju biti dimenzionirane da izdrže 90 % prekidne sile vodiča ili zaštitnog užeta. Za zatezne stezaljke kompresionog tipa, koje se smatraju izuzetno pouzdanima, kriterij mehaničke opteretivosti nešto je viši i iznosi 100 % prekidne sile vodiča odnosno zaštitnog užeta. Pri tom treba imati na umu da je prekidna sila vodiča odnosno zaštitne užadi definirana Pravilnikom kao 95 % vrijednost računske prekidne sile za jednometalnu užad, a za dvometalnu užad kao 90 % vrijednost računske prekidne sile.

Ovaj kriterij mehaničke opteretivosti vrijedi, također, za nastavne spojnice, spojnice za popravak, elemente ovjesne opreme koji se nalaze u sklopu zateznih zavješanja zaštitne užadi.

Provjera kvalitete ovjesnog i spojnog materijala, s obzirom na mehaničku opteretivost u duhu danih kriterija, vrši se na osnovi standarda JUS N.F2.010, u kojem su dani opći tehnički uvjeti za ovjesnu i spojnu opremu.

4.7.5. Izolatorski lanci

Za 110 kV dalekovode usvojena su tipska rješenja izolatorskih lanaca koja u svom sastavu mogu imati staklene ili porculanske kapaste izolatore.

S obzirom na kapasti tip izolatora, u sklopu izolatorskih lanaca koriste se zaštitne armature tipa rog-rog koje za ovaj naponski nivo osiguravaju dobru rapodjelu električkog polja i ekranizaciju elemenata u sastavu izolatorskog lanca.

Odabir tipskih rješenja izolatorskih lanaca rezultat je dugotrajnih dielektričkih i mehaničkih ispitivanja i stečenih iskustava iz eksploatacije.

Budući da se preporuča upotreba staklenog kapastog izolatora tipa KT-120, zbog evidentnih prednosti nad porculanskim kapastim izolatorima, u tabl.4.41. dani su rezultati dielektričkih ispitivanja tipskih izolatorskih lanaca 110 kV sa staklenim izolatorima tipa KT 120. Izolatorski lanci sa 7 izolatorskih članaka po izolatorskom nizu namijenjeni su za normalnu izolaciju voda, a izolatorski lanci sa 8 izolatorskih članaka u izolatorskom nizu namijenjeni su za pojačanu izolaciju voda. Nacrti izolatorskih lanaca dani su kao prilog u projektnoj dokumentaciji studije.

4.7.6. Zavješanje izolatorskih lanaca na stup

Elementi ovjesne opreme koji spajaju izolatorske lance s nosivim i zateznim konstrukcijama su zastavice, stremeni i škopci.

Sva tri rješenja spajanja primjenjivana su u gradnji naših nadzemnih elektroenergetskih vodova jer dozvoljavaju potrebna dva stupnja slobode gibanja u ovjesištu nosivih i zavješanju zateznih izolatorskih lanaca.

Stremeni i škopci postepeno su napušteni te se danas gotovo isključivo koriste zastavice. Razlog napuštanja stremena i škopaca, kao elemenata spajanja izolatorskih lanaca s nosivim i zateznim konstrukcijama, su točkasti spojevi koji jesu u eksploataciji vodova izloženi habanju do prekida, a posebno u vjetrovitim područjima.

Drugi razlog napuštanja točkastih spojeva su zavarivanja tih mjesta u slučaju preskoka preko izolatorskog lanca zbog vrlo male dodirne površine koja mora voditi veliku struju kratkog spoja. Ova oštećenja dokazana su ispitivanjem izolatorskih lanaca lukom struje kratkog spoja, što potvrđuju i pogonska iskustva.

Navedeni razlozi doveli su do napuštanja točkastih spojeva u svim montažnim spojevima ovjesne opreme, osim kod nosivih i zateznih zavješena zaštitne užadi gdje su još uvijek zastupljena sva tri rješenja spajanja s konstrukcijom stupa.

Ovješena nosivih i zateznih izolatorskih lanaca sa zastavicom danas predstavljaju tipizirana rješenja za naše vodove 110 kV.

U slučaju potrebe udaljšavanja izolatorskog lanca od konzole ili traverze stupa ili udaljšavanja točke okretišta izolatorskog lanca od konstrukcije stupa koriste se produžnici ili posebna vrsta V-produžnika koja predstavlja ovješnje izolatorskog lanca na konstrukciju stupa.

Tablica 4.41.

*Podnosivi i preskočni naponi izolatorskih lanaca 110 kV
s izolatorima tipa KT - 120*

Vrsta	Broj kataloga	Broj	Razmak	Udarni prenapon		Izmjenični napon		
			između	1,2/50 us (kV _{max.})	50 Hz (kV _{eff.})			
izol.	izolatorskog	izolator.	zaštit.	+ polaritet		na kiši		
			armat.	50%	Stand.	Maksim.	Srednji	
lanaca	lanca	članaka	(mm)	Podnos.	devij.	podnos.	presk.	
				presk.	(G/%)	1 min.	presk.	
L	12.12.31	1 x 7	800	473	483	1,59	227	234
Lp	12.12.31	1 x 8	950	563	574	1,51	258	267
DL	15.22.31	2 x 7	800	463	470	1,13	223	236
DLp	15.22.31	2 x 8	945	553	562	1,23	255	270
Z	15.32.72.10	1 x 7	800	469	476	1,26	224	230
Zp	15.32.72.10	1 x 8	945	517	556	1,20	256	263
DZ	15.62.72.10	2 x 7	800	457	466	1,57	225	229
DZp	15.62.72.10	2 x 8	945	540	551	1,51	257	262

4.8. OSTALA OVJESNA I SPOJNA OPREMA

4.8.1. Zavješanje zaštitnog užeta na stup

Današnja praksa gradnje dalekovoda 110 kV koristi čeličnu zaštitnu užad presjeka 50 mm^2 , čvrstoće 1200 N/mm^2 , te AlMg1E/Č zaštitno uže presjeka $95/55 \text{ mm}^2$.

Zbog pojava zagrijavanja zaštitne čelične užadi pri djelovanju struja kratkog spoja i drugih razloga u praksi se počelo koristiti zaštitnu užad veće vodljivosti. Tako je korištena Al/Č i alumoweld zaštitna užad, a kasnije je došlo i do upotrebe AlMg1E/Č zaštitnih užadi. Al/Č zaštitna užad su napuštena i zamijenjena sa AlMg1E/Č zaštitnom užadi, a alumoweld se ne proizvodi se u našoj zemlji pa to znatno ograničava njihovu upotrebu.

AlMg1E/Č zaštitna užad ima dobru električnu vodljivost i povećanu mehaničku opteretivost jer je konstrukcije s pojačanom jezgrom, ali ima veći promjer i veću težinu po jedinici duljine, a postoji problem ponašanja AlMg1E/Č zaštitne užadi u klasičnim nosnim ovješnjima na glavi nosnog stupa.

Najbolja rješenja zaštitne užadi predstavlja alumoweld zaštitna užad koja uz dobru električnu i mehaničku opteretivost imaju i mali promjer i težinu po jedinici duljine, a također ne postoji problem ovješnja na glavi nosnog stupa.

U praksi gradnje dalekovoda 110 kV koriste se kruta i viseća nosiva ovješnja zaštitne užadi.

Kruta ovješnja zaštitnog užeta koriste se isključivo za čeličnu zaštitnu užad. Za AlMg1E/Č zaštitnu užad nisu primjenjiva jer pri pojavi diferencijalnog vlaka dolazi do loma AlMg1-plašta zaštitnog užeta na izlazu iz nosive stezaljke. Lomovi nastaju pri opterećenju koje je blisko prekidnom opterećenju AlMg1-plašta zaštitnog užeta. Razlog lomova plašta je konstrukcija zaštitnog užeta u čijem sastavu se na podmazanoj čeličnoj jezgri nalazi samo jedan sloj AlMg1 plašta te se prijenos vlačnog opterećenja na čeličnu jezgru u nosnoj stezaljci ne vrši u dovoljnoj mjeri.

Ovaj problem bio je još jače izražen kod Al/Č zaštitne užadi, što je bilo i neposredan povod da je ta vrsta zaštitne užadi napuštena.

Djelovanje sila diferencijalnog vlaka pri upotrebi čeličnog zaštitnog užeta dovodi do izvlačenja zaštitnog užeta iz nosive stezaljke krutog ovješnja, ali ne oštećuje zaštitno uže.

U svrhu rješavanja problema izvlačenja čeličnog zaštitnog užeta i rješavanja problema lomova AlMg1 plašta zaštitnog užeta, usvojena su konstrukcijska rješenja nosivih ovješnja s visećom stezaljkom koja omogućuje otklon zaštitnog užeta u smjeru djelovanja diferencijalnog vlaka, što znatno smanjuje dinamički udar diferencijalnog vlaka.

Upotreba preformiranih zaštitnih pruteva čini daljnje poboljšanje nosivog ovješnja AlMg1E/Č zaštitnog užeta, jer se preformirani prutevi ponašaju kao drugi sloj AlMg1-plašta užeta.

Ovješnje viseće stezaljke za zaštitno uže moguće je u konstrukciji stupa na konzolici na glavi stupa, te na specijalnom nosaču koji se montira na glavu stupa.

Rješenje nosivog ovješnja zaštitnog užeta s visećom stezaljkom i nosačem na glavi stupa predstavlja najprihvatljivije rješenje jer dozvoljava najveći pomak zaštitnog užeta u smjeru djelovanja diferencijalnog vlaka.

Nosači koji se koriste za viseće ovješnje nosive stezaljke za zaštitnu užad koriste se u dvije izvedbe. G-nosač podesan je za upotrebu na nosivim stupovima gdje sila diferencijalnog vlaka ne prekoračuje vrijednost od 12 kN, a O-nosač ima garantiranu vrijednost sile diferencijalnog vlaka od 25 kN i može se koristiti za zaštitnu užad AlMg1E/Č 95/55 mm² i 120/70 mm² i za najteže slučajeve nastupanja diferencijalnog vlaka.

U sadašnjoj praksi gradnje dalekovoda 110 kV gotovo isključivo se koriste zatezna zavješnja zaštitne užadi sa zateznim kompresionim stezaljkama. To su vrlo pouzdana rješenja zateznih zavješnja kako za Če-zaštitnu užad tako i za AlMg1E/Č zaštitnu užad.

Rješenje zateznog zavješnja s vijčanom stezaljkom danas se ne koristi jer je vrlo teško postići propisanu silu izvlačenja za Če-zaštitnu užad, a za AlMg1E/Č zaštitnu užad vijčana zatezna stezaljka potpuno je neprimljiva zbog pojave loma plašta užeta pri relativno niskim silama zatezanja.

4.8.2. Spajanje vodiča i zaštitne užadi na dalekovodima

Elementi ovjesne i spojne opreme koji spajaju izolatorske lance s vodičima ili zaštitno uže sa stupom su nosive i zatezne stezaljke.

Spajanje vodiča i zaštitne užadi u rasponu izvodi se nastavnim spojnicama, a spajanje vodiča u strujnome mostu izvodi se strujnim i priključnim stezaljkama. Pored ovih elemenata ovjesne i spojne opreme, treba spomenuti spojnice za popravak vodiča i zaštitnih užadi te otcijepne i priključne stezaljke koje spajaju zaštitno uže s konstrukcijom stupa.

Navedeni dio ovjesne i spojne opreme predstavlja osjetljive elemente koji moraju imati određene karakteristike da bi zadovoljili svojoj namjeni.

Nosive stezaljke koje se koriste na vodovima su vijčanog tipa, a moraju imati mali moment inercije i veliku slobodu gibanja u smjeru voda. Moraju biti izrađene od nemagnetskih materijala male električke vodljivosti da bi se spriječili gubici zbog vrtložnih stuja, a konstrukcija mora biti takva da se izbjegne svako oštećenje vodiča unutar stezaljke, a posebno na izlazu vodiča ili zaštitnog užeta iz nosive stezaljke.

Za montažu nosivih stezaljki preporuča se korištenje momentnih ključeva, a pritezanje vijaka nosive stezaljke treba vršiti prema uputama proizvođača.

Zatezne stezaljke koje se danas koriste na vodovima 110 kV su kompresionog tipa, a moraju biti tako konstruirane da izdrže potrebna mehanička i električka opterećenja te da se izbjegne veća plastična deformacija vodiča na izlazu iz zatezne kompresione stezaljke.

Montaža, odnosno kompresija zateznih kompresionih stezaljki treba da se izvodi prema uputama proizvođača s obaveznom upotrebom neutralnih ili kontaktnih masti. Upute za montažu kompresionih stezaljki i spojnica dane su u prilogu dokumentacije studije.

Ako se iznimno koriste zatezne vijčane stezaljke, montažu je potrebno vršiti momentnim ključem s momentima pritezanja vijaka i načinom pritezanja prema uputama proizvođača.

I nastavne spojnice koje se danas koriste i spojnice za popravak, su kompresionog tipa. Za njih vrijede isti konstrukcijski kriteriji kao i za zatezne kompresione stezaljke. One se također montiraju prema uputa proizvođača uz obaveznu primjenu neutralnih ili kontaktnih masti.

Spojnice za popravak koriste se samo za vodiče i AlMg1E/Č zaštitnu užad. Njihova upotreba dozvoljava se samo ako je oštećena ukupno 1/6 žica plašta vodiča ili zaštitnog užeta. U slučaju da je oštećenje nastupilo na većem broju žica plašta ili na žicama čelične jezgre, potrebno je primijeniti nastavne kompresione spojnice.

Kod čelične zaštitne užadi ne primjenjuju se spojnice za popravak vodiča, nego se u slučaju oštećenja čeličnog zaštitnog užeta primjenjuje nastavna kompresiona spojnica.

Spoj vodiča u strujnome mostu izvodi se strujnim stezaljkama koje su vijčanog tipa, a spoj vodiča strujnog mosta sa zateznim kompresionim stezaljkama izvodi se priključnim kompresionim spojnica koje se vijačno spajaju s zateznim kompresionim stezaljkama.

Otcijepne i priključne stezaljke za čelično zaštitno uže također su vijčanog tipa. Kod AlMg1E/Č zaštitnog užeta za spoj strujnog mosta zaštitnog užeta s konstrukcijom stupa koristi se vijčana stezaljka, a za spoj strujnog mosta zaštitnog užeta sa zateznom kompresionom stezaljkom koristi se priključna kompresiona spojnica koja se vijčano spaja s zateznom kompresionom spojnicom.

Svi vijčani spojevi nosivih, zateznih, strujnih, otcijepnih i priključnih stezaljki moraju biti osigurani od odvrtanja opružnim prstenom uz koji se obavezno mora koristiti podložna pločica od legure aluminija kako krajevi opružnog prstena ne bi oštetili površine stezaljki.

Montažu ovih spojeva također treba vršiti momentnim ključevima prema uputama proizvođača, a preporuča se korištenje neutralnih ili kontaktnih masti da bi se spriječilo starenje strujnih kontakata.

4.9. UZEMLJENJE STUPOVA

4.9.1. Mjerenje specifičnog otpora tla

U homogenom tlu otpor rasprostiranja uzemljivača $R (\Omega)$ je linearna funkcija specifičnog otpora:

$$R = k \cdot \rho \cdot 10^{-2}$$

gdje je:

- k - konstanta uzemljivača, koja predstavlja otpor rasprostiranja na 100 $\Omega \text{ m}$ specifičnog otpora tla; ovisi isključivo o dimenzijama i geometrijskom obliku uzemljivača
- specifični otpor tla ($\Omega \text{ m}$)

Struktura tla najčešće nije homogena nego je uslojena ili u smjesama različitog procentalnog sastava i volumena. Čak i u relativno homogenoj strukturi (tzv. geološkoj stijeni ili geološkom vodiču) moguće su vrlo velike razlike u specifičnom otporu tla zbog različite poroznosti, količine vlage i otopljenih soli.

Budući da trasa dalekovoda redovno prolazi terenom na kome se izmjenjuju različite strukture tla, smatra se nepouzdanim i neracionalnim dimenzionirati uzemljenje na osnovi prosječnih vrijednosti specifičnog otpora pojedinih geoloških stijena, kakve se obično mogu naći u literaturi, pa i u našim propisima za elektroenergetska postrojenja.

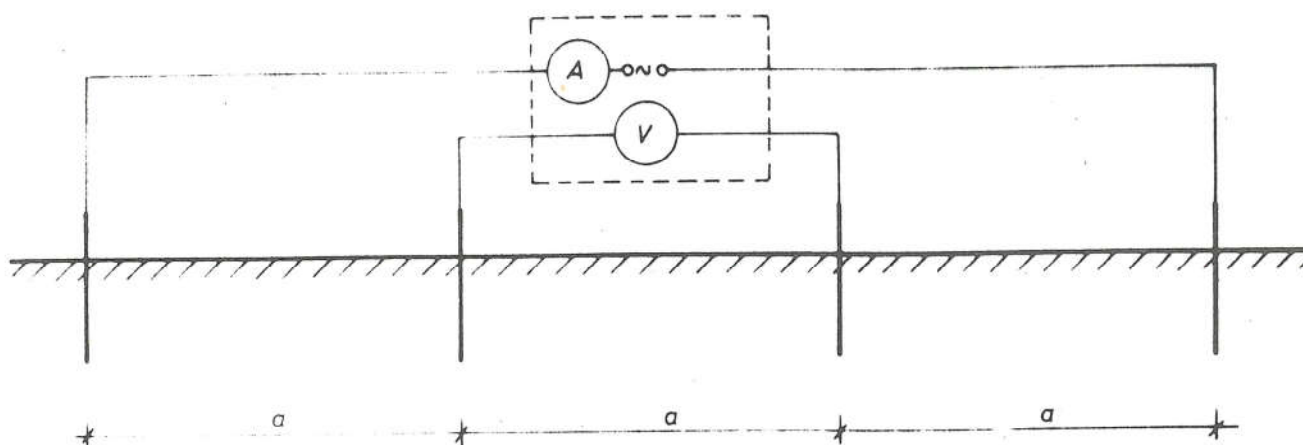
Postoje sasvim specifični uvjeti, npr. kratki vodovi u područjima na kojima je obavljeno više mjerenja na susjednim vodovima, relativno homogen sastav tla i

sl. kada je moguće koristiti takve podatke i podatke sa ranijih mjerenja i za proračun uzemljenja novog voda.

Medjutim uobičajena praksa bi treba da bude mjerenje specifičnog otpora upravo u trasi i na stupnim mjestima novoprojektiranog voda. Mjerenjem se utvrđuju samo srednja vrijednost specifičnog otpora tla, nego i dubina pojedinih slojeva u slučaju horizontalne uslojenosti. Korištenjem rezultata mjerenja i iskustava iz geomehaničkih prospekcijskih potreba dimenzioniranja temelja stupova, utvrđuju se vrste geoloških stijena na mjernom mjestu.

Samo mjerenje provodi se metodama geoelektričkog sondiranja, od kojih je jedna od najčešće korištenih Wennerova metoda s rasporedom sonde prema slici 4.58.

Vanjske, strujne sonde priključene su na izvor struje kojim se stvara potencijalno polje na prostoru prospekcije. Unutarnje, naponske sonde priključene su na galvanometar kojim mjerimo potencijalnu razliku između točki na površini tla, na kojima su naponske sonde.



*Raspored sonde prema Wennerovoj metodi
Sl. 4.58.*

Medjusobni razmak sonde je jednak, što je bitna karakteristika Wennerove metode mjerenja. Obično su izvor, mjerenje struje i napona u jednom mjernom sistemu, instrumentu, radi lakše manipulacije. Iz proračuna elektromagnetskog polja slijedi da je prosječni specifični orpor tla na mjernom mjestu pri Wennerovu rasporedu sonde:

$$\rho = 2\pi a \cdot R,$$

gdje je:

a - razmak između sonde (m)

R - izmjereni otpor rasprostriranja (Ω)

Jasno je da se to odnosi na tlo do dubine približno a (m), pa povećanjem razmaka sonde povećavamo i dubinu prospekcije. Na taj način dobivamo poprečni profil iz kojeg možemo odrediti sve bitne karakteristike tla.

Postoje i druge metode mjerenja (Schlumbergerova, Leeova i dr.) ali iz praktičnih razloga potrebno je pridržavati se jednoobraznog postupka. Isto vrijedi i za mogući broj mjerenja, odnosno dubina a (m) za svako pojedino rješenje.

Preporučljiva kombinacija je niz mjerenja s razmakom sonde od:

$$a = 1 \quad 2 \quad 3 \quad 5 \quad 8 \quad 10 \dots (m)$$

Veći razmak sonde od 10 m koristi se ako prethodni rezultati, za dubine do 10 m, upućuju na zaključak da se radi o izrazito nehomogenoj strukturi ili ako namjena mjerenja nije samo za potrebe dimenzioniranja uzemljivača, nego i za potrebe proračuna utjecaja na druge instalacije u području trase voda, kao što su tt-vodovi, cjevovodi itd. U takvim slučajevima gornji se niz nastavlja množenjem navedenih vrijednosti sa 10, odnosno 100, sve do željene dubine. Obično ni za najteže zahtjeve dubina geoelektrično sondiranja, n.pr. pri nekim mjerenjima za potrebe proračuna utjecaja na tt-linije, neće preći 250 m.

Redovno će se pri organiziranju mjerenja za potrebe dimenzioniranja uzemljivača stupova postaviti pitanje da li mjerenje treba izvršiti na tzv. reprezentativnim ili svim stupnim mjestima. Izbor reprezentativnih lokacija podrazumijeva izbor određenog broja stupnih mjesta koja mogu na pouzdan način reprezentirati geološku strukturu tla i na svim ostalim. Na primjer, možemo umjesto na svakom stupnom mjestu, organizirati mjerenja na svakom trećem ili petom, ali tako da se između dva mjerna mjesta može sa zadovoljavajućom sigurnošću procijeniti specifični otpor tla. Ovaj postupak izbora reprezentativnih lokacija u najvećem će broju slučajeva biti prihvatljiv. Ipak, u terenima s čestim izmjenama bitno različitih geoloških stijena, kao što su npr. neka područja Istre, Like, Dalmacije i sl., jedino ispravno rješenje je mjerenje na svakom stupnom mjestu.

Interpretacija rezultata mjerenja specifičnog otpora tla sastoji u se analitičkom postupku određivanja broja, debljine te specifičnog otpora pojedinih slojeva. Drugim riječima, unaprijed se polazi od pretpostavke da je tlo ili homogeno, pa se specifični otpor tla ne mijenja s dubinom ili horizontalno uslojeno, pri čemu se obično pretpostavlja dvoslojna ili troslojna gradnja.

Mada je pretpostavka o horizontalnoj uslojenosti dosta idealizirana, ona najčešće predstavlja najprihvatljiviju aproksimaciju stvarnih, realnih uvjeta. Ranije se interpretacija rezultata mjerenja i sastojala u direktnoj usporedbi s familijama tzv. teorijskih krivulja za dvoslojnu i troslojnu gradnju tla.

I danas ovakve krivulje mogu korisno poslužiti za brzu vizualnu interpretaciju rezultata mjerenja, ali se konačna obrada obično provodi numerički, polazeći upravo od idealiziranog modela planparalelne uslojenosti i proizvoljnog broja slojeva, pri čemu je poprečni specifični otpor:

$$\rho_t = \frac{\sum h_i \cdot \rho_i}{\sum h_i}$$

a uzdužni (paralelno sa slojevima):

$$\rho = \frac{\sum h_i}{\sum \frac{h_i}{\rho_i}}$$

pa je mjerena vrijednost, tzv. prividni otpor:

$$\rho_m = \sqrt{\rho_t \cdot \rho}$$

Pokazalo se najracionalnijim obradu rezultata mjerenja organizirati upravo tako da se praktično kombiniraju dva naprijed spomenuta postupka, tj. kvalitativna analiza pomoću teorijskih krivulja i numerička obrada na elektroničkom računalu. To se postiže na način da projektant iterativnim postupkom pronalaženja teorijske krivulje, koja u odnosu na stvarne rezultate mjerenja daje najmanju srednju kvadratnu pogrešku, utvrđuje odnose koji najbolje interpretiraju odgovarajući geološki presjek.

Drugim riječima, ne ide se na potpuni automatizam obrade, nego se nastoje povezati prednosti brzine proračuna na računalu i analitičkog, iskustvenog procjenjivanja obrađivača. Na slici 4.59. je jedan primjer rezultata takve analize za dvoslojnu strukturu tla.

Analiza debljine i specifičnog otpora tla važna je posebno za izbor vrste i oblika uzemljivača. To je podloga na temelju koje određujemo optimalnu dubinu polaganja uzemljivača, osnovni način polaganja i srednju vrijednost specifičnog otpora za proračun otpora rasprostiranja.

4.9.2. Vrste uzemljivača

Osnovne vrste uzemljivača koje se danas primjenjuju za stupove dalekovoda dijele se prema načinu polaganja na horizontalne i vertikalne (sonde), te prema obliku na prstenaste i zrakaste.

Za uvjete dimenzioniranja, a posebno za najčešće uvjete geološke strukture tla u našoj praksi pokazalo se najprihvatljivijim koristiti horizontalno položene uzemljivače, dok se sonde koriste samo iznimno u nekim specifičnim situacijama. To su u najvećem broju slučajeva uzemljivači od pocinčane čelične trake ili bakrenog užeta u obliku prstena, radijalno položenih krakova ili njihovih kombinacija.

U svrhu zaštite od termičkog preopterećenja pri kratkom spoju, kao i zaštite od korozije tokom perioda eksploatacije, propisani su minimalni presjeci uzemljivača dalekovodnih stupova (tabl. 4.42.)

Tablica 4.42.

Najmanji presjeci uzemljivača

Pocinčani čelik	Bakar
traka 100 mm ² , ali ne tanja od 3,5 mm	traka 50 mm ² , ali ne tanja od 2 mm
okrugli čelik Ø 10 mm	uže 35 mm ²
cijev 38 mm, ali stijenska ne tanja od 3,5 mm	cijev 30 mm, ali stijenska ne tanja od 2,5 mm
kutnik 65x65x7	-
profil U6 1/2 odnosno T6 ili drugi odgovarajući profili	-

Što se tiče izbora materijala za uzemljivače u uvjetima u kojima je moguća jača korozija, propisi ne određuju posebne kriterije izuzev preporuke da se vrijednosti minimalnih presjeka iz gornje tablice uzmu za oko 50 % veće ako je riječ o nepocinčanom čeliku ili području polaganja u kojem se očekuje jača korozija.

Korozivnost ili agresivnost tla ovisi o vrsti geološke strukture i o vlažnosti kao najvažnijim elementima. Postoje i drugi faktori kao što su pH vrijednost (koncentracija vodikovih iona), aeracija tla, kemikalije na područjima pojedinih većih industrijskih postrojenja, lutajuće struje u blizini izvora ili potrošača istosmjerne struje i sl.

Iznos, odnosno brzina korozije ovisit će ne samo o korozivnosti tla, nego i o vrsti upotrijebljenog materijala za uzemljivač.

Materijali uronjeni u elektrolit imaju jedan prema drugome različit elektrokemijski potencijal. Uzimajući kao osnovu odnos prema referentnoj, vodikovoj elektrodi utvrđeno je da je elektrokemijski potencijal:

- 0,763 V	za cink
- 0,44 V	za čelik
+ 0,337 V	za bakar

Iz navedenoga može se zaključiti da će bakar kao materijal imati izrazitu prednost u odnosu na nepocinčano ili pocinčano željezo u uvjetima povećane korozije tla. To je razlog zbog kojeg je opravdano posebno u aluvijalnim područjima malog specifičnog otpora i visoke vlažnosti tla kao materijal za uzemljenje stupova dalekovoda koristiti bakar.

Medjutim vrlo dobra otpornost bakra na koroziju može imati i suprotne efekte jer može potaknuti bržu koroziju drugih metalnih masa u neposrednoj blizini uzemljivača. Zato u blizini čeličnih cjevovoda, ili pri korištenju nekih specifičnih izvedbi temelja stupova, nije preporučljivo odabrati bakar za izvedbu uzemljenja.

Vijek trajanja pocinčane čelične trake, koja se u praksi najčešće koristi, ovisi najviše o kvaliteti pocinčanja.

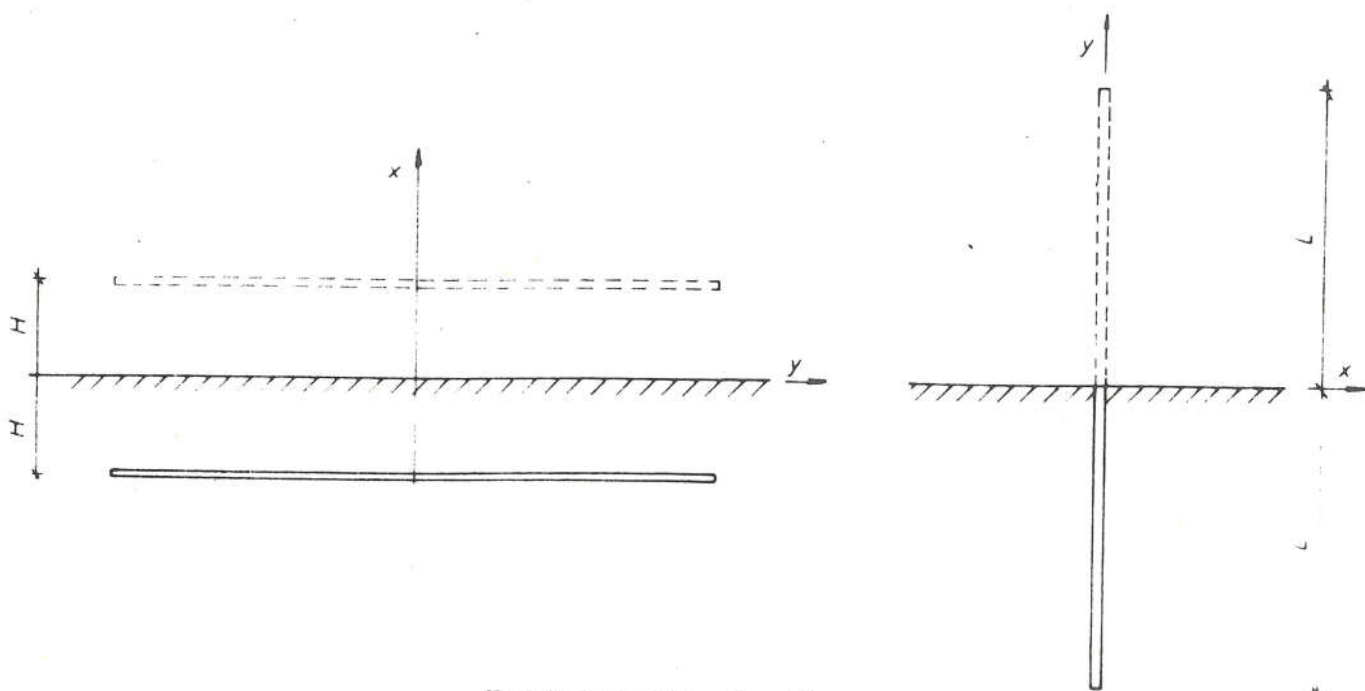
Dokazano je da propisno pocinčana čelična traka može, osim u vrlo agresivnom tlu, dati rješenje ravnopravno izvedbi uzemljivača od bakra.

Loše pocinčana traka ili traka na kojoj je manipulacijom i neadekvatnim spajanjem došlo do oštećenja, može imati vrlo kratak vijek trajanja; u vlažnom tlu svega nekoliko godina.

Posebno kada je riječ o spojevima u tlu, zaštita od brze korozije nalazi se dijelom u takvom oblikovanju uzemljivača kojim se smanjuje broj ili čak potpuno elimiraju takvi spojevi, a dijelom u primjeni odgovarajućih spojnica umjesto spajanja točkanjem.

4.9.3. Dimenzioniranje uzemljivača

Osnova matematičkog modela proračuna otpora rasprostiranja uzemljivača jest u odgovarajućim teorijskim postavkama za proračun električkog polja pravolinijskih elemenata horizontalno ili vertikalno položenih u tlo, sl. 4.60.



Položaj uzemljivača u tlu
Sl. 4.60.

Potencijal na bilo kojoj točki udaljenoj x (m) od osi horizontalnog uzemljivača je:

$$\varphi = \frac{I \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \ln \frac{\sqrt{x^2 + (L/2)^2} + L/2}{\sqrt{x^2 + (L/2)^2} - L/2}$$

pa je otpor rasprostiranja, računajući potencijal na površini samog elementa uzemljivača:

$$R = \frac{\Phi_0}{I} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(2 \ln \frac{2 \cdot L}{d} + \ln \frac{\sqrt{4H^2 + (L/2)^2} + L/2}{\sqrt{4H^2 + (L/2)^2} - L/2} \right)$$

Za vertikalni uzemljivač potencijal u smjeru osi x je:

$$\Phi = \frac{I \cdot \rho}{4 \cdot \pi \cdot L} \ln \frac{\sqrt{x^2 + L^2} + L}{\sqrt{x^2 + L^2} - L}$$

a otpor rasprostiranja:

$$R = \frac{\varphi_0}{I} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \ln \frac{4 \cdot L}{d}$$

Značenje pojedinih oznaka u gornjim izrazima je sljedeće:

- I (A) - ukupna struja kroz uzemljivač
- ρ (Ωm) - specifični otpor tla
- L (m) - ukupna duljina jediničnog (horizontalnog ili vertikalnog) uzemljivača

Osnovnesu pretpostavke u izvodu navedenih izraza da je tlo homogeno i da je zanemarljiv vlastiti otpor uzemljivača.

Složenije konfiguracije, naprimjer zrakastih uzemljivača, pretpostavljamo kao kombinaciju prostorno odvojenih pravolinijskih horizontalnih i vertikalnih linijskih elemenata.

Pretpostavimo da imamo n linijskih elemenata. Doprinos svakog i -tog elementa potencijala nekom j -tom može se izraziti kao:

$$\Phi_{ji} = I_i \cdot K_{ij},$$

gdje je:

- I_i (A) - struja kroz linijski i -ti element
- K_{ij} - koeficijent potencijala, čija veličina ovisi isključivo o prostornom odnosu i -tog i j -tog elementa.

Računajući ukupni potencijal bilo kojeg linijskog elementa kao sumu vlastitog potencijala i doprinosa svih ostalih elemenata, možemo formirati n lineranih jednadžbi potencijala.

To znači da je u matičnom obliku:

$$[\Phi] = [K] \cdot [I].$$

Rješenjem sustava jednadžbi iz gornjeg izraza određuje se struja kroz svaki pojedini linijski element, a budući da pretpostavljamo da je potencijal elemenata uzemljivača jednak, otpor rasprostiranja je:

$$R = \frac{\Phi}{\sum_{i=1}^n I_i}$$

Ovo je pojednostavnjen opis postupka proračuna koji sam po sebi pretpostavlja organizaciju obrade na elektroničkom računalu.

Budući da je danas svakom projektantu dostupna takva obrada, otpada potreba proračuna pomoću ranije mnogo korištenih različitih empirijskih izraza za složenije konfiguracije uzemljivača. Ovo tim više što, kako će se kasnije vidjeti, dimenzioniranje najčešće radimo samo za tipska rješenja uzemljivača. Znači da sam proračun trebamo izvršiti uglavnom jedino onda kada se razradjuje novo tipsko rješenje uzemljivača za koje je potrebno odrediti njegovu konstantu, tj. otpor rasprostiranja na 1Ωm specifičnog otpora tla.

Proračunima otpora rasprostiranja konkretnih primjera jednostavnijih i složenijih oblika uzemljivača na osnovi naprijed izloženog matematičkog modela može se lako doći do određenih općih konstatacija koje imaju značajnog utjecaja na izbor veličine i oblika uzemljivača:

- veličina promjera ili presjeka uzemljivača ima neznatan utjecaj na iznos otpora rasprostiranja pa te elemente treba utvrđivati isključivo na osnovi kriterija termičke opteretivosti i zaštite od korozije
- dubina ukopavanja uzemljivača ima također mali utjecaj na iznos otpora rasprostiranja pa nju treba utvrditi na osnovi uvjeta da dubina polaganja bude veća od prosječne dubine smrzavanja površinskog sloja tla u zimskom periodu i uvjeta zaštite od mehaničkog oštećenja obradom zemljišta i sl.; standardna dubina ukopavanja je 0,5 m, a u obradivim površinama 0,8 m
- u slučaju primjene zrakastih uzemljivača nije racionalno koristiti više od 4 kraka na uzemljivaču jednog stupnog mjesta, a krakovi ne trebaju biti dulji od 30 do 40 m.

U stvari, ograničenje duljine uzemljivača slijedi iz proračuna udarnog, a ne stacionarnog otpora, ali se ovdje navodi jer se problematika proračuna udarnog otpora uzemljivača tretira samo u iznimnim situacijama.

Jedan specifičan oblik horizontalno položenog uzemljivača je tzv. protutežno užje. Riječ je o uzemljivaču koji se polaže u tlo u cijeloj duljini trase voda i koji se zemljovodima spaja s konstrukcijom svakog pojedinog stupa.

Ovdje više ne možemo u proračunu otpora rasprostiranja zanemariti vlastiti otpor uzemljivača.

Ako definiramo aktivnu ili kritičnu duljinu uzemljivača kao duljinu pri kojoj uzdužni (vlastiti) otpor uzemljivača postaje jednak otporu rasprostiranja:

$$A = \sqrt{\frac{L}{r \cdot R}}$$

a karakteristični otpor uzemljivača kao odnos:

$$R_0 = \sqrt{r \cdot R \cdot L}$$

gdje je:

- $r (\Omega)$ - vlastiti otpor po dužnom metru uzemljivača
- $R (\Omega)$ - poprečni otpor ili otpor rasprostiranja uz zanemareni vlastiti otpor uzemljivača
- $L (m)$ - ukupna duljina protutežnog užeta

Otpor rasprostiranja protutežnog užeta možemo utvrditi relacijom:

$$R = R_0 \cdot \operatorname{cth} \frac{L}{A}$$

4.9.4. Tipska rješenja uzemljivača

Ne uzimajući u obzir rješenja za pojedine specifične situacije i zahtjeve, osnovni tipovi uzemljivača koji se primjenjuju za dalekovode u Hrvatskoj jesu:

- prsten (P)
- dva prstena (2P)
- zrakasti uzemljivači sa 2, 3 i 4 kraka (2xL, 3xL, 4xL)
- kombinacije prstenastih i zrakastih uzemljivača (P + 2xL, P + 3xL, P + 4xL, 2P + 2xL, 2P + 3xL, 2P + 4xL)

Izbor prstenastog uzemljivača redovno je vezan za uvjete zaštite od djelovanja napona na mjestu zemljospoja pa je ovdje bitan oblik, odnosno udaljenost od metalne konstrukcije stupa (oko 1 m) i dubina ukopavanja. Zato ovdje ne možemo govoriti o dimenzioniranju u konvencionalnom smislu riječi, nego o utvrđivanju otpora rasprostiranja za odgovarajuće veličine prstenastih uzemljivača, ovisno o dimenzijama temeljnog djela stupa. U tabeli 4.43. i 4.44. dani su rezultati proračuna konstante k otpora rasprostiranja za uobičajene dimenzije uzemljivača stupa distributivnih i prijenosnih vodova. Za 110 kV vodove treba računati s prosječnim razmakom pojasnika temeljnog dijela stupa od 2 do 4 m, pa time i sa širinom stranica a od 4 do 6 m.

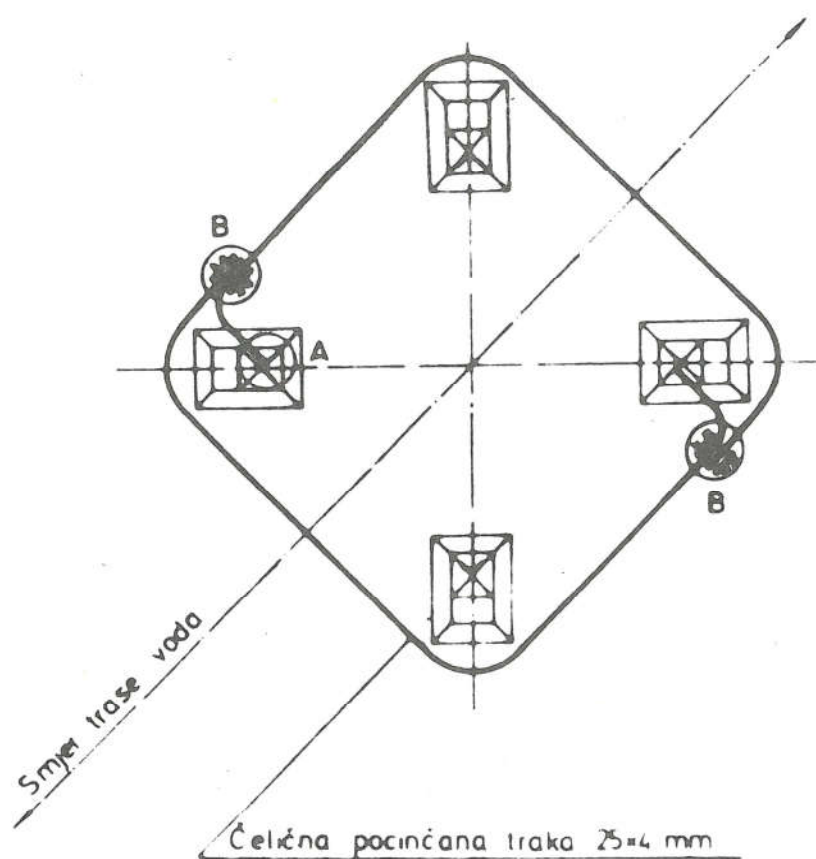
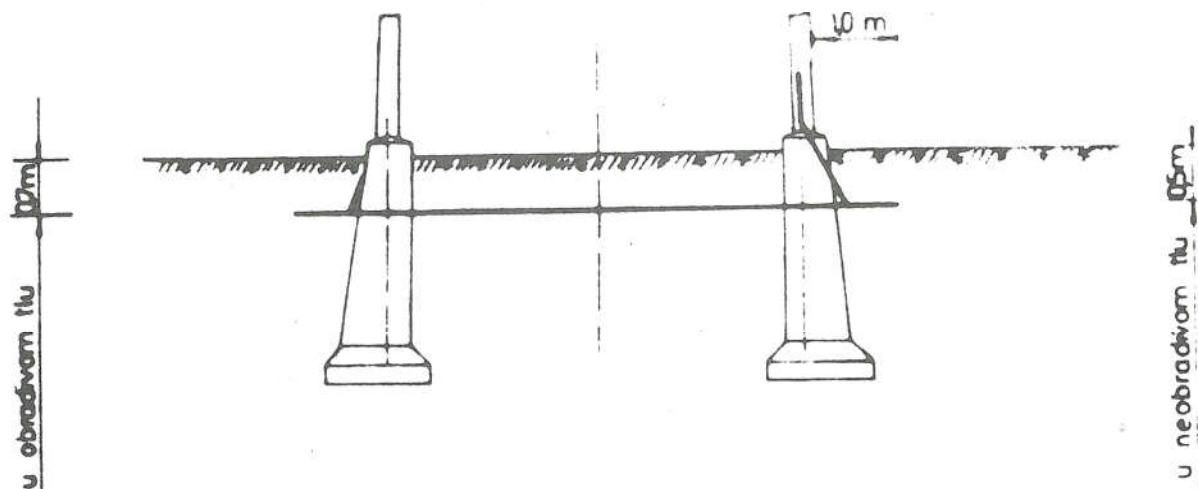
Pomoću konstante k utvrđuje se otpor rasprostiranja za dane konkretne uvjete odnosno mjerene iznose specifičnog otpora tla, što onda dalje služi za ocjenu sigurnosti voda s obzirom na kriterij zaštite od povratnog preskoka u slučaju udara groma u vod. Naprimjer, neka smo u određenoj obradivoj površini predvidjeli ugradnju prstenastog uzemljivača, a mjerena vrijednost specifičnog otpora tla je $60 \Omega\text{m}$. Prosječna širina temeljnog dijela stupa je 4 m pa je otpor rasprostiranja:

$$R = 60 \cdot 7,89 \cdot 10^{-2} = 4,7 \Omega$$

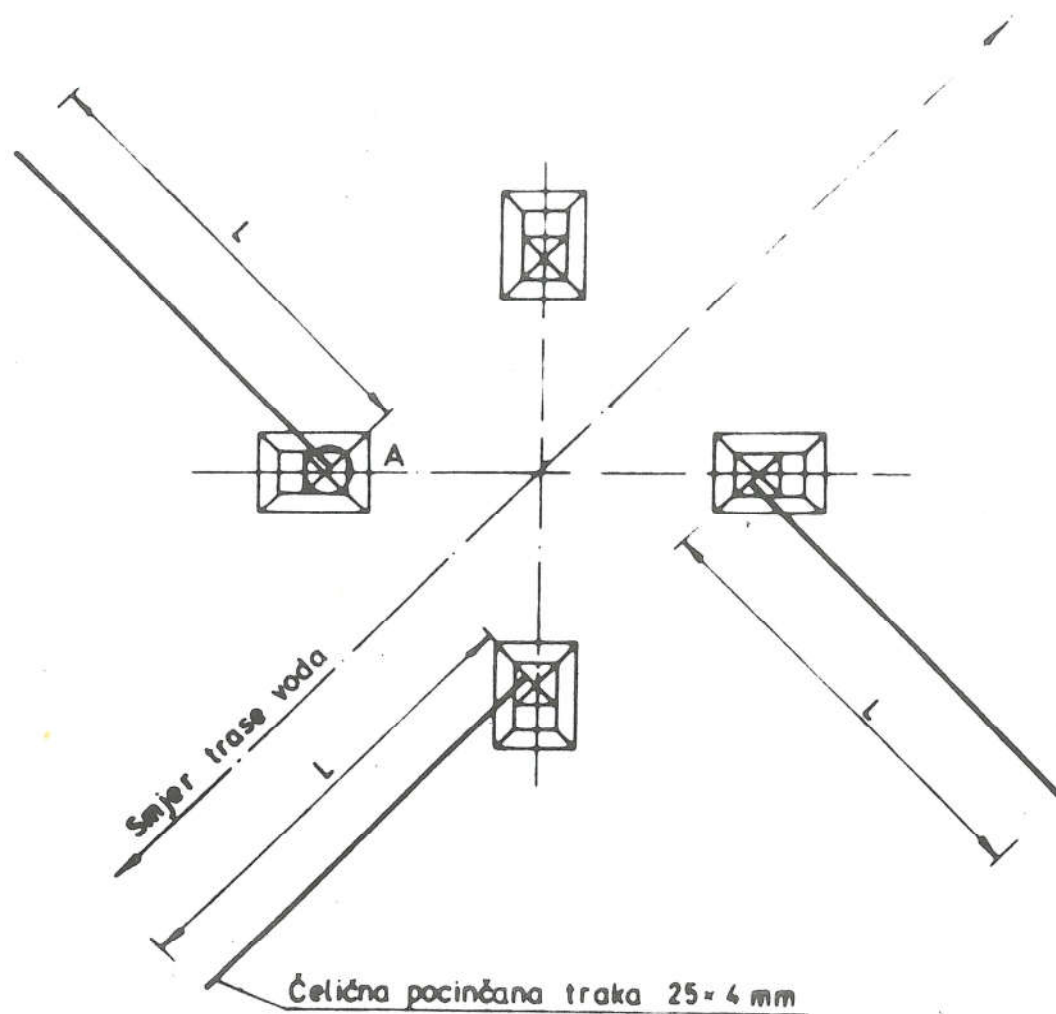
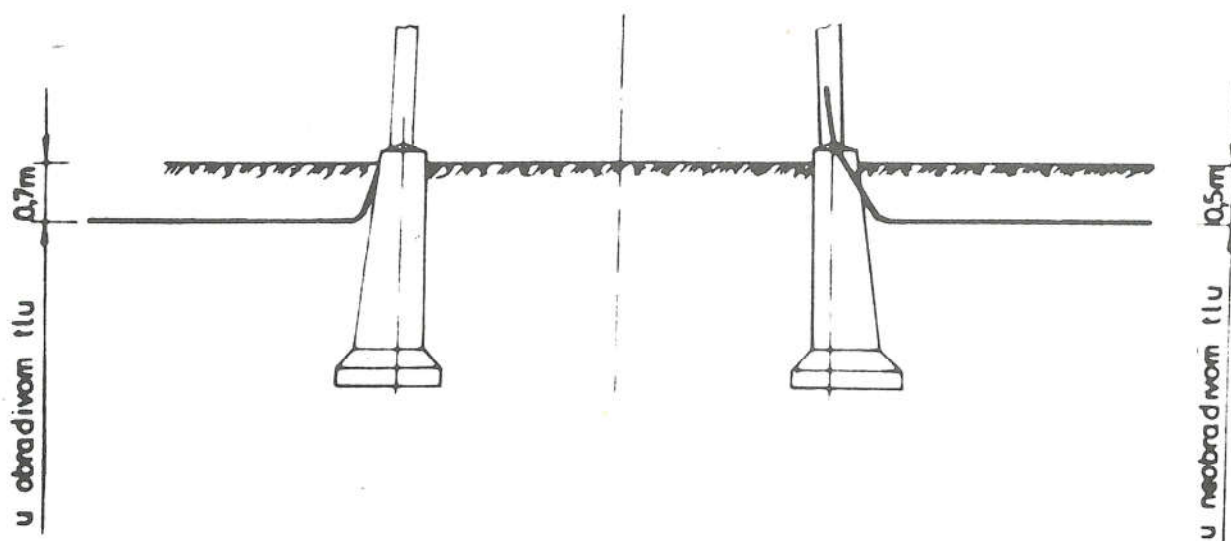
Utvrđena vrijednost otpora rasprostiranja pruža vrlo visoku sigurnost s obzirom na zaštitu od atmosferskih prenapona jer dobivamo da udarna struja groma kroz stup pri kojoj još uvijek neće doći do povratnog preskoka iznos oko 100 kA.

U tabl. 4.43. i 4.44. predstavljeni su svi standardni tipovi uzemljivača uz proračun konstante k otpora rasprostiranja za različite duljine krakova zrakastih uzemljivača.

Slika 4.61. prikazuje standardno rješenje prstenastog uzemljivača oko sve četiri noge stupa s raščlanjenim temeljima, a slika 4.62. uzemljivač u obliku trokrake zvijezde.



Standardno rešenje prstenastog uzemljivača
Sl. 4.61.



Uzemljivač u obliku trokrake zvijezde
Sl. 4.62.

Zrakasti uzemljivači odabiru se u uvjetima u kojima je jedini kriterij zaštita od atmosferskih prenapona, drugim riječima, gdje se zbog visokog specifičnog otpora tla ili relativne nepristupačnosti stupnom mjestu ne traži nikakva zaštita od djelovanja napona na mjestu zemljospoja. Broj krakova zrakastog uzemljivača odabire se dijelom na osnovi mogućnosti polaganja u određenim realnim uvjetima, a dijelom na osnovi iznosa specifičnog topora tla na stupnom mjestu.

Naprimjer za jedan dalekovod 110 kV u terenu sa specifičnim otporom tla od oko 200 do 300 Ωm u kojem nema potrebe poduzimati mjere zaštite od djelovanja napona na mjestu zemljospoja, što znači ugradjivati prstenaste uzemljivače, a slobodan prostor oko stupnog mjesta je relativno ograničen, zadovoljavajuće rješenje može se postići i sa samo dva kraka zrakastog uzemljivača.

Što se tiče dileme da li u terenu visokog specifičnog otpora tla upotrijebiti zrakasti uzemljivač sa 3 ili 4 kraka, treba imati na umu da uzemljivač sa 3 kraka predstavlja racionalnije rješenje ako se gleda odnos ostvarenog efekta i troškova izvedbe uzemljenja. To se lako može zaključiti i usporedbom iznosa pojedinih konstanti k za uzemljivače jednake ukupne duljine. Korištenje i četvrtog kraka ima opravdanje ako se želi postići i što povoljnije oblikovanje potencijala na lokaciji stupnog mjesta.

Potrebna duljina pojedinih krakova slijedi iz uvjeta zaštite od povratnog preskoka. Naprimjer, ako smo utvrdili da je podnosivi napon izolacije 450 kV i da se zadovoljavajuća sigurnost voda ostvaruje uz pretpostavku udarne struje groma od 50 kA, onda otpor uzemljenja stupa ne bi trebao biti veći od:

$$R = \frac{450}{50} = 9 \Omega$$

Ako smo ocijenili da nam u određenim konkretnim uvjetima najpovoljniji izbor predstavlja uzemljivač u obliku troktrake zvijezde, a prosječna vrijednost specifičnog otpora tla je oko 380 Ωm onda bi potrebna duljina pojedinih krakova uzemljivača, prema tabl. 4.44 iznosila $L = 35 \text{ m}$.

Opravdanje se izmedju ostalog, nalazi u približnosti čitavog postupka dimenzioniranja, posebno u pogledu pretpostavki udarne struje groma i podnosivog napona izolacije, a vezano za standardni i stvarni oblik udarnog vala te geoelektričke karakteristike tla.

Induktivna sprega vodiča dalekovoda i krakova uzemljivača je apsolutno zanemarljiv faktor kada je u pitanju ukupna impedancija sistema, pa je smjer polaganja krakova neovisan o smjeru trase voda. U praksi redovno se bira smjer što bolje vodljive zemlje, ali uz nastojanje da kutovi izmedju pojedinih krakova ne budu manji od 90° za trokraku i 60° za četverokraku zvijezdu.

Uzemljivač se nakon polaganja u rov zasipava iskopom ako se u njemu ne nalazi materijal velikog specifičnog otpora tla, kao što su kamen, šljunak i sl. U protivnom, potrebno je osigurati dovoljne količine materijala dobre vodljivosti.

Kada nije moguće na okolnom terenu osigurati dovoljne količine dobro vodljive zemlje, a smanjenje otpora uzemljenja nameće se kao nužna mjera, tada je potrebno ispitati opravdanost upotrebe materijala kojima se, unatoč povećanja troškova izrade uzemljenja, postižu traženi efekti. To je prije svega bentonit.

Primjenom bentonita moguće je efikasno smanjiti otpor rasprostiranja uzemljivača u kamenitom tlu, ali opravdanost takvog zahvata treba ocijeniti u svakom konkretnom slučaju odgovarajućom ekonomskom analizom.

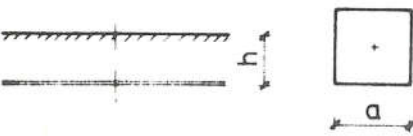
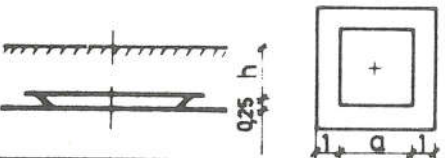
Pri takvoj analizi treba ocijeniti da li primjena bentonita ima tehničko-ekonomske prednosti pred dugim rješenjima, kao što su:

- povećanje dimenzija uzemljivača
- navoženje dobro vodljive zemlje sa drugih lokacija
- korištenje dobro vodljivih materijala koji ostaju kao otpad u aluminijskoj industriji (tzv. crveni mulj).

Kao što se iz tabl. 4.44. vidi, duljine krakova uzemljivača su "standardizirane" s korakom od 5 m.

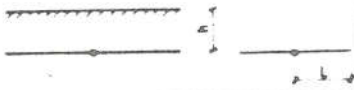
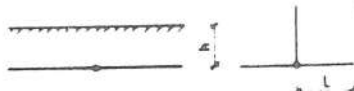
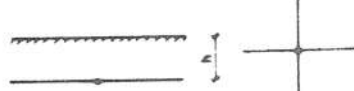
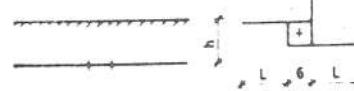
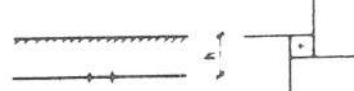
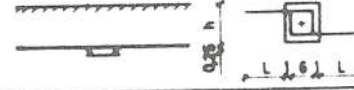
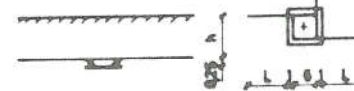
Tablica 4.43.

Kostanta k otpora rasprostiranja;
prstenasti uzemljivači

Konfiguracija uzemljivača	Oznaka	Osnovna dubina ukopavanja (m)	Širina stranice a (m)							
			1	2	4	5	6	8	10	12
	P	0,5	31,11	19,57	11,44	9,54	8,21	6,46	5,36	4,59
		0,75	27,18	18,13	10,91	9,14	7,89	6,24	5,18	4,44
	2P	0,5	12,61	9,95	7,02	6,14	5,47	4,51	3,85	3,37
		0,75	11,77	9,47	6,77	5,94	5,30	4,38	3,74	3,28

Tablica 4.44.

Konstanta k otpora rasprostiranja;
zrakasti i kombinirani uzemljivači

Konfiguracija uzemljivača	Oznaka	Osnovna dubina ukopavanja h (m)	Duljina kraka uzemljivača L (m)							
			5	10	15	20	25	30	35	40
	2 x L	0,5	14,59	8,36	5,99	4,72	3,92	3,36	2,95	2,63
		0,75	14,02	8,05	5,79	4,56	3,79	3,25	2,86	2,55
	3 x L	0,5	11,52	6,52	4,64	3,64	3,00	2,57	2,25	2,00
		0,75	11,03	6,30	4,49	3,52	2,92	2,50	2,19	1,95
	4 x L	0,5	9,84	5,52	3,90	3,05	2,51	2,14	1,87	1,66
		0,75	9,41	5,33	3,79	2,96	2,44	2,08	1,82	1,62
	P+2 x L	0,5	6,49	5,16	4,27	3,64	3,17	2,82	2,53	2,31
		0,75	6,25	4,99	4,13	3,52	3,08	2,73	2,46	2,24
	P+3 x L	0,5	5,95	4,50	3,60	3,01	2,59	2,27	2,03	1,84
		0,75	5,73	4,35	3,50	2,92	2,52	2,21	1,98	1,80
	P+4 x L	0,5	5,50	4,01	3,15	2,60	2,22	1,94	1,72	1,55
		0,75	5,31	3,89	3,07	2,53	2,16	1,89	1,68	1,51
	2P+2 x L	0,5	4,92	4,26	3,70	3,25	2,89	2,61	2,37	2,18
		0,75	4,75	4,12	3,58	3,15	2,81	2,53	2,30	2,11
	2P+3 x L	0,5	4,70	3,90	3,27	2,80	2,45	2,17	1,95	1,77
		0,75	4,54	3,77	3,17	2,72	2,38	2,11	1,90	1,73
	2P+4 x L	0,5	4,51	3,60	2,95	2,48	2,14	1,88	1,68	1,52
		0,75	4,35	3,49	2,86	2,41	2,06	1,83	1,64	1,48

4.9.5. Mjerenje otpora uzemljenja stupova

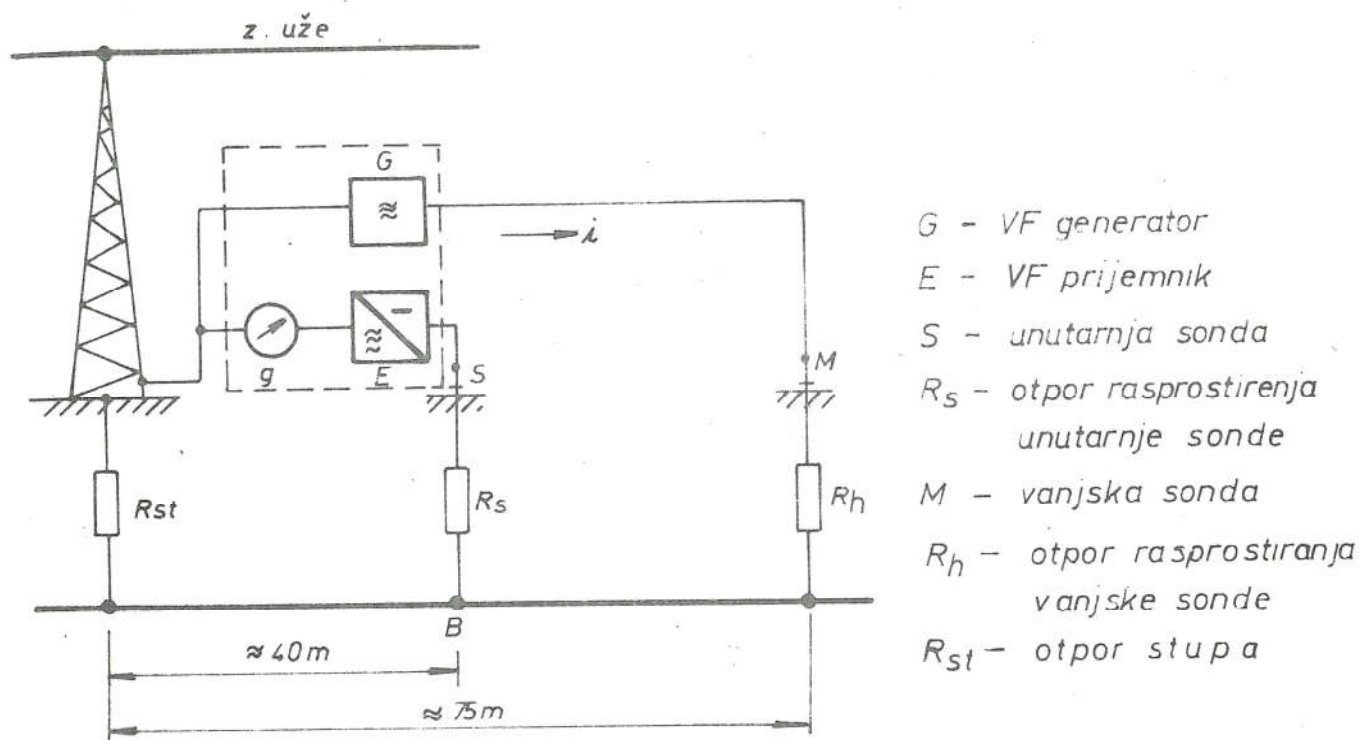
Otpor uzemljenja stupova mjeri se neposredno nakon izgradnje i tokom eksploatacije voda. Otpor uzemljenja na svakom pojedinom stupnom mjestu može se mjeriti uz spojeno i odvojeno zaštitno uže.

U prvom slučaju mjerimo otpor čitavog sistema uzemljenja voda što ga čine otpori uzemljenja svih stupova i zaštitnog užeta u svim rasponima. Stvarna namjena ovakvih mjerenja, međutim, nije da se ustanovi ukupni otpor uzemljenja na pojedinom stupnom mjestu, nego da se prekontrolira galvanska veza zaštitnog užeta i uzemljivača. Za dalekovode na čeličnim stupovima ovakva mjerenja imaju malu vrijednost.

Mjerenjem uz odvojeno zaštitno uže utvrđuje se otpor uzemljenja samog stupa. Ovakva mjerenja moguće je provesti fizičkim odvajanjem i izoliranjem zaštitnog užeta od stupa, odnosno zemljovoda, ili električkim odvajanjem, tj. korištenjem takvih metoda kod kojih se postupkom mjerenja eliminira utjecaj sistema uzemljenja voda priključenog na stup preko zaštitnog užeta.

Fizičko odvajanje zaštitnog užeta u svrhu mjerenja otpora uzemljenja je, čak i na vodovima nižeg napona, neprikladno rješenje i nastoji se izbjeći. Ranije se umjesto odvajanja zaštitnog užeta odvajao uzemljivač na priključnoj stezaljci. Ovakvim se postupkom praktično u rezultatu mjerenja eliminira doprinos temeljnog dijela stupa.

Nijedan od načina fizičkog odvajanja zaštitnog užeta nije prihvatljiv u praksi, pa se danas gotovo bez iznimke koriste metode kojima se isti efekti ostvaraju električkim odvajanjem. Princip je jednostavan i svodi se na to da se slanjem strujnog impulasa preko vanjske (strujne) elektrode, slika 4.63, odredi razlika potencijala između uzemljivača i naponske sonde pri frekvenciji koja je dovoljno nisko ispod frekvencije rezonancije sistema uzemljenja i dovoljno visoko da eliminira utjecaj impedancije zaštitnog užeta, odnosno njime priključenog sistema uzemljenja.



Shema mjerenja otpora uzemljenja stupa
 Sl. 4.63.

Sva mjerenja otpora uzemljenja stupova, izuzev mjerenja koja bi se vršila uz fizičko odvajanje zaštitnog užeta na vrhu stupa, tretiraju se kao radovi u I-zoni opasnosti, odnosno zoni slobodnog kretanja.

Fizičko odvajanje zaštitnog užeta predstavlja radnju u III zoni opasnosti, što zahtijeva primjenu svih postupaka zaštite na radu prema pravilniku organizacije na čijem objektu se ova mjerenja obavljaju.

Izvještaj o obavljenim mjerenjima treba da sadrži pored općih podataka o dalekovodu i sljedeće:

- klimatske uvjete za vrijeme mjerenja
- ocjenu vlažnosti tla
- brojeve svih stupnih mjesta i odgovarajuće oznake primijenjenih uzemljivača
- vrijednosti otpora uzemljenja stupova za svako stupno mjesto sa i bez odvajanja zaštitnog užeta.

Pri interpretaciji rezultata mjerenja maksimalnu vrijednost otpora uzemljenja koja je poslužila kao kriterij pri izboru uzemljivača ne treba tumačiti u determinističkim relacijama, u smislu da nijedan otpor uzemljenja ne bi smio biti veći od te vrijednosti.

Ako odredjeni manji broj rezultata mjerenja premašuje utvrdjenu maksimalnu vrijednost ne znači da je time dovedena u pitanje sigurnost voda s obzirom na prenapone atmosferskog porijekla, pa ni da će na takvim stupnim mjestima uopće doći do povratnog preskoka.

U pitanju je velik broj pojednostavnjenja, a i slijeda slučajnih događaja koji određuju stvarne performance zaštite od udara groma. Mjerena vrijednost otpora rasprostiranja stupa, a i ona se mijenja u različitim vremenskim periodima, tek je jedan od parametara koji utječe na te performance.

Ako se u pojedinim dionicama bitno razlikuju prosječne vrijednosti otpora uzemljenja stupa, onda je prosječni rizik povratnog preskoka voda jednak srednjoj vrijednosti rizika u svim dionicama, srazmjerno duljinama pojedinih dionica:

$$\text{STR} = \frac{\text{STR}_1 \cdot L_1 + \text{STR}_2 \cdot L_2 + \text{STR}_3 \cdot L_3 + \dots}{L}$$

gdje je:

- STR - ukupni rizik preskoka na izolaciji dalekovoda
- L - ukupna duljina voda
- 1,2,3 - indeksi rizika kvara i duljina pojedinih dionica

Prosječna vrijednost otpora rasprostiranja za određenu dionicu može se računati ako standardno odstupanje rezultata mjerenja nije veće od polovice srednje vrijednosti. Naprimjer, ako je utvrdjena srednja vrijednost rezultata mjerenja za određenu dionicu od 8Ω , onda bi standardno odstupanje trebalo biti jednako ili manje od $\sigma = 4 \Omega$.

5. SISTEM IZRADA DOKUMENTACIJE I GRAĐENJE DALEKOVODA

5.1. DOKUMENTACIJA ZA IZRADNJU I ODRŽAVANJE

Postoje, prema Zakonu o izgradnji objekata u SR Hrvatskoj i dosadašnjoj praksi "Elektroprivrede" Hrvatske, tri osnovne grupe dokumentacije za gradnju i održavanje dalekovoda.

- dokumentacija prethodnih radova (idejni projekti, investicioni programi)
- tehnička dokumentacija (za dobivanje građevinske dozvole, za ustupanje radova, za gradjenje)
- dokumentacija za održavanje dalekovoda.

Ovdje će se navesti standardni, Zakonom utvrđeni ili praksom verificirani sadržaj svake od pojedinih navedenih vrsta dokumentacije. Niti je za građenje i održavanje dalekovoda nužno imati sve vrste dokumentacije, niti sadržaj mora odgovarati ovdje citiranom. Odstupanja su moguća, ovisno o veličini i namjeni objekta, lokalnim uvjetima, specifičnim zahtjevima itd.

5.1.1 Idejni projekt

Idejni projekt je, općenito, jedan ili više projekata iz kojih je vidljivo osnovno prostorno, oblikovno, funkcionalno, tehničko i tehnološko rješenje objekta te se kao takav ne smatra tehničkom dokumentacijom.

Idejni projekt može biti podloga za izradu investicionog elaborata, ali ne i za dobivanje građevinske dozvole.

U sklopu izrade idejnog projekta dalekovoda obvezno se nalazi tehnički opis s osvrtnom na izbor odabranih elemenata dalekovoda, odgovarajućim parametrima i preporukama te sagledavanje eventualno potrebnih nestandardnih rješenja (elaborati, ispitivanja i radovi), koje treba sadržati tehničku dokumentaciju za građevinsku dozvolu, odnosno izvedbena dokumentacija.

5.1.1.1. Sadržaj idejnog projekta dalekovoda

A. Osnova za projektiranje

Uvjerjenje o uvjetima uređenja prostora
Suglasnosti i mišljenja
Zapisnici
Projektni zadatak

B. Tehnički izvještaj

Tehnički opis:

- Trasa i prelazi
- Klimatski podaci
- Inženjerskogeološko mišljenje
- Stupovi i temelji
- Užad
- Izolacija
- Uzemljenje
- Ostali uvjeti i posebni zahtjevi, usklađenje s uivjerenjem o uvjetima uređenja prostora

C. Nacrti

- Situacija trase
- (Eventualno situacije priključaka i prijedlozi raspleta)
- (Eventualno skice uklapanja u okolinu)
- Skice stupova i temelja
- Izolatorski lanci
- Zavješanja zaštitne užadi
- Uzemljenje

D. Ekonomski dio

- Opseg radova
- Predmjer građevinskog materijala i radova
- Predmjer elektromontažnog materijala i radova
- Ostali radovi (demontaže, rekonstrukcije i sl.)
- Troškovnik

E. Katastarske podloge

- Situacija iz katastarskog plana s naznačenim koridorom za trasu dalekovoda (širina koridora cca 30-50 m)

5.1.1.2. Opis izrade idejnog projekta

a. Izbor trase

Sudjeluje predstavnik investitora, projektant i po potrebi predstavnici zainteresiranih ustanova i poduzeća i ostali (geolog ili geomehaničar, meteorolog i sl.). Trasa se ucrtava na raploživu kartu mjerila 1 : 50 000 ili povoljnijeg ako se s takvom raspolaže. U posebnim slučajevima moguće su analize varijanti trasa.

b. Suglasnosti na trasu

Projektant prikuplja suglasnosti saveznih organa i zatražuje u ime investitora uvjerenje o uvjetima uređenja prostora, ako drugačije nije posebno dogovoreno.

c. Energetski podaci

Investitor treba dati energetsko obrazloženje potrebe izgradnje objekta s očekivanom prijenosnom snagom dalekovoda, odnosno treba staviti projektantu na raspolaganje investicionu dokumentaciju koja ima energetsko obrazloženje ili usvojene presjeke užadi.

d. Ostali prethodni radovi

- Uklapanje u okoliš

Već kod određivanja trase potrebno je voditi računa o uklapanju dalekovoda u okoliš (postojeći objekti, šume i sl.) te ako je potrebno u idejnom projektu skicirati rješenja, dati upute i sl. Za složenije slučajeve idejnim se projektom naznačuju smjernice za izradu posebne projektne dokumentacije uklapanja dalekovoda u okoliš.

- Inženjerskogeološko mišljenje o trasi

Projekt treba sadržati inženjerskogeološko mišljenje o trasi. Ako se pokaže potreba (trasa na području loše nosivosti ili posebnih zahtjeva) geologa ili geomehaničara treba uključiti pri izboru trase. Za trase na terenima s izrazito lošim nosivostima potrebno je dati preporuke za izvedbu temeljenja ili naznačiti potrebne dodatne istražne radove.

- Klimatski podaci

Za trasu treba odrediti klimatske podatke na osnovi podataka meteorološke službe (Republički hidrometeorološki zavod) i raspoloživih podataka i iskustava pogonske službe održavanja, stanovnika uz trasu i sl. Odabrani klimatski podaci za projektiranje dalekovoda trebaju biti zapisnički konstatirani (investitor, projektant, a po potrebi i meteorolog itd.).

Za područje gdje nema postojećih elektroenergetskih vodova, a niti meteoroloških podataka na osnovi kojih bi se mogli odrediti klimatski parametri za dimenzioniranje voda, idejnim projektom bi se trebao naznačiti minimalni obim mjerenja s kojima bi se u periodu do izrade tehničke dokumentacije za dobivanje građevinske dozvole dobili odgovarajući klimatski parametri za dimenzioniranje voda.

e. Izbor elemenata dalekovoda

- Užad

Izbor u osnovi vrši investitor. Naprezanja užadi određuje u pravilu projektant. Ako nije zadana užad, vrši se analiza i preporučuje vrsta i presjek užadi.

- Izolacija
Na osnovi potrebnog stupnja izolacije dalekovoda, uvažavajući eventualna aerozagadjenja, određuju se potrebni elementi izolacije dalekovoda (izolatorski lanci i oprema). Poželjna sugestija investitora naročito na području gdje su očekivana intenzivna aerozagadjenja. Idejnim projektom preporučiti rješenje izolacije za takvo područje.
- Uzemljenje
Za zadovoljenje zahtijevane sigurnosti i ekonomičnosti određuje se odgovarajuće uzemljenje dalekovoda i eventualno potrebni ostali elementi (spojevi, posebne zaštite), npr. uzemljenje žičanih mreža, metalnih dijelova obližnjih objekata i sl.
- Stupovi
Prema zahtjevu investitora ili prijedlogu projektanta određuje se odgovarajuća vrsta stupova (materijal, oblik i sl.). U skladu s naprezanjima užadi, klimatskim i posebnim zahtjevima odabiru se odgovarajući tipovi stupova iz tipizacije odgovarajućeg naponskog nivoa. Skice stupova daju se na A4 formatu.
- Temelji
Prema izabranim stupovima, naprezanjima i inženjerskogeološkom mišljenju, određuju se temelji za prosječne visine stupova i kategorije tla. Skice se daju na A4 formatu.

f. Nacrti

Nacrti predviđeni za idejni projekt navedeni su prethodno u sadržaju.

g. Ekonomski dio

Na osnovi ocjene broja stupova i prosječnih visina određuju se:

- osnovne pretpostavke organizacije gradilišta i izgradnje
- predmjeri građevinskog materijala i radova
- predmjeri elektromontažnog materijala i radova
- eventualni radovi na drugim objektima
- procjena troškovnika

5.1.2. Investicioni program

Investicioni program smatra se tehničko-ekonomskim elaboratom potrebnim za donošenje odluke o gradnji svakoga građevinskog objekta, pa tako i dalekovoda.

Prije donošenja odluke o izgradnji objekta investitor je dužan pribaviti pismeno mišljenje i ocjenu valjanosti investicionog programa i njegovih sastavnih dijelova te njegove usklađenosti s odredbama zakona i propisa koji se odnose na izgradnju i osiguranje sredstva za izgradnju objekata.

Prilikom izrade investicionog programa u osnovi se treba pridržavati sljedećeg:

- Zakona o izgradnji objekata (NN br. 54/86)
- Zakona o osiguranju sredstava za izgradnju objekata (NN 23/81)
- Kriterija i mjerila za utvrđivanje elemenata cijena jednostavne reprodukcije elektroprivrednih organizacija Hrvatske (lipanj 1983 g.)
- Srednjoročnog plana kojim je investitor predvidio izgradnju objekta
- Energetskih proračuna, studije analize
- SAS-a o osnovama zajedničkog razvoja elektroprivrede za konkretno plansko razdoblje
- Tehničke dokumentacije za dobivanje građevinske dozvole ili idejnog projekta konkretnog objekta.

Investicioni program dalekovoda treba sadržavati sljedeće:

a. Opći podaci

Tvrtka, odnosno naziv dalekovoda

Naziv i opis objekta

Namjena i uloga u energetskom sistemu

Osnovne podloge za planiranje i gradjenje

b. Analiza uvjeta uređenja prostora

Općinski organi koji su izdali uvjete uređenja prostora

Karakteristike trase

Utjecaj uvjeta uređenja prostora i izgradnje na visinu sredstava za građenje i održavanje.

c. Uklapanje dalekovoda u plan prostornog uređenja

Uvjeti uklapanja dalekovoda u regionalne planove i planove Elektroprivrede

Utvrđivanje općeg interesa

d. Broj i kvalifikacijska struktura radnika

Broj i kvalifikacijska struktura radnika potrebnih za održavanje objekata

Sredstva za rješavanje stambenih problema radnika

e. Ocjena opravdanosti, energetsko tehničko obrazloženje, konstrukcija financiranja

Energetske prilike na širem području trase voda

Ekonomski aspekti troškova prijenosa i distribucije

Utjecaj planiranog voda na cijenu električne energije i uvjete stabilnosti prijenosnog sistema

Utjecaj planiranog dalekovoda na pouzdanost opskrbe električnom energijom u iznimnim uvjetima

- f. *Tehnička rješenja objekta*
Opći i osnovni tehnički podaci voda
Tehnički opis izvedbe
- g. *Sklanjanje ljudi i materijalnih dobara*
Karakteristike objekta s obzirom na uvjete sklanjanja od ratnih djelovanja
Uvjeti prilagođenja potrebama narodne obrane
- h. *Troškovi, dinamika izgradnje i konstrukcija financiranja*
Troškovnik izgradnje dalekovoda
Vremenski plan izgradnje
Konstrukcija financiranja
- i. *Osnovne podloge za izradu investicionog programa (kao prilog)*
Uvjerjenje o uvjetima uređenja prostora i tehničko rješenje objekta razrađeni u obliku idejne dokumentacije ili dokumentacije za dobivanje građevinske dozvole, smatraju se sastavnim dijelovima investicionog programa.

5.1.3. Tehnička dokumentacija za dobivanje građevinske dozvole

Tehnička dokumentacija za dobivanje građevinske dozvole služi, kao što i naziv kaže, investitoru kao osnovna podloga pri podnošenju zahtjeva za ishodenje građevinske dozvole i za ustupanje radova izvođaču licitacijskim postupkom ili pogodbom.

Naglašava se da ova dokumentacija ne sadrži i dokumentaciju za građenje, kao što su radionički nacrti stupova, dokumentacija izvođenja građevinskih i elektro-montažnih radova i sl.

U sastavu ove dokumentacije, a po izradi i prihvatanju studije-projekta Tipizacija 110 kV visokonaponskih nadzemnih vodova, neće se nalaziti tipizirani elementi koji će biti prihvaćeni po reviziji studije.

Popis projekata:

- Elektromontažni projekt
- Građevinski projekt
- Katastarske podloge

5.1.3.1. Elektromontažni projekt

a. *Sadržaj*

- Sadržaj
- Registracija
- Isprava o usklađenosti tehničkih rješenja utvrđenih uvjetima uređenja prostora
- Isprava o primjeni pravila zaštite na radu
- Akt o postavljanju voditelja projekta
- Potpisi odgovornih projektanata

b. *Osnova za projektiranje*

- Projektni zadatak
- Zapisnici i prilozi
- Suglasnosti, mišljenja i uvjeti
Meteorološki podaci
- Meteorološki izvještaj za trasu dalekovoda
Podaci o strujama jednopolnog zemnog spoja
- Dijagram raspodjele struja

c. *Tehnički izvještaj*

- Pregled glavnih tehničkih podataka
- Tehnički opis
- Posebni tehnički uvjeti za elektromontažne radove
- Prikaz primijenjenih mjera zaštite i tehničkih rješenja utvrđenih uvjetima uređenja prostora
- Prikaz tehničkih rješenja za primjenu zaštite na radu
- Prikaz mjera zaštite od požara

d. *Proračuni*

- Podaci o užadi
- Tablice provjesa
- Proračun naprezanja užadi u ovjesištu
- Dimenzioniranje izolacije
- Kontrola razmaka užadi
- Kontrola otklona
- Kontrola sigurnosnih visina
- Dimenzioniranje uzemljenja
- Eventualna ostala dimenzioniranja (odstojnici za vodiče u snopu).

e. *Podaci za statički proračun stupova i temelja*

- Podaci za statički proračun stupova i temelja
- Tablice opterećenja stupova

f. Ekonomski dio

- Opis predviđenih radova
- Specifikacija stupova
- Opis eventualnih radova na drugim objektima
- Predmjer građevinskog materijala i radova
- Predmjer elektromontažnog materijala i radova

g. Nacrti

- Situacija trase dalekovoda
- Situacija priključnih točaka
- Uzdužni profili
- Lista stupova
- Skice stupova
- (Zavješanje zaštitnog užeta)
- (Zavješanje izolatorskih lanaca)
- (Izolatorski lanci)
- (Uzemljivači)

h. Elaborati

- Elaborat prijelaza tt-linija
- Elaborat utjecaja na tt-linije
- Elaborat prijelaza cesta
- Elaborat prijelaza željezničke pruge
- Elaborat prijelaza vodotoka
- Eventualno ostali elaborati

5.1.3.2. Građevinski projekt

a. Opći dio

Sadržaj

Registracija

Isprava o primjeni pravila zaštite na radu

Popis odgovornih projektanata

b. Podloga za projektiranje

Podaci o stupovima (tablica, opterećenja, stupna lista, produljenja i sl.)

Podaci o povišenjima temelja

Geološki i (ili) geomehanički izvještaj

Tehnički opis (stupovi i temelji)

Posebni tehnički uvjeti izvedbe (stupovi i temelji)

Mjere zaštite na radu

c. Statičke kontrole tipskih stupova

d. *Statičke kontrole i proračuni temelja*

e. *Skice stupova s iskazima masa*

f. *Nacrti temelja s iskazima količina*

5.1.3.3. **Katastarske podloge**

Sadržaj

Registracija

Popis odgovornih radnika

Situacija trase (raspoloživo mjerilo)

Situacija trase (u katastarskom mjerilu)

Popis parcela s posjednicima pod dalekovodom (koridor oko 30 m)

Popis parcela s posjednicima na koje dolaze stupovi

Izvaci iz zemljišne knjige za katastarske čestice u koridoru dalekovoda (ZK-izvaci)

5.1.4. **Tehnička dokumentacija za gradjenje dalekovoda**

Osnovna namjena tehničke dokumentacije za gradjenje dalekovoda jest da na temelju dokumentacije za dobivanje građevinske dozvole ili za nastavljajanje radova detaljno odabire sve važnije detalje tehnike građenja i montaže samog dalekovoda, i radova na objektima u trasi voda u svrhu osiguranja određenih uvjeta građenja, primjene mjera zaštite na radu itd.

Odluka investitora o pristupanju izradi ove dokumentacije ovisit će o specifičnosti konkretnog objekta. Sadržaj dokumentacije za gradjenje takodjer će ovisiti o specifičnosti objekta, tako da niže navedeni sadržaj, ovisno o konkretnim problemima na trasi i problemima vezanim za izgradnju može doživjeti stanovite korekcije, a i proširenja obima.

Sadržaj tehničke dokumentacije za gradjenje dalekovoda

Sadržaj

Registracija

Potpisi odgovornih radnika

a. *Osnova za projektiranje i gradjenje*

Gradjevinska dozvola

Potvrde i rješenja

b. Elaborat gradjenja

- Dinamički plan izvođenja radova (uzeti u obzir preraspodjelu radnog vremena, vremenske prilike, raspoložive kapacitete i ostale faktore)
- Elaborat prilaznih putova (osnova za izradu ovog elaborata trebaju biti brojni podaci sa terena, kako bi izrada tog elaborata bila uopće opravdana)
- Elaborat stupnih mjesta
- Elaborat izrade stupova (radionički nacrti)
- Elaborat izrade temelja
- Elaborat montaže stupova
- Elaborat izrade uzemljenja
- Elaborat montaže užeta
- Elaborat šumskog prosjeka
- Elaborat prijelaza preko vodova visokog i niskog napona (s točnim datumom iskopčanja dalekovoda pod naponom)
- Elaborat završnih radova
- Elaborat zaštite na radu

c. Elaborat montaže užeta

Pripremni radovi

- Organizacija radnih polja
- Raspored bubnjeva i pozicija nastavnih spojnica u radnom polju
- Kritične točke u polju i veličine vertikalnih sila na stupovima prilikom razvlačenja

Sve ove podatke koji se odnose na pripremne radove najbolje bi bilo unijeti u uzdužni profil trase dalekovoda u mjerilu 1:500, 1:2 000.

Zatezanje i regulacija užeta

- Montažne tablice
- Pomak stezaljki nosnih izolatorskih lanaca užadi u koloturnicima
- Kontrola provjesa

5.1.5. Dokumentacija za održavanje dalekovoda

Dokumentacija za održavanje dalekovoda ima sadržaj kakav se ustalio u novije vrijeme kod prijenosnih organizacija ZEOH-a. Ovdje su moguća različita odstupanja od standardnog sadržaja, vezano za specifične uvjete gradjenja i održavanja određenog objekta, aktualne potrebe investitora itd. Forma odgovara tzv. miniprojektu, pogodnom za lako rukovanje na terenu.

a. Sadržaj

- Potpisna strana
- Sadržaj dokumentacije za održavanje dalekovoda

b. Nacrti

- Situacija trase dalekovoda
- Uzdužni profil dalekovoda (H 1:10 000, V 1:2 500)
- Stupna lista
- Situacije priključnih točaka dalekovoda
- Detalji zavješanja izolatorskih lanaca
- Detalji zavješanja zaštitnog užeta
- Skice izolatorskih lanaca
- Skice rasporeda i prepleta faza
- Skice šumskog prosjeka

c. Tehničko-ekonomski podaci o dalekovodu

- Opći tehnički podaci o dalekovodu
- Normativi osnovnog materijala

d. Montaža užeta

- Tablice provjesa
- Montažne tablice s uputama za korištenje

e. Održavanje dalekovoda

- Upute za održavanje dalekovoda
- Upute za mjerenje otpora uzemljenja
- Registracija izmjena i mjerenja
- Rezultati mjerenja sigurnosnih visina na prijelazima preko objekata

f. Podaci o stupovima i temeljima

- Osnovni podaci o stupovima i temeljima
- Geološki i geomehanički podaci
- Skice stupova
- Skice temelja
- Pregled stupova i temelja (postojeći i zamjenjujući - za stare vodove)

5.2. OSIGURANJE OPREME I STUPOVA

5.2.1. Obrada podataka za osiguranje opreme i stupova

Tehnička dokumentacija za ishodjenje građevinske dozvole daje točne podatke o stupovima i opremi.

Prema Zakonu o izgradnji objekata (SR Hrvatske), ova dokumentacija je sastavni dio investicionog programa.

Dakle, promatrajući vremenski tok aktivnosti, u fazi nakon donošenja odluke o izgradnji, tj. u fazi realizacije investicionog zahvata, može se zaključiti da je nakon izrade investicionog programa poznata specifikacija tipskih elemenata (opreme) dalekovoda 110 kV.

To praktički znači da je uz zadovoljenje svih ostalih uvjeta, navedenih u dijagramu aktivnosti, u ovoj fazi realizacije investicionog zahvata moguće prići nabavci odgovarajućih količina specificirane opreme (čeličnorešetkaste konstrukcije stupova, užadi, izolatora i ovjesnog materijala).

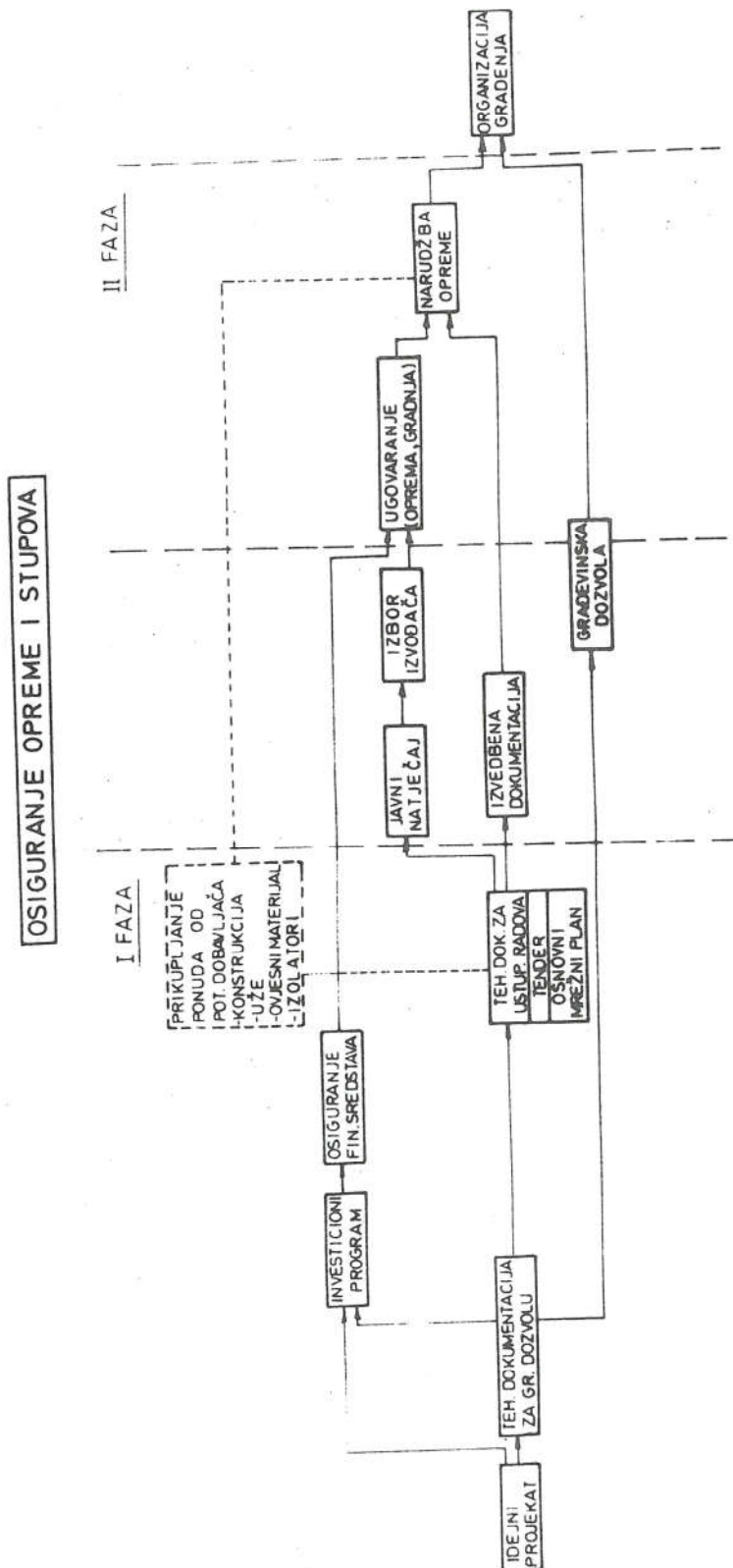
5.2.2. Osiguranje opreme i stupova sa stajališta izvodjača radova

Potencijalni izvodjač radova prvi puta se susreće s tehničkom dokumentacijom (za ustupanje radova) u vrijeme prikupljanja ponuda. Osim tehničke dokumentacije za ustupanje radova i osnovnog mrežnog plana, naručilac izrađuje tender za podnošenje ponude.

U toj fazi kada potencijalni izvodjač ima potrebnu dokumentaciju može stupiti u razgovore s proizvođačima opreme radi informacija o cijenama i rokovima isporuke u svrhu sastavljanja kvalitetne ponude temeljene na realnim podacima.

Pošto je izvodjač poznat, sklopljen ugovor o gradjenju, a financijska sredstva osigurana, u skladu sa Zakonom o osiguranju sredstava za izgradnju objekata, može se pristupiti narudžbi konstrukcije stupova i opreme.

Potrebno je ovdje istaći važnost činjenice da aktivnost definitivne nabavke (narudžbe) opreme slijedi ipak nakon faze izrade izvedbene dokumentacije.



Osiguranja opreme i stupova
Sl. 5.1.

Ovo je naznačeno i u priloženom dijagramu aktivnost, Sl. 5.1., i rezultat je težnje za optimalizacijom tehnologije izgradnje samog objekta. Budući da je u izvedbenoj dokumentaciji definiran raspored i bubnjeva užadi u skladu s organizacijom izgradnje dalekovoda, nužno je, dakle, izvršiti narudžbu u momentu kada su ti podaci poznati. Međutim, ovaj odnos ne mora se strogo poštivati, budući da se aktivnosti u pojedinim trenucima preklapaju i, uzimajući u obzir da je optimalizacija rasporeda bubnjeva užadi na trasi dalekovoda prva faza izrade elaborata montaže (u sklopu izvedbene dokumentacije), ona se može odvijati i mnogo prije, tj. moguće je na osnovi podataka iz tehničke dokumentacije za ishodjenje gradjevinske dozvole te prikupljanjem podataka s terena razraditi plan nabavke bubnjeva odgovarajućih duljina. Za to vrijeme (do definitivne narudžbe opreme) potrebno je uskladiti te zahtjeve s tehnološkim mogućnostima proizvođača.

5.3. ORGANIZACIJA GRADJENJA DALEKOVODA UZ PRIMJENU SUVREMENE TEHNOLOGIJE

Organizacija gradjenja mora se temeljiti na suvremenim metodama planiranja. Planiranje treba vršiti po fazama rada, odnosno odrediti kritične aktivnosti po trajanju i redoslijedu izvođenja, te paralelne aktivnosti kojih redoslijed odvijanja nije strogo određen i omogućuje izvođaču razne organizacione varijacije u cilju da se tok kritičnih aktivnosti ne remeti u pogledu početka i trajanja.

Planiranje tehnologije rada, vrste i broja mehanizacije, transportnih sredstava, broja radnika po kvalifikacionoj strukturi te vremena trajanja gradnje mora imati za bazu investiciono-tehničku dokumentaciju (predmjer radova, vrstu materijala, tipove stupova itd.) i dobro poznavanje svih uvjeta pod kojima će se realizirati gradjenje objekta.

Gradjenje određenog objekta (u konkretnom slučaju dalekovoda 110 kV), predstavlja segment cjelokupnog sistema realizacije investicijskog projekta. Cjelovit pristup upravljanju realizacijom investicijskih projekata podrazumijeva planiranje, praćenje i kontrolu odvijanja realizacije.

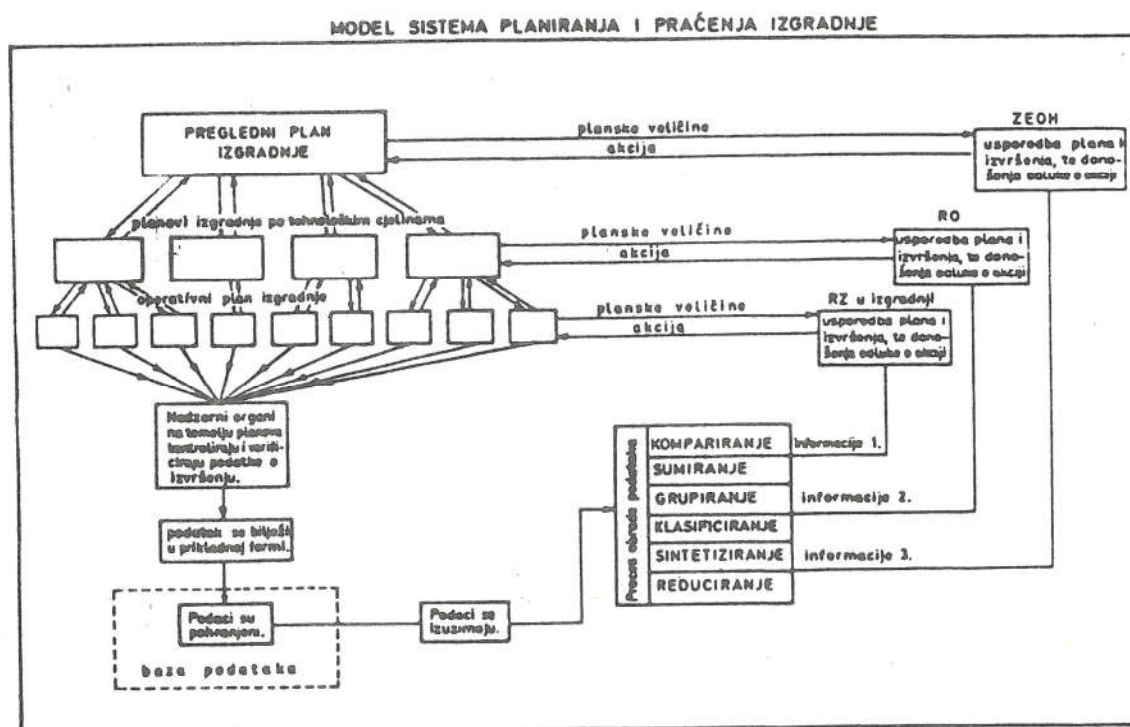
Izrada planova izgradnje treba biti kontinuirani posao u toku čitave izgradnje objekata. Stalnom usporedbom planskih veličina s količinskim, vremenskim i vrijednosnim izvršenjem radova u toku izgradnje, dobivaju se podaci i informacije za pravilno donošenje odluka o akcijama i novelaciji planova za naredna razdoblja. Cilj poslova vezanih uz planiranje jest izrada realnih planova koji predviđaju optimalan tok aktivnosti izgradnje u što kraćem vremenu i uz ulaganje što manjih financijskih sredstava.



Tok aktivnosti u vezi s planom izgradnje
Sl. 5.2.

Praćenje radova po planovima izgradnje jest kontinuirani proces prikupljanja podataka, obrade podataka i informacija na temelju kojih će se utvrditi zadovoljavajuća ocjena gotovosti radova. U slučaju neizvršenja plana, planske veličine se moraju novelirati kako bi predviđanje budućnosti bilo realno u svakom momentu i predstavljalo dobru bazu za donošenje kvalitetnih odluka o daljnjim akcijama vezanim za izgradnju objekata.

Na slici 5.3. prikazan je model sistema planiranja i praćenja izgradnje elektroenergetskih objekata u Elektroprivredi SRH.



Model sistema planiranja i praćenja izgradnje
Sl. 5.3.

Stupanj detaljiziranosti podataka u sistemu planiranja i praćenja izgradnje ovisi o hijerarhijskoj razini na kojoj se donose odluke o akcijama na temelju rasporeda opsega obavljenih radova s planskim veličinama.

5.3.1. Pripremni radovi

Najvažniji korak u pripremnoj fazi gradjenja dalekovoda je planiranje samog procesa gradjenja. Očito je dakle da prije samog operativnog procesa organizacije gradjenja objekta na terenu treba punu pažnju posvetiti tehničko-pripremnom procesu planiranja. Suvremeni pristup u organizaciji gradjevno-montažne djelatnosti podrazumijeva primjenu najnovije tehnike mrežnog planiranja (TMP).

Mrežni plan predstavlja tehnološki model projekta i omogućuje sagledavanje vremenskog toka odvijanja svih radova. U pravilu rad na TMP predstavlja timski rad i u njemu trebaju sudjelovati, uz neposredne izvršioce s gradilišta, stručnjaci iz posebno organizirane tehničke pripreme rada.

Cilj izrade mrežnog plana je pronalaženje optimuma u načinu i redoslijedu izvršenja nekog projekta.

U nastavku je prikazan redoslijed aktivnosti pri gradjenju dalekovoda, zatim grafički prikaz analize toka aktivnosti, odnosno određivanje kritičnih aktivnosti i njihova redoslijeda.

Trajanje pojedine aktivnosti nije naznačeno jer se može upisati samo za određenu situaciju na poznatom objektu.

Kvalitetno planiranje i organizacija imaju za cilj optimalizaciju odnosa vrijeme-troškovi, što omogućuje utvrđivanje najpovoljnijeg roka gradjenja odnosno pronalaženje nekog kraćeg roka uz najmanje povećanje troškova.

Izradom paralelnog dinamičkog plana (gantograma) definiramo početak i završetak rada na pojedinoj fazi te intenzitet izvršenja.

Gantogram je, zbog svoje preglednosti, vrlo pogodan kod gradjenja dalekovoda. Redoslijed aktivnosti, kako slijedi.

A. Redoslijed aktivnosti

Uvjeti za početak aktivnosti:

- a) tehnička dokumentacija
- b) potpisani ugovori (okvirni operativni plan)
- c) gradjevinska dozvola
- d) osiguranje sredstava (financijskih)

Pripremni radovi:

1. Organizacija gradilišta
 - lokacija baze i uređenje skladišnog prostora
 - kolčenje stupnih mjesta
 - obilježavanje pristupnih putova
 - popuna potrebnim alatom
 - organizacija smještaja i prehrane
2. Narudžba osnovnog materijala
 - konstrukcija
 - armatura
 - oplata
 - traka za uzemljenje
 - vodiči i zaštitno užje
 - izolatori
 - ovjesni materijal
 - cement
 - šljunak (nalazište i organizacija transporta)
3. Nužni pripremni radovi prije početka kritičnih aktivnosti
 - izrada prilaznih putova (djelomično)
 - izrada šumskog prosjeka (djelomično)
4. Izrada gantograma radova koji sadrži
 - početak i kraj aktivnosti po fazama
 - plan izvršenja u naturalnim pokazateljima za svaki mjesec
 - plan priliva sredstava (realizacije)
 - broj radnika za izvršenje svake faze

Napomena: Narudžbe osnovnih materijala obaviti odmah po potpisivanju ugovora kako bi pošiljke na vrijeme pristizale. Naročito se to odnosi na konstrukciju.

B. Kritične aktivnosti

1. Organizacija gradilišta
2. Izrada prilaznih putova
3. Iskop temeljnih jama (uračunati m³ otkopa)
4. Ubacivanje temeljnih dijelova konstrukcije
5. Betoniranje temelja
6. Montaža stupova
7. Montaža izolatorskih lanaca
8. Montaža užadi
9. Završni radovi
10. Geodetska kontrola izvedenog stanja
11. Prijem objekta

C. Paralelne aktivnosti

1. Nabava osnovnog materijala
2. Kolčenje stupnih mjesta
3. Sortiranje konstrukcije
4. Transport materijala na stupna mjesta
5. Izrada šumskog prosjeka
6. Izrada uzemljenja i mjerenje otpora radi kontrole
7. Planiranje stupnih mjesta i odvoz viška materijala

Napomena: Ovisno o broju radnika na objektu pojedine kritične aktivnosti počinju prije završetka prethodne aktivnosti u onolikoj mjeri koliko to dopušta tehnološki proces (napr. zrelost betona, uklanjanje nedostataka i sl.).

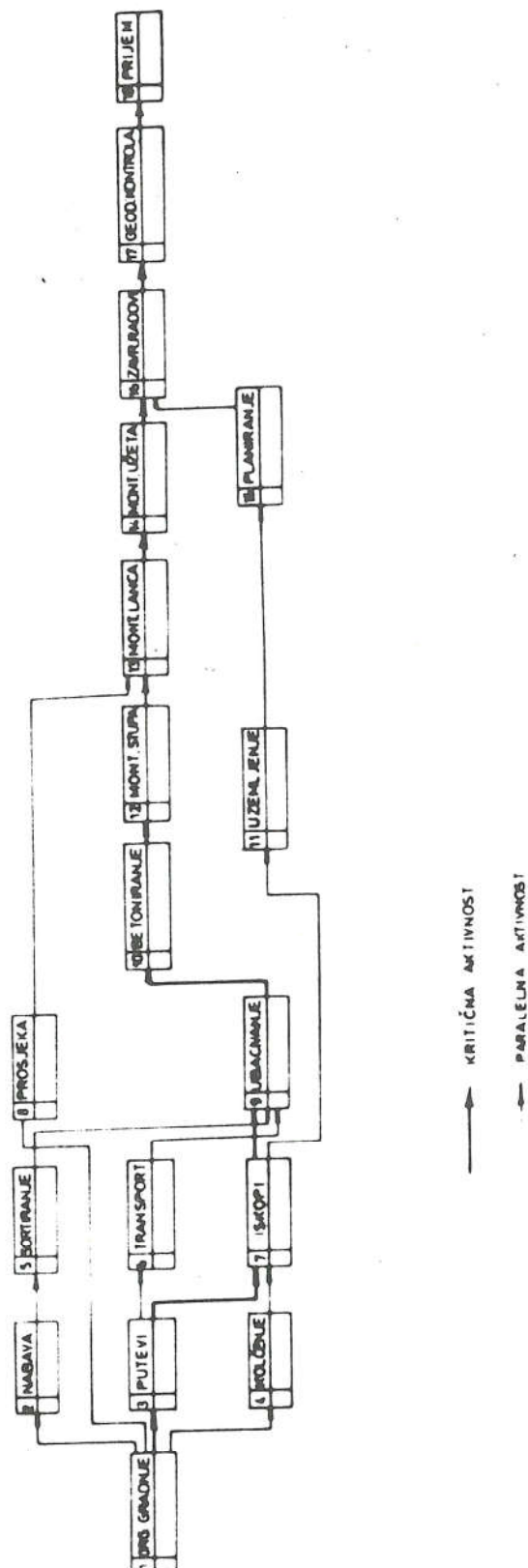
D. Redoslijed aktivnosti

- 1.* Organizacija gradilišta
2. Nabava osnovnog materijala
- 3.* Izrada prilaznih putova
4. Kolčenje stupnih mjesta
5. Sortiranje konstrukcije
6. Transport materijala na stupna mjesta
7. Iskop temeljnih jama (sa širokim otkopom)
- 8.* Izrada šumskog prosjeka
- 9.* Ubacivanje temeljnih dijelova konstrukcije
- 10.* Betoniranje temelja
11. Izrada uzemljenja
- 12.* Montaža stupova
- 13.* Montaža izolatorskih lanaca
- 14.* Montaža užadi
15. Planiranje stupnih mjesta i odvoz viška materijala
- 16.* Završni radovi (uklanjanje nedostataka)
- 17.* Geodetska kontrola (prijelazi preko objekata, kontrola provjesa, vertikalnost stupova)
- 18.* Prijem objekta

Napomena: Transporti materijala, iako su pod stavkom 6, odvijat će se paralelno s izvođenjem pojedinih faza kako bi se osigurao nesmetani rad, a izbjegla mogućnost otudjivanja.

* - označava kritičnu aktivnost

MREŽNI PLAN AKTIVNOSTI IZGRADNJE OBJEKTA



Mrežni plan aktivnosti izgradnje objekta
Sl. 5.4.

GANTOGRAM RADOVA

OV 110 KV POREČ - ROVINJ

OBJEKT: OV 110 KV POREČ-ROVINJ
INVESTITOR: "ELEKTROPREMOS" OPATIJA
IZVOĐAČ: DO "DALEKOVOD" ZAGREB
GRADILIŠTE: 226000 RIJEKA, FLEMEI
NOK IZGRADNJE: 31.09.1985. g.
UKUPNA INVESTICIJA: 265.764.234,00 din

M.T. 226045

FAZE RADA	KOLICINE	1985. god.						NOKLOVI PO FAZAMA	
		I	II	III	IV	V	VI	POČETAK RADOVA	ZAVRŠETAK RADOVA
PRILAZNI PUTEVI	47.825,03m ² 93 stupca	4.825,02 8	30.000 40	20.000 40	3.000.- 5			22.01.	10.04.
ISKOP TEMELJA	1.297,00m ³ 93 stupca	8	30	35	20			10.01.	24.04.
BETONIRANJE TEMELJA	908,80m ³ 93 stupca	25,0 3	250,0 30	350,0 30	233,80 25	50,0 5		15.01.	10.05
IZRADA UZEMLJENJA	6.290 m ² 93 stupca			1.500 20	3.000 40	1.790 33	PLANIRANJE	12.03.	19.06.
MONTAŽA STUPOVA	302.474 t 93 stupca		45.000 15	125.000 35	105.000 30	27.474 13	POPRAVCI	01.02.	25.06.
ELEKTROMONTAŽA	28.033 km 93 stupca				14.000 46	14.033 47	POPRAVCI	01.04.	25.06.
BROJ RADNIKA NA OBJEKTU		60	100	100	120	80	20		
PLANIRANI IZM. MJES. SITUACIJA	21.540.000	I KVARTAL '85						III KVARTAL '85	
		47.929.360,00 din						12.465.876,00 din	

Gantogram radova
SI.5.5.

5.3.2. Organizacija građevinskih radova

Najpovoljniji način organizacije u svrhu što ekonomičnijih efekata gradjenja predstavlja početak rada na sljedećoj fazi prije završetka prethodne faze. U većini slučajeva, naročito kod većih objekata, radovi se organiziraju u tom smislu (npr. nakon betoniranja temelja na dvadesetak stupova počinje se montažom konstrukcije). Kod ovakve organizacije mora se voditi računa o zrelosti betona, pregledu konstrukcije i uklanjanju nedostataka prije elektromontaže.

Obavezno treba izvršiti sve iskope gdje se koristi eksploziv prije montaže izolatorskih lanaca kako ne bi došlo do oštećenja.

Samo gradjenje ovisi o broju izvršilaca i raspoloživosti mehanizacije, odnosno o mogućnostima izvodjača u određenim momentima. Zato je preciznost u planiranju moguća jedino detaljnim poznavanjem svih parametara koji su potrebni pri izradi planova.

Udio mehanizacije skraćuje trajanje aktivnosti i umanjuje broj radnika u fazi iskopa na pristupačnim terenima.

Tabl. 5.1. prikazuje broj i strukturu radnika s potrebnom mehanizacijom za gradjenje prosječnog dalekovoda 110 kV u relacijama blizu optimuma ekonomičnosti gradjenja.

Broj radnika baziran je na tehnološkom procesu, količinama i normativima za pojedine faze radova.

Normativi su izvedeni iz prosječnih normi u građevinarstvu i iskustvenih normi stečenih u gradjenju dalekovoda.

Postoje razne varijacije s obzirom na broj izvršilaca, vrstu mehanizacije, odnosno mogućnost primjene mehanizacije, te količine iz predmjera radova i rokova izgradnje. Sve te veličine međusobno su ovisne.

Tablica 5.1.

Broj i struktura radnika

Osnovna postava gradilišta

- broj i struktura radnika
- vrsta potrebne mehanizacije

Red. br.	Vrsta aktivnosti	Broj i struktura radnika			Potrebna mehanizacija, alati i transportna vozila	Voditelji poslova
		VKV	KV	PK		
1.	Pripremni radovi i rad u bazi:					Ruk.objk.
	- iskol.st.mjesta		1	2	terensko vozilo	geodet
	- sort.,odvajanje i trans.konstr.	1	2	4	"HIAB",kamion,kiper	
	- sav. armature	1	2		stroj za razvl.i sav.	
2.	Izrada prist.put.	1	6	4	buldožer,rovokopač, kompresor,bušaći čekić,eksploziv brig.	
3.	Iskop temeljnih jama	1	7	20	kompresor,bušaći čekić,rovokopač vozila za prev.rad.	poslov.
4.	Ubaciv.tem.djelova				grupa iz baze vozilo za prev.rad.	
5.	Betoniranje tem.	2	4	12	miješalica za beton, vibrator,nabijač kamioni vozilo za prev.rad.	operat. tehničar
6.	Izrada uzemlj.				radnici iz prethodnih faza,meh. s iskopa vozilo za prijevoz radnika	brigadir
7.	Montaža stupova	3	20	4	montažna igla, vitlo na ručni pogon,vitlo motorno na vozilu, autodizalica,vozila za alat,vozilo za prijevoz radnika	brigadir
8.	Završni radovi				radnici iz prethodnih faza	geometar
		9	42	46		

Rekapitulacija potrebne radne snage:

VKV	9
KV	42
PK	46
poslovodja	1
operativni tehničar	1
geodeta	1
rukovoditelj objekta	1
Ukupno:	101 radnik

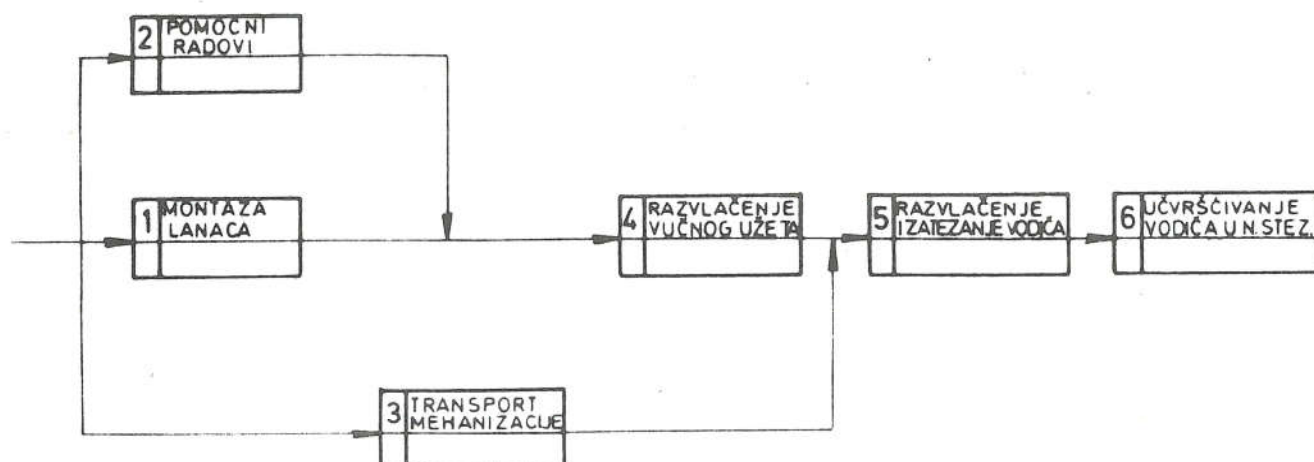
DV 110 kV (Srednje teški teren: izmjenjuju se ravničarske i brdovite dionice, lakopristupačna i nepristupačna stupna mjesta teren sa P.V i tereni IV. i V. kategorije složenosti).

Prema podacima o strukturi radne snage i mehanizacije iz tabl. 5.1 u skladu s važećim normativima, rezultirat će dovršenje građevinskih radova na DV 110 kV s približno 100 stupova u srednje teškom terenu, u roku od oko 4 mjeseca.

5.3.3. Organizacija elektromontažnih radova

Nakon kritične aktivnosti montaže stupova slijede kritične aktivnosti koje se odnose na elektromontažne radove na dalekovodu. Sve elektromontažne radove u jednom radnom polju možemo raščlaniti u nekoliko faza:

- armiranje stupova (postavljanje izolatorskih lanaca i zavješanja zaštitnog užeta)
- transport mehanizacije i alata
- pomoćni radovi (podizanje drvenih stupova na prijelazima objekata)
- transport i razvlačenje vučnog užeta za montažu
- razvlačenje i zatezanje vodiča i zaštitnog užeta, izrada strujnih mostova
- učvršćivanje užeta u nosne stezaljke



Shematski prikaz redoslijeda aktivnosti pri elektromontažnim radovima
Sl. 5.6.

U slici 5.6. shematski je prikazan redoslijed aktivnosti kod elektromontažnih radova u jednom radnom polju (radno polje ne mora uvijek odgovarati zateznom polju dalekovoda).

Budući da se montaža dalekovoda izvodi etapno, tj. u više radnih polja ovisno o duljini same trase, za očekivati je da će se ovakav redoslijed aktivnosti ponavljati za svako radno polje.

Medjutim zbog ekonomičnosti samog gradjenja, iskorištenja radnih kapaciteta i same mehanizacije te, na kraju, ispunjenja planiranih rokova, i ovdje treba naglasiti nužnost preklapanja pojedinih aktivnosti, tj. kod određene faze rada u n -tom radnom polju, izvršavaju se i potrebne pripremne aktivnosti u $n+1$ -om radnom polju. Ovo se inače pregledno prikazuje u rasčlanjenom operativnom planu izvodjenja elektromontažnih radova.

Sastav ekipe za montažu dalekovoda 110 kV je sljedeći:

4	KV	radnika
6	KV	radnika
12	PKV	radnika

22 radnika ukupno

Ovdje treba još pridodati poslovodju i operativnog tehničara u ekipi te voditelja objekta.

Ovaj izbor radne snage je optimalan s obzirom na iskustvene normative koji se primjenjuju kod izvedbe elektromontažnih radova i korištenu tehnologiju.

Što se tiče mehanizacije, za montažu dalekovoda 110 kV, nužno je imati sljedeća sredstva:

- mehanizacija za razvlačenje užadi (kočnica, vitlo za razvlačenje, vitlo za zatezanje užadi)
- razni pomoćni alati za montažu (hidraulične dizalice, pulifti, zatezači, preše, itd.)
- "Hiab" kamion s dizalicom nosivosti 5 tona
- kamion bez dizalice za prijevoz alata i materijala
- vozilo (kombi) za prijevoz radnika.

Na osnovi podataka iz iskustvenih normativa za elektromontažne radove na dalekovodu 110 kV, s punim sastavom ekipe i uz navedenu mehanizaciju, predviđa se prosječan iznos od oko 1 km kompletno izvršene montaže dalekovoda 110 kV po radnom danu (tj. za 8-satno radno vrijeme).

Pri izradi detaljnog operativnog plana za pojedine faze rada treba uzeti u obzir vremenske prilike u periodu montaže te preraspodjelu radnog vremena radnika.

5.4. TROŠKOVNIK

Na osnovi količine i vrste radova te načina i uvjeta gradjenja na određenoj i definiranoj trasi, utvrđuju se jedinične cijene pojedinih faza radova i ukupna vrijednost gradjenja. Osim utvrđivanja same cijene gradjenja da bi se dobio ukupan iznos potrebnih sredstava za gradjenje jednog objekta, potrebno je utvrditi i zavisne troškove. Zavisni troškovi sastoje se od troškova investitora, troškova organizacije nadzora, troškova uređenja i zahvata na drugim objektima, šteta, odšteta, pravo služnosti i drugih.

Da se utvrdi stvarna vrijednost gradjenja objekta potrebno je odrediti faze rada tako da se za svaku fazu rada daju vremena rada (prema važećim normativima) kako radne snage po kvalifikacijama, tako i potrebnih sredstava rada.

Osim određivanja potrebnih vremena rada radne snage i sredstava rada, potrebno je odrediti isto tako na osnovi normativa i materijale izrade i troškove transporta, kako vanjskog tako i unutarnjeg.

Ovako određene jedinice troškova (analiza cijene koštanja svake faze rada) su osnove za određivanje cijene koštanja gradjenja.

Osim toga analizom cijena pojedine faze te utvrđivanjem postotka udjela pojedinog rada u ukupnoj cijeni, može se koristiti za praćenje troškova i promjene cijena tokom gradjenja.

Dakle u glavnom projektu potrebno je razraditi predmjer radova i normative rada, kako radne snage tako sredstava rada i materijala izrade, te transporta, vanjskog i unutarnjeg, za svaku fazu i vrstu rada.

Iz predmjera radova te jediničnih cijena sačini se troškovnik po obimu i vrsti radova jednog objekta, koji sadrži sljedeće faze rada:

a) Gradjevinski radovi

1. Pripremno-završni radovi - jedinica obračuna km
2. Izrada pristupnih putova - jedinica obračuna m^2
3. Sječa šume i raslinja - jedinica obračuna m^2
4. Izravnaje terena na stupnom mjestu - jedinica obračuna m^3
5. Iskop temelja stupova (prema kategorijama terena) - jedinica obračuna m^3
6. Razupiranje temelja - jedinica obračuna m^2
7. Izrada i ugradnja betona - jedinica obračuna m^3
8. Dobava izrada i montaža betonskog čelika - jedinica obračuna kg
9. Dobava, izrada i ugradnja oplata betona temelja - jedinica obračuna m^3
10. Izrada stupova (vruće pocinčanih ili minimiziranih) - jedinica obračuna kg
11. Transport i montaža stupova - jedinica obračuna kg
12. Antikoroziivna zaštita montiranih stupova na trasi - jedinica obračuna kg
13. Iskop rova uzemljenja - jedinice obračuna m^3
14. Dobava, ugradnja uzemljenja sa spojnim materijalom - jedinica obračuna m
15. Nasipavanje i planiranje iskopa s nabijanjem - jedinica obračuna m^3
16. Odvoz materijala iskopa - jedinica obračuna m^3/km
17. Dobava i ugradnja opomenskih tablica i tablica upozorenja - jedinica obračuna kom.

b. Elektromontažni radovi

18. Pripremno završni radovi - jedinica obračuna km
19. Dobava izolatora - jedinica obračuna kom
20. Dobava vodiča i zaštitnih užeta - jedinica obračuna kg
21. Dobava izolatorskih lanaca - jedinica obračuna tip/kom
22. Spojni materijal - jedinica obračuna kom
23. Montaža izolatorskih lanaca - jedinica obračuna stup
24. Montaža vodiča i zaštitne užadi - jedinica obračuna km.

Na osnovi ovako formiranog troškovnika s detaljnim, opisom radova svake faze rada utvrđuje se cijena koštanja izgradnje jednog dalekovoda.

Isto tako na temelju ovako sačinjenog troškovnika i mrežnog plana (ili gantograma) napredovanja radova utvrđuje se dinamika utroška financijskih sredstava i udio pojedine faze ili materijala u odnosu na ukupnu cijenu.

5.5. PRIKAZ RELATIVNIH CIJENA U TROŠKOVNIKU

U tabl. 5.2. prikazan je jedinični predmjer jednostrukog dalekovoda za opterećenje vjetrom 600 N/m^2 i dodatni teret $1,0 \times 0,18 \sqrt{d}$ do opterećenja vjetrom 1300 N/m^2 i dodatnim teretom $2,5 \times 0,18 \sqrt{d}$.

Ovakav jedinični predmjer načinjen je na osnovi projektiranih i izgrađenih dalekovoda za sve četiri zone vjetra te prosječne duljine dalekovoda preko deset kilometara. Izrađen je za prosječne uvjete na trasi dalekovoda dok nisu obuhvaćeni posebni zahtjevi, kako po vrsti tako i količini radova. Pod vrstom radova nisu tretirana specijalna temeljenja, posebno antikorozivna zaštita konstrukcije stupova u naročito zagađenim zonama i priobalnom pojasu, te naročito teški i neprohodni tereni i dalekovodi koji prolaze gusto naseljenim predjelima i krajevima.

U tabl. 5.3. prikazan je jedinični predmjer radova dvostrukog dalekovoda uz opterećenje vjetrom od 600 N/m^2 i dodatni teret $1,0 \times 0,18 \sqrt{d}$ do opterećenja vjetrom 1300 N/m^2 i dodatni teret $1,6 \times 0,18 \sqrt{d}$. Također je i ovaj predmjer za jedan kilometar dalekovoda sačinjen za prosječne uvjete na trasi dalekovoda.

Analizom cijena građenja već izgrađenih i projektiranih dalekovoda, kako jednostrukih tako i dvostrukih, utvrđeni su relativni odnosi pojedinih vrsta (faza) radova u ukupnoj cijeni, a u tabl. 5.4. i 5.5. prikazani su u postotku u odnosu na ukupnu cijenu.

U tabl. 5.4. i 5.5. prikazani su postotni odnosi pojedinih radova za opterećenje vjetrom 600 N/m^2 i dodatni teret $1,0 \times 0,18 \sqrt{d}$ te opterećenje vjetrom 1300 N/m^2 i dodatnim teretom $2,5 \times 0,18 \sqrt{d}$, dakle granična opterećenja.

Tablica 5.2.

Predmjer radova za jedinicu duljine km
 DV 110 kV 3 x 240/40 mm² Al/Č + 1 x AlMg1E/Č 95/55 mm²

Vrste radova	Jed. mjere	Opterećenje (vjetar/led)			
		600 N/m ² 1,0x0,18√d	900 N/m ² 1,6xo,18√d	1100 N/m ² 1,6xo,18√d	1300 N/m ² 2,5x0,18√d
Pripremno završni rad.	km	1,00	1,00	1,00	1,00
Izrada pril.putova	m ²	500	820	2 500	3 300
Iskop temelja III. ktg.	m ³	115	20	1	-
Iskop temelja IV. ktg.	m ³	-	30	-	17,80
Iskop temelja V. ktg.	m ³	-	-	-	15,40
Iskop temelja VI. ktg.	m ³	-	15	33	16,70
Plan. terena na stup.mjestu	m ³	-	6	10	21
Razupiranje temelja	m ²	172	7	-	-
Izrada oplata bet.temelja	m ²	120	100	8	8
Izrada i post.armature	kg	676	867	676	655
Betoniranje temelja	m ³	60	38	23	33
Nasipanje i planiranje	m ³	115	65	44	49,9
Izrada i mont. poc.čelič.rešet. stupova	kg	8 150	10 762	11 448	15 098
Izrada uzemljenja	m	140	275	330	350
Dobava užeta Al/Č 240/40	kg	3 131	3 109	3 109	3 100
Dobava zaš.užet. AlMg1E/Č 95/55	kg	761	743	746	736

Vrsta radova	Jed. mjere	Opterećenje (vjetar/led)			
		600 N/m ² 1,0x0,18√d	900 N/m ² 1,6x0,18√d	1100 N/m ² 1,6x0,18√d	1300 N/m ² 2,5x0,18√d
Dobava izolatora	kom	96	124	94	135
Dobava izol. lanaca L i Lp	kom	6,5	6,70	1,4	5
Dobava izol. lanaca DL i DLp	kom	1,07	1,80	-	0,8
Dobava izol. lanaca Z i Zp	kom	2,15	3,36	3,44	10,80
Dobava izol. lanaca DZ i DZp	kom	1,07	1,3	0,69	0,40
Dobava spoj. za nast.užeta	kom	6,45	3,01	5,96	3,80
Dobava spoj. za zaš.uže	kom	2,15	1,00	2,03	3,75
Montaža izol.lanaca	kom	2,95	3,60	3,40	3,75
Montaža užeta	kom	1,00	1,00	1,00	1,00

Tablica 5.3.

Predmjer radova za jedinicu duljine KM
 DV 2 x 110 kV 2 x 3 Al/Č 240/40 mm² + 1·AlMg1E/Č 95/55 mm²

Vrste radova	Jed. mjere	Opterećenje (vjetar/led)			
		600 N/m ² 1,0x0,18 $\sqrt{d}$	900 N/m ² 1,6x0,18 $\sqrt{d}$	1100 N/m ² 1,6 x0,18 $\sqrt{d}$	1300 N/m ² 2,5x0,18 $\sqrt{d}$
Pripremno zav.radovi	kom	1,0	1,0	1,0	1,0
Izrada pril. putova	m ³	500	900	3 000	3 300
Iskop temelja III. ktg.	m ³	95	30	-	-
Iskpo temelja III. ktg. + pv	m ³	60	40	-	-
Iskop temelja IV. ktg.	m ³	-	-	68,8	13,3
Iskop temelja V. ktg.	m ³	-	-	18,3	5,0
Iskop temelja VI ktg.	m ³	-	20	20,0	27,9
Plan.ter.na stup.mjestu	m ³	-	10	20,0	12,0
Razup.temelja	m ²	210	180	-	-
Izrada oplat. bet.temelja	m ³	180	160	12	12
Izrada i post. armat.temelja	kg	820	900	970	1298
Bet.temelja	m ³	90	80	51,9	39,3
Nasip. i plan.	m ³	155	92	89,1	56
Izrada i mont. poc.čelič.reš. stupova	kg	12164	17820	21360	25112
Izrada uzem. stupova	m	140	180	215	455
Dobava užeta Al/Č 240/40	kg	6220	6220	6220	6220
Dobava zašt. užeta					
AlMg1E/Č 95/55	kg	761	761	761	761
Dobava izol.	kom	163	245	307	384

(nastavak)

Vrste radova	Jed. mjere	Opterećenje (vjetar/led)			
		600 N/m ² 1,0x0,18 d	900 N/m ² 1,6x0,18 d	1100 N/m ² 1,6x0,18 d	1300 N/m ² 2,5x0,18 d
Dobava izol. lanaca L i Lp	kom	13,5	13,5	11,76	8,1
Dobava izol. lanaca DL i Dlp	kom	1,0	1,3	3,30	1,8
Dobava izol. lanaca Z i Zp	kom	3,80	3,90	9,65	20,3
Dobava izol. lanaca DZ i DZp	kom	0,25	0,60	5,12	5,86
Dobava spoj. za nast.užeta	kom	6,40	6,40	13	13
Dobava spoj.za nast.zaštitne užadi	kom	1,0	1,0	1,0	1,0
Montaža izol. lanaca	kom	2,76	2,95	3,76	3,76
Montaža užeta	kom	1,0	1,0	1,0	1,0

Tablica 5.4.

Postotak cijene koji otpada na pojedinu fazu rada (jedna trojka)

Faza rada	Opterećenje	
	Vjetar 600 N/m ² d.t. 1,0x0,18√d %	Vjetar 1 300 N/m ² d.t. 2,5x0,18√d %
1. Pripremno-završni radovi, iskop, nasip. planiranje, izrada prilaznih putova	12,04	24,97
2. Betoniranje temelja uključena armatura i oplata	9,78	4,32
3. Izrada stupova	26,54	24,45
4. Montaža stupova	8,44	6,97
5. Izrada uzemljenja	2,42	12,72
6. Izolatori	3,15	2,48
7. Užad	26,22	15,98
8. Spojna i ovjesna oprema	1,87	2,11
9. Radovi elektromontaže	9,54	6,00

Tablica 5.5.

Postotak cijene koji otpada na pojedinu fazu rada (dvije trojke)
DV 2x110 kV 2x3 Al/Č 240/40 + AlMg1E/Č 95/55 mm²

Faza rada	Opterećenje	
	Vjetar 600 N/m ² d.t. 1,0x0,18√d %	Vjetar 1 300 N/m ² d.t. 2,5x0,18√d %
1. Pripremno-završni radovi, iskop, nasip, planiranje, izrada prilaznih putova	9,73	17,37
2. Betoniranje temelja uključena armatura i oplata	11,03	6,68
3. Izrada stupova	23,47	30,77
4. Montaža stupova	6,70	8,79
5. Izrada uzemljenja	1,84	3,87
6. Izolatori	3,75	4,42
7. Užad	33,84	20,95
8. Spojna i ovjesna oprema	2,03	2,31
9. Radovi elektromontaže	7,61	4,84

6. ODRŽAVANJE I EKSPLOATACIJA DALEKOVODA

6.1. OPĆENITO O ODRŽAVANJU I EKSPLOATACIJI DALEKOVODA

Održavanje i eksploatacija dalekovoda obuhvaća sve aktivnosti koje se poduzimaju u svrhu da bi dalekovod bio trajno raspoloživ u tehnički ispravnom stanju, a sastoje se od:

- planiranja
- nadzora i kontrole dalekovoda u eksploataciji kroz praćenje: strujnog opterećenja dalekovoda, naponskih prilika na dalekovodu, atmosferskih prilika duž trase dalekovoda, djelovanja relejne zaštite, te raznih ostalih pokazatelja
- uzimanja uzoraka i ispitivanja materijala i opreme demontiranih sa dalekovoda u cilju dobivanja podataka o istrošenosti, promjeni kvalitete i funkcionalnosti ili potrebi eventualnog popravka ili zamjene
- redovitih pregleda, revizija i remonta kao konkretnih radova na dalekovodu
- rekonstrukcija i sanacija
- kontrole izvršenja planiranih i izvanrednih radova na dalekovodu
- vođenja dokumentacije o izvršenim radovima, pogonskim i ostalim događajima na dalekovodu.

O organizaciji, pravovremenosti, kvaliteti i savjesnosti izvršenja radova održavanja ovisi tehnička ispravnost i životna dob svakog pojedinog dalekovoda, a time i ispravnost, sposobnost i pouzdanost cijele elektroprijenosne mreže. O tim činiocima nadalje ovisi i količina i ravnomjernost utroška financijskih sredstava koja elektroprivredne organizacije i društvo u cjelini treba da ulažu u održavanje dalekovoda.

Održavanjem se stiječe iskustvo o kvaliteti i postojanosti pojedinog dijela opreme dalekovoda, i to raznim primjenjenim konstruktivnim, tehničkim i tehnološkim rješenjima, te se na osnovi toga mogu i moraju davati povratna uputstva i zahtjevi projektantima i graditeljima dalekovoda.

6.1.1. Organizatori i nosioci održavanja dalekovoda

U dosadašnjoj praksi u svakoj prijenosnoj organizaciji ZEOH-a utvrđena je tokom vremena neovisno o drugima određena praksa u organizaciji održavanja, koja uključuje i interne pravilnike i upute kojima se regulira ova materija. Zato i postoje izvjesne razlike u pristupu, rješavanju i dokumentaciji.

Sve ovo nalaže potrebu uvođenja jedinstvenog pravilnika o održavanju dalekovoda, kao sastavnog dijela ove Studije - projekta, kojim bi prijenosne organizacije utvrdile zajedničke temeljne kriterije.

Detaljne tehničke upute, organizacija i planiranje, osiguranje potrebnih finansijskih sredstava i nadzor nad izvođenjem radova, obavljat će svaka prijenosna organizacija za objekte koji su joj predani na upravljanje.

6.1.2. Dosadašnja praksa u održavanju

Svaka prijenosna organizacija je u većoj ili manjoj mjeri ekipirana za održavanje dalekovoda, a izvršenje radova održavanja odvija se na sljedeći način:

a) Prijenosna organizacija obavlja:

- nadzor, kontrolu ispravnosti i optimalnog korištenja dalekovoda
- redovne preglede, revizije i remonte
- sve manje radove održavanja dalekovoda,
- uzimanje uzoraka materijala i opreme u svrhu ispitivanja
- interventnu sječu na trasama dalekovoda
- utvrđivanje mjesta i obima kvara
- otklon manjih kvarova i
- drugo

b) RO specijalizirana za projektiranje i gradjenje:

- izmjenu zaštitne užadi dalekovoda
- izmjenu vodiča dalekovoda
- izradu tehničke dokumentacije za rekonstrukciju dalekovoda
- radove na rekonstrukciji dalekovoda
- sanaciju većih kvarova i šteta nastalih na dalekovodima
- izgradnju (ubacivanje) novih stupova u trasu dalekovoda zbog križanja ili prelaska preko drugih objekata
- razne druge veće specijalističke radove.

c) Ostale specijalizirane organizacije obavljaju:

- razna ispitivanja uzoraka materijala
- praćenje i analizu meteoroloških prilika uduž trase dalekovoda
- sistemsku sječu (odstranjivanje) šume i raslinja u dalekovodnim prosjekama
- antikorozivnu zaštitu konstrukcije stupova ličenjem i
- druge slične poslove.

6.1.3. Pristup održavanju u narednom periodu

Tipizacija nadzemnih vodova 110 kV u SR Hrvatskoj trebalo bi da osim projektiranja i izgradnje pojednostavni i održavanje dalekovoda u narednom periodu eksploatacije takvih vodova.

Pravilnik o održavanju nadzemnih vodova 110 kV dat će temeljne smjernice za održavanje, tj. odredit će potrebne radove i rokove u kojima ih je potrebno obavljati.

Pravilnik za ispitivanje materijala i opreme demontirane s dalekovoda u pogonu što ga je sastavila i predložila Radna grupa 22-04 Starenje materijala Studijskog komiteta 22 Nadzemni vodovi JUKO CIGRE, definira određene bitne tehničke uvjete održavanja pa se prihvaća kao jedna od referentnih podloga, bez obzira na činjenicu da je u fazi realizacije Studije bio tek u proceduri usaglašanja i usvajanja na razini JUGEL-a. Pridržavajući se ovog Pravilnika moći će se ubuduće na osnovi dobivenih rezultata ispitivanja preciznije i pravodobno planirati radove održavanja.

Nadalje, bilo bi korisno da se s vremenom uvede jedinstveni način evidencije svih osnovnih podataka o svakom izgrađenom dalekovodu i svim obavljenim radovima održavanja na njemu i termine kada su radovi obavljeni, a posebno evidencija kvarova, havarija i sanacija. Ako se ova evidencija provede na suvremeni način, putem računala, moći će se dobiti trenutačni uvid u stanje pojedinog dalekovoda. To će takodjer omogućiti jednostavno i brzo planiranje radova, materijala i potrebnih sredstava za održavanje. Osim toga moći će se međusobno uspoređivati iako će ih voditi svaki OOUR posebno.

Ubuduće bi bilo uputno uvesti redovnu primjenu korištenja helikoptera u svrhu održavanja dalekovoda. Dosadašnja praksa korištenja helikoptera pokazuje da je primjenom helikoptera moguće obaviti sljedeće radove:

- pregled dalekovoda u svrhu utvrđivanja općeg stanja dalekovoda i trase, a posebice utvrđivanja mjesta i broja raspuknutih (staklenih) izolatora, nedostajućih "dijagonala", raslinja na trasi i slično
- pregled dalekovoda nakon ispada iz pogona i opravdane sumnje u kvar, u svrhu utvrđivanja mjesta i obima oštećenja (zaštitno užje, vodiči, izolacija ili stupovi), čime se osobito kod duljih i značajnijih dalekovoda znatno dobiva na vremenu i organizaciji popravka, a naročito kod istodobnih kvarova na više dalekovoda, ili u zimskim uvjetima kada je teren teško prohodan
- transport materijala na stupna mjesta teško pristupačna kamionima ili drugim terenskim vozilima, a osobito u zimskim uvjetima ili slučajevima većih kvarova i popravka
- termovizijsko snimanje dalekovoda
- snimanje dalekovoda iz zraka fotoaparatom, filmskom kamerom ili videokamerom u svrhu izrade dokumentacije za razne izvještaje, edukaciju kadrova ili slično.

6.2. PRAVILNIK O ODRŽAVANJU NADZEMNIH VODOVA 110 kV ZA POTREBE ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA HRVATSKE

6.2.1. Opći dio

6.2.1.1. Uvod

Pravilnik o održavanju nadzemnih vodova 110 kV uskladjen je s odredbama Propisa o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja (Sl.list SFRJ br. 19/68.) i s svim ostalim pravilnicima i uputama koji određuju način eksploatacije i održavanja dalekovoda.

Pravilnik daje samo osnovne smjernice o pojmovima i organizaciji održavanja dalekovoda, dok ostali pravilnici i upute te važeći zakoni i propisi određuju detaljnije svu materiju vezanu za eksploataciju i pogon dalekovoda te zaštitu na radu.

Poseban dio ovog Pravilnika čini detaljan opis faza rada i rokova za preglede, revizije i remonte dalekovoda. Taj dio Pravilnika daje detaljne podloge za organizaciju, planiranje, izvršenje radova i kontrolu izvršenja radova.

6.2.1.2. Definicije pojmova

- a) PREGLED dalekovoda je utvrđivanje stanja i pogonske spremnosti dalekovoda u vremenskim rokovima određenim ovim Pravilnikom.

Na osnovi pregleda određuje se proširenje opsega poslova u redovnim revizijama i remontima i utvrđuje eventualna potreba izvanredne revizije ili remonta.

Pregled se obavlja za vrijeme dok je dalekovod u normalnom pogonu - pod naponom

- b) REVIZIJA je rad na otklanjanju pregledom utvrđenih nedostataka na dalekovodu i redovni, vremenskim rokovima i uputama proizvođača definirani radovi na izmjeni pojedinih dijelova, zatim radovi na uređenju trase dalekovoda i uzimanju uzoraka materijala i opreme u svrhu ispitivanja, s namjerom da se utvrdi kvaliteta, stupanj istrošenosti i potreba eventualne zamjene.

Revizija se obavlja u vrijeme dok je dalekovod isključen - beznaponsko stanje.

- c) REMONT je rad na većim popravcima, izmjenama i rekonstrukcijama temeljen višegodišnjim planom, u svrhu održavanja dalekovoda u tehnički ispravnom stanju u skladu s normama kvalitete i kapaciteta pogonskih potreba.

Remont se obavlja u vrijeme dok je dalekovod isključen - beznaponsko stanje

d) **ZONE OPASNOSTI.** Općenito se visokonaponska elektroenergetska postrojenja dijele ovisno o stupnju opasnosti, a radi jasnog određivanja prava kretanja osoblja unutar elektroenergetskog postrojenja, na tri zone i to:

- I. zona - zona slobodnog kretanja
- II. zona - zona kontrole i posluživanja
- III. zona - zona opasnosti, u kojoj je boravak i rad dozvoljen jedino uz "nalog za rad", "dozvolu za rad" i osiguranje mjesta rada.

Kod nadzemnih vodova 110 kV za pojedinu zonu treba uraditi sljedeće:

I. zona

U I. zonu spadaju zemljište ispod dalekovoda i dalekovodni stupovi do visine 3 m iznad tla. U I. zoni radovi se mogu obavljati bez "naloga za rad", a može ih obavljati i samo jedna osoba. Naprimjer, u I. zoni mogu se obavljati sljedeći radovi:

- određivanje stupnja truljenja drvenih stupova,
- pregled temelja stupova,
- čišćenje zemlje oko nogu stupova
- montaža i popravljivanje opomenskih tablica i brojeva
- čišćenje trase od raslinja
- mjerenje otpora uzemljenja
- pregled dalekovoda.

II. zona

U II. zonu spadaju stupovi dalekovoda od visine 3 m iznad tla do visine koja je udaljena 2 m od ravnine najdonjeg vodiča (vidi sliku) ili do dijelova stupova koji su udaljeni 3.5 m od vodiča pod naponom. U II. zoni dozvoljeno je kretanje samo onim osobama koje su stručno osposobljene i upućene u opasnost, kako ne bi došlo do neželjene nezgode, tj. do nedozvoljenog približavanja dijelovima pod naponom, pojedinim dijelovima tijela ili dugačkim predmetima ili alatima. Poželjno je da granica II. i III. zone bude vidljivo i jasno označena ili bojom, ili trakom ili zastavicama, koje se postavljaju prije početka radova. Primjera radi, u drugoj zoni mogu se obavljati sljedeći radovi:

- zamjene pojedinih dijagonala stupova
- kontrola i pregled vijčanih spojeva
- ličenje stupova

III. zona

U III. zonu spadaju dijelovi dalekovodnih stupova iznad područja II. zone, odnosno prostor oko dijelova pod naponom na udaljenosti manjoj od sigurnosnog razmaka. Prije ulaska u III. zonu dalekovod treba isključiti iz pogona. U III zoni (zoni opasnosti) trebaju raditi najmanje dvojica radnika.

Izuzetak čine određene vrste radova u "glavi" stupa, pri kojima je sigurnosni razmak veći ili jednak 2 m. Takvi radovi i uvjeti takvog rada opisani su pod naslovom Radovi u neposrednoj blizini "zone opasnosti"

e) Radovi u neposrednoj blizini "zone opasnosti"

Ako su razmaci između vodiča pod naponom i konstrukcije stupa dovoljno veliki, izvježbani radnik moći će se sigurno popeti na vrh stupa ili raditi u glavi stupa sljedeće radove:

- gornji pregled stupa, vodiča, zaštitnog užeta i ovjesnog materijala
- pritezanje matica na trupu stupa (ali ne na konzolama)
- postavljanje i skidanje feromagnetskih štapića
- ispitivanje izolatora s izolatorskom motkom

Između tijela radnika i vodiča pod naponom mora uvijek biti osigurana sigurnosna udaljenost od 2 m, a radnik smije koristiti alat maksimalne duljine 30 cm. Nije dozvoljeno korištenje dopunskog užeta zaštitnog opasača. Nisu dozvoljeni radovi pri jačem vjetru, magli, kiši, snijegu, temperaturi nižoj od 18° C, ni radovi noću. Na tom poslu istodobno mogu biti najviše dva radnika, a jedan ih mora neprekidno neposredno nadzirati, te ih u slučaju potrebe pravodobno zaustaviti.

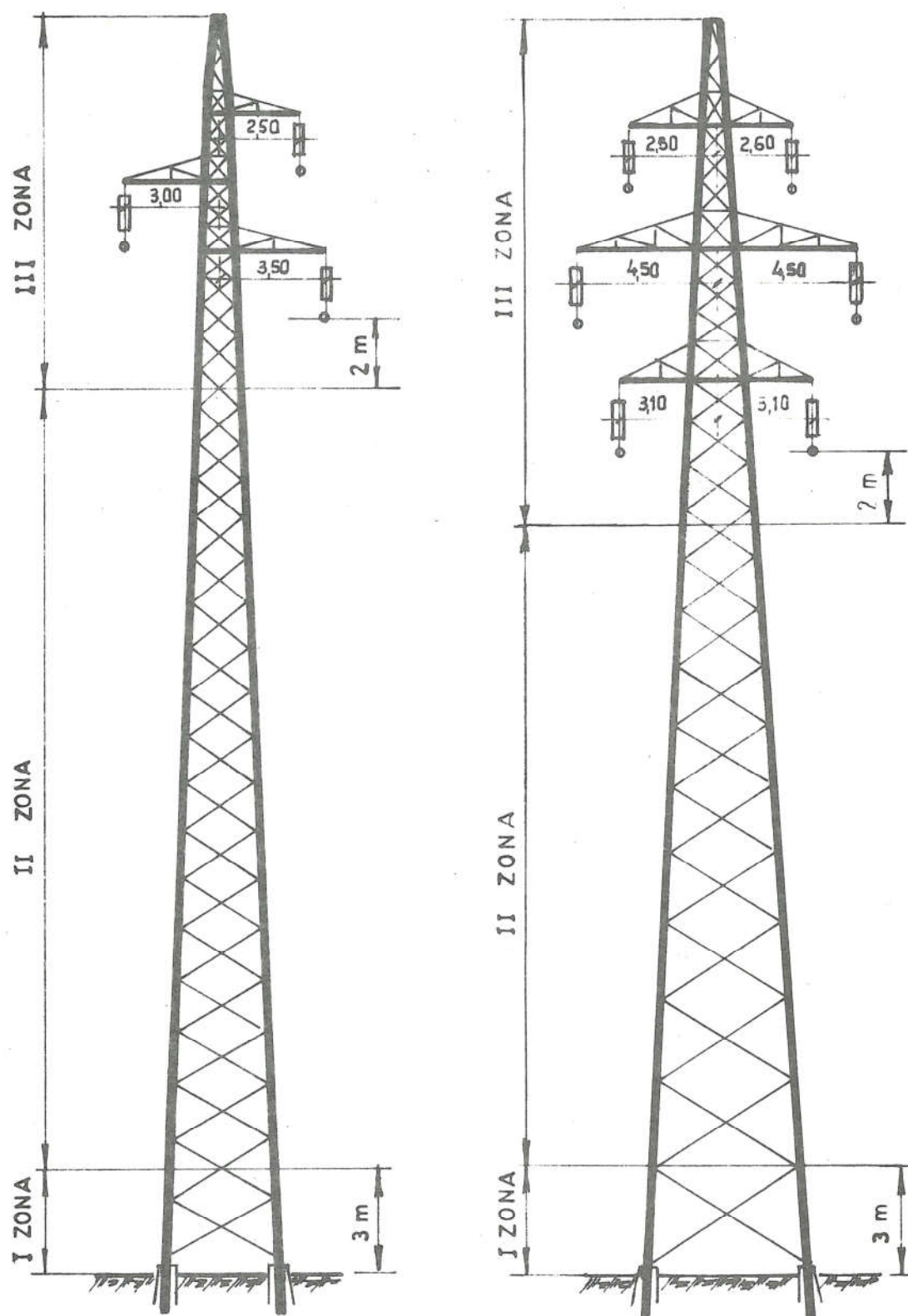
f) Radovi na dvosistemskim dalekovodima kada je jedan sistem pod naponom

Ovi radovi mogući su samo onda ako je između oba sistema dovoljan sigurnosni razmak, tj. ako je između najbližih faznih vodiča minimalni razmak 4 m. Primjera radi, mogu se obavljati sljedeći radovi:

- ličenje konstrukcije
- zamjena izolatora i ovjesnog materijala
- pritezanje matica
- popravci stupnih mostova.

Radovi se mogu obavljati samo danju, po suhom i mirnom vremenu. Prije početka radova treba provesti sljedeće dopunske mjere:

- provjeriti beznaponsko stanje
- uzemljenje i kratko spajanje faznih vodiča na mjestu rada, a istodobno se smije raditi samo na jednom mjestu
- sistem koji je isključen nesmije biti uzemljen na krajevima dalekovoda,
- sistem koji je isključen mora biti jasno označen zelenim zastavicama, a sistem koji se nalazi pod naponom crvenim zastavicama. Zastavice se stavljaju ispred najdonje konzole na bočnim stranama stupa.
- u slučaju razdvajanja strujnog mosta nužno je prethodno uzemljiti oba kraja vodiča kod rastavnog mjesta.



Podjela dalekovodnog stupa na zone
Sl. 6.1.

g) *Dokumenti za rad*

- Nalog za rad

To je dokument kojim nadležni rukovodilac određuje odgovornu stručnu osobu za izvršenje konkretnog rada.

- Dozvola za rad

Izdaje se za radove u beznaponskom stanju u III zoni i za radove u blizini napona ako se radi omogućavanja sigurnog rada mora primjenivati bilo koja mjera osiguranja mjesta rada.

- Obavijest o završetku rada

Obavijest o završetku rada podnosi odgovorna stručna osoba nakon što su radovi završeni, uklonjen sav alat, materijal i zaštitna oprema, a svi radnici udaljeni s mjesta rada te je dalekovod spreman za pogon.

f) *Rukovodilac radova*

To je odgovorna stručna osoba kojoj je povjereno da sa svojom ekipom ili samostalno izvrši rad, odnosno nadzire rad na dalekovodu, što se utvrđuje u dokumentu za rad.

i) *Mjesto rada*

Mjesto rada je prostor u kojem izvršilac obavlja radni zadatak.

Osigurati mjesto rada znači primijeniti određeni postupak, zaštitnu opremu i sredstva osobne zaštite na radu u cilju sprječavanja nezgode na radu.

j) *Sigurnosna udaljenost*

To je najmanja dozvoljena udaljenost vodiča (u bilo kojem pravcu), odnosno dijelova pod naponom od zemlje ili nekog objekta na zemlji pri provjesu +40°Ci opterećenju od vjetra od nule do punog iznosa.

k) *Sigurnosni razmak*

Sigurnosni razmak je minimalni dozvoljeni razmak između dijelova pod naponom i bilo kojeg dijela tijela radnika, odnosno neizoliranog alata ili opreme kojom se radnik služi, a za napon 110 kV iznosi 2 m.

6.2.1.3. Opseg primjene Pravilnika

Ovim Pravilnikom određuju se i opisuju svi radovi i rokovi za redovno održavanje dalekovoda.

U slučaju izvanrednih pogonskih uvjeta i većih kvarova može se odstupiti od pojedinih radova i rokova određenih ovim Pravilnikom, pri čemu treba uvažiti sljedeće:

- važnost dalekovoda za elektroenergetski sistem
- tehničko stanje dalekovoda s obzirom na planirane radove i rezultate prethodnih pregleda i ispitivanja uzetih uzoraka
- vremenske uvjete za rad
- terminske uvjete za rad
- terminske mogućnosti pomaka radova obzirom na stanje dalekovoda
- potreban vremenski rok za izvršenje radova, raspoloživa financijska sredstva
- potrebnu preventivu radi izbjegavanja većih kvarova zbog nepravilnog održavanja.

6.2.1.4. Organizacija rada

Svi radovi na održavanju dalekovoda organiziraju se u širem smislu u sektoru eksploatacije pojedinog QOUR-a, odnosno u onim organizacionim jedinicama koje tretiraju sljedeću problematiku:

- priprema rada
- ekipa za održavanje dalekovoda
- građevinsko održavanje
- mehanička i bravarska radionica
- alatnica
- relejna zaštita
- mjerenje i baždarenje
- informacijski sustav koji uključuje: UKV, VF i interne PTT-veze i automatizaciju
- vođenje statistike i dokumentacije o radu i ponašanju svih dalekovoda
- pogonska problematika i dokumentacija za održavanje dalekovoda
- lokalno i daljinsko upravljanje.

Svaka od ovih organizacionih jedinica ima svoj djelokrug rada, ali je za uspješnu organizaciju pojedinih radova nužna koordinacija svih organizacionih jedinica, zatim suradnja s organizacionim jedinicama transporta, skladišta, nabave i dr., te s referentom zaštite na radu i, naravno, s lokalnom dispečerskom službom (CDU), dispečerskim službama elektrodistributivnih organizacija i dispečerskom službom republike (DC ZEOH).

6.2.1.5. Planiranje i priprema rada

Planiranje radova održavanja prema ovom Pravilniku obuhvaća:

- troškovno planiranje i
- operativno planiranje

a) Troškovno planiranje provodi se za:

- petogodišnji plan investicionog održavanja
- petogodišnji plan zamjena i rekonstrukcija
- godišnji plan investicionog održavanja
- godišnji plan zamjena i rekonstrukcija

Sve ove planove odobrava radnički savjet OOUR-a.

b) Operativno planiranje obuhvaća

- tjedne planove rada
- mjesečne planove rada
- godišnje planove rada

Tjedne i mjesečne planove rada izrađuje svaka organizaciona jedinica sektora eksploatacije prema odobrenim troškovnim planovima i odredbama ovog Pravilnika. Oni su detaljni, s opisom i rokom izvršenja radova.

Godišnji planovi organizacionih jedinica izrađuju se kao okvirni planovi uz sva nužna usuglašenja svih organizacionih jedinica koje u njihovu izvršenju sudjeluju, monterima OOUR-a te Dispečerskom službom ZEOH-a i susjednim elektroprivrednim organizacijama.

Izmjene ovih planova moraju se pismeno obrazložiti, a izmijenjeni planovi moraju biti potvrđeni od odgovornih osoba ili radničkog savjeta OOUR-a prema nadležnosti.

c) Pripremni i završni radovi

Za sve planirane i izvanredne radove Priprema rada, odnosno rukovodilac organizacione jedinice izdaje "Program radova" u kojem određuje:

- naziv rada
- mjesto rada
- odgovorni rukovodilac radova
- predviđeno trajanje radova u danima
- vrijeme početka i predviđenog završetka radova
- opis radnog zadatka (popis i redoslijed poslova)
- predviđeni utrošak radnih sati, odnosno radnika - dana
- angažiranje ostalih službi ili stranih izvođača
- potrebni materijal
- potreban posebni alat, instrumenti i oprema
- potrebna vozila
- konto troškova

Za manje radove i radove kod kojih nije nužno iskopčavanje dalekovoda "program radova" saopćava se usmeno.

Kod većih radova, za koje je nužno iskopčanje dalekovoda, i kod radova u kojima sudjeluje više ekipa jedne ili više organizacionih jedinica "program radova" mora se izdati pismeno. Potpisuju ga nosioci i organizatori poslova svih radnih jedinica koje sudjeluju u radu.

Nosiocu i organizatoru poslova izdaje se "nalog za rad" kojim ga se imenuje za odgovornog rukovodioca radova. Na osnovi "nalog za rad" odgovorni rukovodilac radova traži od DC ZEOH-a isključenje i obostrano uzemljenje dalekovoda. Kada je to obavljeno, dežurni dispečer izdaje "dozvolu za rad". Pošto ga primi, odgovorni rukovodilac radova dužan je rasporediti izvršioca na mjesto rada i provjeriti da li su i na mjestu rada izvršene sve mjere pripreme za rad, siguran rad i zaštita na radu. Tek tada se može pristupiti radu.

Nakon dovršenja rada odgovorni rukovodilac radova provjerava da li su svi izvršioci rada povučeni sa svih mjesta rada i da li su skinute mjere zaštite na svim mjestima rada, a nakon toga dežurnom dispečeru izdaje "obavijest o završetku radova".

Sve ove mjere moraju se provoditi prema važećim propisima i internim uputama kojima se te mjere i njihov redoslijed reguliraju.

Po izvršenju radova odgovorni rukovodilac radova mora podnijeti usmeni ili pismeni izvještaj (ovisno kako je primio "program radova") o izvršenju radova, a naročito o uzrocima eventualnih odstupanja od zadanih radova.

6.2.1.6. Kontrola izvršenja radova

Izvršeni radovi i radovi u toku moraju se kontrolirati radi:

- opsega i kvalitete izvršenja
- izvršenja svih mjera sigurnosti
- evidencije radova po planovima
- popune i ispravka tehničke dokumentacije
- pripreme i planiranja daljnjih radova

6.2.1.7. Dokumentacija o izvršenim radovima

Dokumentaciju održavanja čine:

- planovi rada
- programi radova, nalozi za rad i obavijesti o završetku rada
- radni nalozi
- izvještaji o izvršenju planskih radova, otklanjanju kvarova, rekonstrukcijama, zamjenama i ostalom
- atesti opreme, materijala, alata i pribora
- nacrti, sheme i karte
- projekti ili dijelovi projekata
- dozvole, suglasnosti, zapisnici i ostalo
- dnevni pogonski izvještaji
- izvještaji o pogonskoj spremnosti.

6.2.2. Radovi i rokovi održavanja

Da se dobije bolji pregled radova koji su potrebni za redovnu kontrolu, reviziju i remont dalekovoda sastavljene su tabl. 6.1. do 6.6. Tablice su svrstane prema materijalu stupova: drvo, beton, čelik. Posebna se tablica odnosi na redovne preglede, a posebna na remonte.

Legenda oznaka rokova održavanja u tablicama:

D =dnevno
T =tjedno
M =mjesečno
G =godišnje
3M=tromjesečno
6M=šestomjesečno
2G =dvogodišnje
5G =petogodišnje

Tablica 6.1.

Dalekovodi na drvenim stupovima - pregledi

POPIS RADOVA	Rokovi	
	Pregled	Revizija
- provjera nagnutosti stupa	3 M	
- provjera nakrivljenosti konzola	3 M	
- provjera vanjskih oštećenja stupa	3 M	
- provjera vanjskih onečišćenja izolatora	3 M	
- provjera stanja ispravnosti nogara	3 M	
- provjera stanja zemljišta oko stupa (slijeganje, erozija, raslinje)	3 M	
- provjera vanjskih oštećenja vodiča i zaštitne užadi	3 M	
- provjera stanja ovjesnog pribora	3 M	
- provjera stanja dozemnih vodiča i spojeva	3 M	
- pregled tablica upozorenja i broja stupa	3 M	
- provjera trase voda (novi objekti, nasipi odroni, šuma, šikara)	3 M	
- provjera trulosti stupa i nogara u donjem dijelu (otkop zemlje oko stupa)	2 G	
- mjerenja otpora uzemljenja		5 G

Dalekovodi na drvenim stupovima - remont

POPIS RADOVA	Rokovi	
	Revizija	Remont
a) Stupovi		
- pregled gornjih djelova stupova		2 G
- pregled čeličnog spojnog materijala gornjeg djela stupa		2 G
- zamjena oštećenih i trulih stupova, konzola, prečki dijagonala		2 G
- zamjena impregnacijske zaštite (bandaže, kape)		po potrebi
- zamjena trulih i dotrajalih nogara svih vrsta		2 G
- zamjena korodiranih željeznih konzola i vijačnih spojeva		2 G
- pritezanje olabavljenih vijačnih spojeva i učvršćivanje točkanjem		2 G
- pritezanje ili zamjena oštećenih obujmica i vijaka na nogarima		2 G
- čišćenje i bojanje željeznih konstrukcija i spojeva		8 G
- nadomještanje ili zamjena oštećenih tablica, upozorenja i broja tablica		2 G

(nastavak)

POPIS RADOVA	Rokovi	
	Revizija	Remont
b) Sidra		
- zatezanje ili zamjena sidra i pribora za zatezanje		2 G
- čišćenje i zaštitno premazivanje korodiranih dijelova sidra		2 G
- uklanjanje zemlje oko metalnog učvršćenja sidra na sidrene ploče (grede)		2 G
c) Izolatori		
- pregled izolatorskih lanaca i zamjena oštećenih i probijenih izolatora		4 G
- čišćenje izolatora		po potrebi
- uzimanje uzorka izolatora radi ispitivanja kvalitete		16 G
d) Ovjesni i spojni pribor		
- zamjena oštećenog ili jako korodiranog pribora za ovješanje i spajanje		4 G
- zamjena ili popravak zaštitnih prstenova i rogova		4 G
- zamjena oštećenih prigušivača titraja		4 G
- zamjena oštećenih odstoynika na užadi		4 G
- čišćenje i popravak ili zamjena svih vrsta stezaljki vodiča ili strujnih spojnica		4 G
- pritezanje svih vijačnih spojnica		4 G
- uzimanje uzorka pribora radi ispitivanja kvalitete		20 G

(nastavak)

POPIS RADOVA	Rokovi	
	Revizija	Remont
e) Vodiči i zaštitna užad		
- popravak manje oštećenih vodiča i zaštitne užadi		4 G
- zamjena jače oštećenih djelova vodiča i zaštitne užadi		4 G
- kontrola provjesa vodiča zaštitne užadi i regulacija prema potrebi		4 G
- uzimanje uzoraka vodiča i zaštitne užadi radi ispitivanja kavalitete		16 G
f) Uzemljenja		
- čišćenje spojeva dozemne užadi i zamjena po potrebi		4 G
- pritezanje mjernih spojeva		4 G
- otkop uzemljivača u zemlji, uzimanje uzoraka i zamjena po potrebi		16 G
- zamjena ili dopuna uzemljivača po potrebi nakon mjerenja otpora uzemljenja		5 G
g) Trasa voda		
- sječa granja i šikare u trasi voda-vod pod naponom	2 G	
- čišćenje i održavanje pristupnih putova i staza do stupova	2 G	
- sječa stabala i visokih grana		4 G
- vod isključen		
- prilagođavanje mehaničke i električke sigurnosti voda zbog novoizgrađenih objekata u trasi voda i sl.		po potrebi

Tablica 6.3.

Dalekovodi na betonskim stupovima - pregledi

POPIS RADOVA	Rokovi	
	Pregled	Revizija
- provjera nagnutosti stupa	6 M	
- provjera ispravnosti konzola	6 M	
- provjera vanjskih oštećenja stupa	6 M	
- provjera oštećenja konzola	6 M	
- provjera vanjskih oštećenja konzola	6 M	
- provjera vanjskih oštećenja i onečišćenja izolatora	6 M	
- provjera temelja i donjeg djela stupa (korozijska armatura, betonski plašt)	6 M	
- provjera stanja ovjesnog pribora	6 M	
- provjera stanja zemljišta oko stupa (slijeganje, erozija, raslinje)	6 M	
- provjera vanjskih oštećenja vodiča i zaštitne užadi	6 M	
- pregled tablica upozorenja i broja stupa	6 M	
- provjera trase voda (novi objekti, nasipi, odroni, šuma, šikara)	6 M	
- mjerenje otpora uzemljena voda		5 G

Tablica 6.4.

Dalekovodi na betonskim stupovima - remont

POPIS RADOVA	Rokovi	
	Revizija	Remont
a) Stupovi		
- popravak temelja i uređenje okoliša		4 G
- popravak stupa (pukotine, ljuštenje cementne površina, armatura)		4 G
- zamjena dotrajalih stupova		po potrebi
- zamjena korodiranog vijčanog i spojnog pribora		4 G
- pritezanje olabavljenih vijčanih učvršćenje točkanjem		4 G
- zamjena oštećenih tablica upozorenja i broja stupa		2 G
b) Sidra		
- Kao kod dalekovoda s drvenim stupovima (ako postoje)		
c) Izolatori		
- pregled izolatorskih lanaca i zamjena oštećenih i probijenih izolatora		4 G
- čišćenje izolatora		po potrebi
- uzimanje uzorka izolatora radi ispitivanja kvalitete		16 G
d) Ovjesni i spojni pribor		
- zamjena oštećenog ili jako korodiranog pribora za ovješanje i spajanje		4 G
- zamjena ili popravak zaštitnih prstenova i rogova		4 G
- zamjena oštećenih prigušivača titraja		4 G
- zamjena oštećenih odstoynika na užadi		4 G
- čišćenje i popravak ili zamjena svih vrsta stezaljki vodiča ili strujnih spojnica		4 G
- pritezanje vijčanih spojnica		4 G
- uzimanje uzorka pribora radi ispitivanja kvalitete		20 G

(nastavak)

POPIS RADOVA	Rokovi	
	Revizija	Remont
d) Vodiči i zaštitna užad		
- popravak manje oštećenih vodiča i užadi		4 G
- zamjena jače oštećenih dijelova vodiča i zaštitna užad		4 G
- kontrola provjesa i zaštitne užadi i regulacija prema potrebi		4 G
- uzimanje uzorka vodiča i zaštitne užadi radi ispitivanja kvalitete		16 G
f) Uzemljenja		
- pritezanje mjernih spojeva		4 G
- otkop uzemljivača u zemlji, uzimanje uzoraka i zamjena po potrebi		16 G
- zamjena ili dopuna uzemljivača po potrebi nakon mjerenja otpora uzemljenja		5 G
g) Trasa voda		
- sjeća granja i šikare u trasi voda		
- - vod pod naponom	2 G	
- čišćenje i održavanje pristupnih putova i staza do stupova	2 G	
- sjeća stabala i visokih grana		
- - vod isključen		4 G
- prilagođenje mehaničke i električke sigurnosti zbog novoizgrađenih objekata u trasi voda i sl.		po potrebi

Tablica 6.5

*Dalekovodi na čeličnorešetkastim i cijevnim stupovima
(pregledi)*

POPIS RADOVA	Rokovi	
	Pregled	Revizija
- provjera nagnutosti stupa	6 M	
- provjera stanja konstrukcije stupa (pojasnici, dijagonale, korozija)	6 M	
- provjera stanja konzola	6 M	
- provjera oštećenja i onečišćenja izolatora	6 M	
- provjera temelja i donjeg dijela stupa (korozija, betonski temelj)	6 M	
- provjera stanja zemljišta oko stupa (slijeganje, erozija, raslinje)	6 M	
- provjera vanjskih oštećenja vodiča i zaštitne užadi	6 M	
- provjera stanja ovjesnog i spojnog pribora, odstoynika i prigušivača titraja	6 M	
- pregled stanja vijčanih spojeva	6 M	
- pregled tablica upozorenja i broja stupa	6 M	
- provjera trase voda (novi objekti, nasipi, odroni, šuma, šikara)	6 M	
- mjerenje otpora uzemljenja		5 G

Tablica 6.6.

Dalekovodi na čeličnorešetkastim i cijevnim stupovima - remont

POPIS RADOVA	Rokovi	
	Revizija	Remont
a) Stupovi		
- popravak temelja i uređenja okoliša stupa		5 G
- čišćenje donjeg dijela stupa od raslinja i popunjavanje zemljom oko temelja		
- vod pod naponom	2 G	
- popunjavanje manjkajućih dijelova konstrukcije stupa (donji dio)-vod pod naponom	6 M ili po potrebi	
- zamjena oštećenih dijelova konstrukcije stupa (donji dio)		
- vod pod naponom	6 M ili po potrebi	
- zamjena oštećenih dijelova konstrukcije stupa (gornj dio)		
- vod isključen		5 G ili po potrebi
- pritezanje olabavljenih vijčanih spojeva s osiguranjem od odvijanja		5 G
- zamjena korodiranog vijačnog i spojnog pribora novim		5 G
- čišćenje i zaštićivanje antikorozivnim premazima korodiranih dijelova stupa		10 G
- ličenje cijele konstrukcije stupa		10 G
- zamjena oštećenih i nadomještanje manjkajućih tablica upozorenja i broja stupa	2 G	
b) Sidra		
- popravak ili zamjena sidrenih greda, ploča		5 G
- zatezanje ili zamjena sidra i pribora za zatezanje		5 G

(nastavak)

POPIS RADOVA	Rokovi	
	Revizija	Remont
- čišćenje i zaštitno premazivanje korodiranih dijelova sidra		5 G
- uklanjanje zemlje oko metalnog učvršćenj sidra na sidrene grede, ploče		4 G
c) Izolatori		
- pregled izolatorskih lanaca i zamjena oštećenih i probijenih izolatora		5 G
- čišćenje izolatora		po potrebi
- uzimanje uzorka izolatora radi ispitivanja kvalitete		15 G
d) Ovjesni i spojni pribor		
- zamjena oštećenog ili jako korodiranog pribora za ovješanje i spajanje		5 G
- zamjena ili popravak oštećenih zaštitnih prstenova i rogova		5 G
- zamjena oštećenih prigušivača titraja		5 G
- zamjena oštećenih odstoynika na vodičima		5 G
- čišćenje i popravak ili zamjena svih vrsta stezaljki ili strujnih spojnica na vodičima i zašt. užadi		5 G
- pritezanje svih vijčanih spojnica		5 G
- uzimanje uzorka pribora radi ispitivanja kvalitete		20 G
e) Vodiči i zaštitna užad		
- popravak manje oštećenih vodiča i zaštitne užadi		5 G
- zamjena jače oštećenih dijelova vodiča i zaštitne užadi		5 G
- kontrola provjesa vodiča i zašt. užadi i regulacije prema potrebi		5 G
- uzimanje uzorka vodiča i zaštitnih užadi radi ispitivanja kvalitete		15 G

(nastavak)

POPIS RADOVA	Rokovi	
	Revizija	Remont
f) Uzemljenja		
- čišćenje spojeva dozemne užadi i zamjena po potrebi		5 G
- pritezanje mjernih spojeva		5 G
- zamjena ili dopuna uzemljivača prema potrebi nakon mjerenja otpora uzemljenja		5 G
g) Trasa voda		
- sječa granja i šikare u trasi voda - vod pod naponom		2 G
- čišćenje i održavanje pristupačnih putova i staza do stupa		2 G
- sječa stabla i visokih grana - vod isključen		5 G
- prilagođenje mehaničke i električke sigurnosti voda zbog novoizgrađenih objekta u trasi voda i sl.		po potrebi

6.3. MEHANIZACIJA I ALATI ZA ODRŽAVANJE DALEKOVODA

Da bi se radovi iz prethodnog poglavlja kvalitetno i u roku izvršili, potrebno je raspolagati s odgovarajućim sredstvima (mekhanizacijom i alatom) za održavanje dalekovoda. To podrazumijeva da se za pojedine etape održavanja, saniranje kvarova, odnosno mehaničkih oštećenja, mora na vrijeme pripremiti praktički ista vrsta mehanizacije i alata koji se koristi kod same gradnje dalekovoda.

Jasno je da ovaj način popravaka oštećenih dijelova prijenosnog sistema podrazumijeva rad u beznaponskom stanju pa ga u ovom poglavlju promatramo s mehaničkog aspekta.

U nastavku je naveden popis alata i mehanizacije za održavanje 110 kV dalekovoda, rasporedjen prema vrsti kvarova na dalekovodu.

a) Oštećenja sistema ovjesne opreme i izolatora

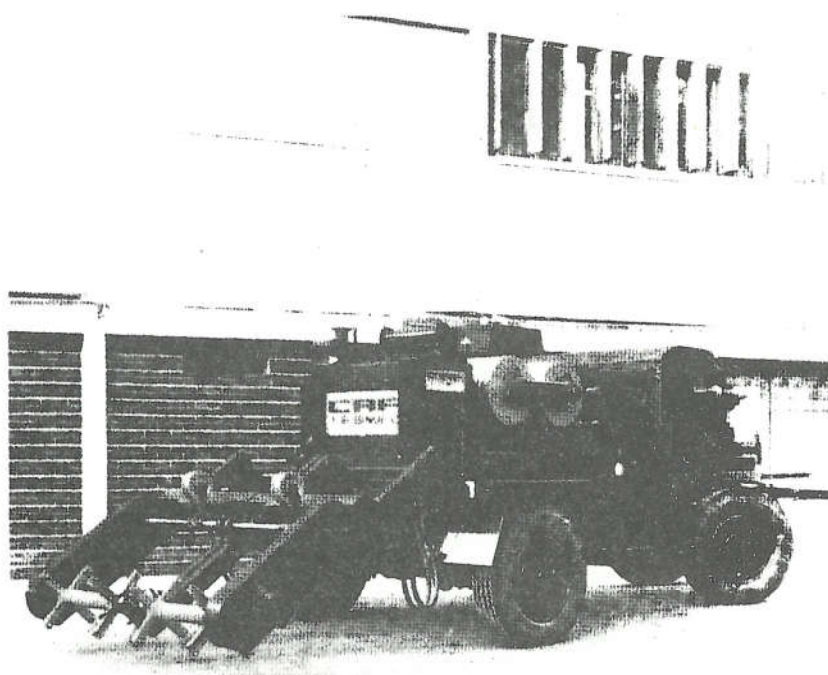
- montažne ljestve - za nosive stupove koristi se duljina od 3.5 m, a za zatezne 4.5 m
- ručna dizalica (pulift) - 1.6 t ili 3 t
- pletena čelična užad s očkama (gužve)
- mali prijenosni koloturnici
- konop i sitni pribor.

b) Oštećenje vodiča i zaštitnog užeta - opseg i vrsta radova u ovom slučaju ovise o težini samog oštećenja. Ako se radi o sitnim mehaničkim oštećenjima (prekidu pojedinih žica) užeta, sanacija se vrši ugradnjom odgovarajućih spojnice za popravak, a ako je kvar takve vrste da je nužna rekonstrukcija užeta u cijelom zateznom polju, tada je postupak sanacije potpuno identičan kao kod montaže užeta prilikom izgradnje dalekovoda.

Ovdje treba uključiti i nužnu intervenciju prilikom kompenzacije trajnog izduženja užeta u pogonu, tj. odgovarajućim postupkom demontaže, montaže i regulacije provjesa vrši se potrebna korekcija koja osigurava zadovoljenje električkih i mehaničkih parametara (sigurnosne udaljenosti, naprezanja i sile na stupovima).

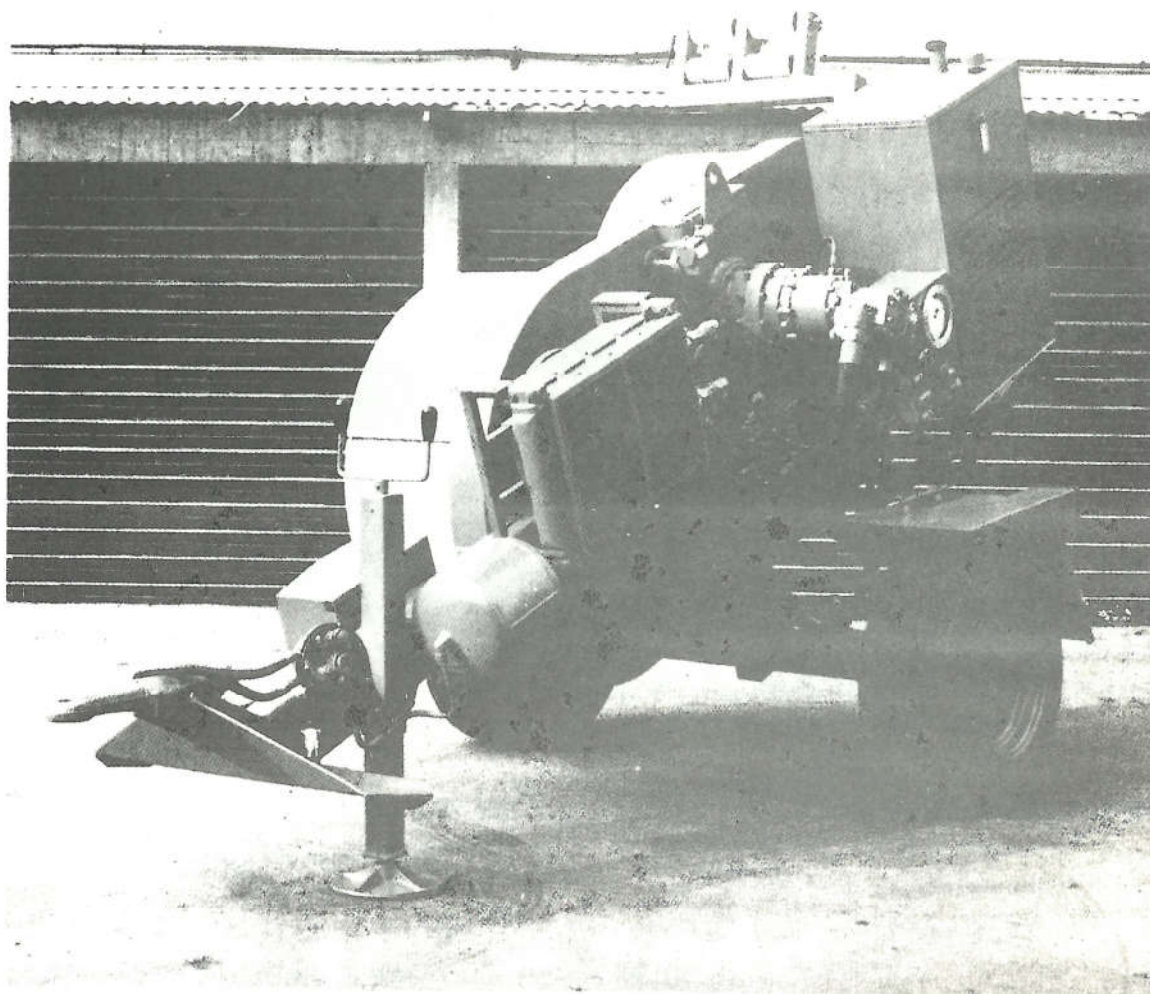
Za cjelokupni spektar navedenih radova prilikom održavanja ovisno o karakteru kvara, koriste se sljedeća sredstva:

- motorna preša za spajanje užeta (koriste se kalupi promjera $\emptyset 38$ i $\emptyset 17$)
- radne stezaljke za natezanje (prihvat) užeta
- koloturnici za razvlačenje (za uže $250/40 \text{ mm}^2$, koristi se tip koloturnika $\emptyset 450 \text{ mm}$)
- montažne ljestve
- čelična užad za sidrenje stupova
- motorno vitlo za razvlačenje užeta - vodič se razvlači pomoću vučne užadi, a stroj koji se koristi za montažu 110 kV dalekovoda (uže Al/Č $240/40 \text{ mm}^2$) ima sljedeće karakteristike: u slučaju razvlačenja jednog vodiča pogonska brzina je 3 km/h uz maksimalnu vučnu silu od 60 kN, a moguće je postići maksimalnu brzinu od 5 km/h kod primijenjene vučne sile od 35 kN; kod istodobnog razvlačenja dvaju vodiča, prosječna pogonska brzina je 0 do 3 km/h uz maksimalnu vučnu silu pojedinog užeta 30 kN, a moguće je takodjer postići maksimalnu brzinu od 5 km/h kod maksimalne sile pojedinog užeta od 17,5 kN. Izbor odgovarajuće brzine i vučne sile u konkretnim slučajevima ovisan je o izvedbi dalekovoda i konfiguraciji terena na kojem se vrši montaža.



Vitlo model 624/3R
Sl. 6.2.

- hidraulička kočnica - služi za održavanje vodiča (ili zaštitnog užeta) na potrebnoj visini iznad tla u fazi razvlačenja užeta. Kočenje se vrši hidrauličkim vlakom, a kod maksimalne brzine razvlačenja od 5 km/h, može se postići maksimalna kočna sila 25 kN



Kočnica model 614/030/10
Sl. 6.3.

- hidraulične dizalice za odmatanje bubnjeva
- vitlo za zatezanje užeta (montirano na vozilu)
- geodetski instrument za regulaciju provjesa
- ostali pribor

c) *Oštećenje blok- sistema stup-temelj*; ovdje također upotreba pojedine vrste alata ovisi o karakteru oštećenja. Ako su oštećeni pojedini elementi stupa (dijagonale), a nije ugrožena statička stabilnost stupa, tada uže nije potrebno kompletno demontirati, a zamjena, odnosno ugradnja posebno elemenata, vrši se priručnim alatom. Međutim ako je oštećenje takve vrste da je potrebno izvršiti opsežniji rekonstruktivni zahvat (demontaža užeta, ankeriranje stupova, zamjena pojedinih elemenata, zamjena etaže ili cijelog stupa), tada je nužno raspolagati i s odgovarajućom mehanizacijom.

U nastavku je naveden popis svih potrebnih sredstava, neovisno o karakteru kvara. To su:

- čelične užeta (sidra) za ankeriranje stupova
- ručna dizalica (pulift) za opterećenja od 0,8 do 5 tona
- rešetkasta montažna igla za podizanje dijelova stupa sa sidrima
- motorno ili ručno (ovisno o konfiguraciji terena) vitlo za dizanje (vinta)
- geodetski instrument za centriranje stupa
- ostali pribor.

7. LITERATURA

- (1.1) "Jugoslavenska elektroprivreda", godišnjak 1984.
- (1.2) "Elektroprivreda Hrvatske", godišnjak 1982.
- (1.3) M.Đurić: "Razvoj jugoslavenske elektroprivrede u periodu 1945-1985. godine" (Elektroprivreda 2, 5-6/85.)
- (1.4) M. Arnoldo, M. Angelina: "Razvitak prenosa električne energije i okolina" (prijevod K. Vagman, Stručne informacije "Dalekovod", 21/76.)
- (1.5) B. Markovčić, I. Prpić, F.Plic, A. Busatto: "Razvoj elektrifikacije Hrvatske", I. dio (Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1984).
- (1.6) "Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova" (Sl.list SFRJ, 51/73).
- (1.7) "Komentar Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova" (UKE, 1980).
- (1.8) "Nacrt Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova" (Savezni zavod za standardizaciju, 1983).
- (2.1) "Transmission lines and the environment" (CIGRE Symposium, Stockholm 1981).
- (2.2) "Meteorološki aspekti podloga za projektiranje 110 kV dalekovoda" (RHMZ, Zagreb 1984).
- (2.3) J. Jakša, J. Kern: "Oblikovanje daljnovodnih koridorjev in vključevanje letih v okolico" (XIII Savjetovanje CIGRE, Bled 1977).
- (2.4) J.Vistrička: "Izbor trase dalekovoda" (Stručne informacije "Dalekovod", br. 2/77).
- (2.5) B. Jovanović: "Uklapanja dalekovoda u okolinu; današnja shvatanja i pogledi na razna rješenja" (XIV Savjetovanje CIGRE, Sarajevo 1979).
- (2.6) Z.Timić, J. Popović: "Estetika stupova kao faktor uklapanja dalekovoda u okolinu" (XVII Savjetovanje CIGRE, Struga 1985).
- (2.7) "Environmental criteria for electric transmission systems" (U.S. Government, Washington 1970).
- (2.8) "The environmental impacts of high voltage overhead transmission lines" (SC22-84 (WG02)04, Paris 1984).
- (2.9) "Electrical effects of AC power transmission lines" (IEEE, 1983).
- (2.10) "Transmission lines: An overview of electrical properties and environmental effects" (BPA, Portland 1982).
- (2.11) CIGRE, SC 22 Report ("Electra" No 89/1983)
- (2.12) Davenport A.G.: "The dependence of wind loads on meteorological parameters" (Ottava, 1967).
- (2.13) P.Pavlović: "Registriranje struja munja na području SRH" ("Energija", 1966)
- (2.14) "Nacrt pravilnika o približavanju cjevovoda energetskim postrojenjima" (Savezni zavod za standardizaciju, 1977).
- (2.15) "Pravilnik o projektiranju izgradnji i rekonstrukciji civilnih aerodroma i njihovoj klasifikaciji" (Sl.list SFRJ br 2 1966).

- (3.1) M. Plaper: "Tipizacija vodnikov za daljnovode 110, 220 in 400 kV" Elektroinstitut "Milan Vidmar", Ljubljana 1980.
- (3.2) B. Markovčić: "Zaštitno uže na vodovima 110 kV i 220 kV", Institut za elektroprivredu Zagreb, 1963.
- (3.3) D. Nevečerel: "Proračun električkih parametara nadzemnih vodova pomoću elektroničkog digitalnog računala", IE Zagreb 1976.
- (3.4) Leitsätze für die Berechnung der Kurzschluss-Stroeme, Teil 1. "Drehstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV", VDE 0102, Teil 1/11.71.
- (3.5) M. Plaper: "Principi optimalnosti u mrežama za prenos i distribuciju električne energije", ZJE-Beograd i Elektroinstitut "Milan Vidmar", - Ljubljana 1980.
- (3.6) B. Markovčić: "Uloga zaštitnog užeta kod dozemnog spoja na dalekovodima 110 kV i 220 kV", VII. stručno savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Bled/Kranj, 1964, R.301/64.
- (3.7) D. Nevečerel: "Proračun električkih parametara nadzemnih vodova", Energija 1.2.1979.
- (3.8) "VDE - Leitsätze für die Bemessung von Starkstromanlagen auf mechanische und thermische Kurzschluss-festigkeit", VDE 0103/5.74.
- (3.9) J. Topić "Veze gubitaka snage i energije u prijenosnim mrežama elektroenergetskog sistema" magistarski rad, Elektrotehnički fakultet u Zagrebu, 1982.
- (3.10) F. Jakl: "Izbor zaštitne užadi od domaćeg materijala za dalekovode", Nauka-tehnika-inženjering, br.22, "Energoinvest", Sarajevo 1984; str. 161-170
- (3.11) "Visokonaponski prekidači izmjenične struje, nazivne karakteristike", JUS N.K3. 010/1980.
- (3.12) Nevečerel: "Optimiranje elektroenergetskog sistema Hrvatske-proračun kratkog spoja" Institut za Elektroprivredu, Zagreb 1981.
- (3.13) "Capacite de transport des lignes aeriennes" ELECTRA, br. 74, siječanj 1981.
- (3.14) M. Plaper: "Opteritivost dalekovoda u mrežama za prenos električne energije" XV. savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Beograd 1981, R.31.05
- (3.15) "Limites de surcharge des lignes aeriennes" ELECTRA, br. 18, srpanj 1971.
- (3.16) D. Koval, R. Billington: "Determination of transmission Line Ampacities by Probability and Numerical Methods"
- (3.17) G. di Giacomo, P. Nicolini, P. Paoli: "Criteria for the statistical evaluation of the temperature in conductors, thermal rating problems", Kolokvij CIGRE S.C. No. 22 (Overhead lines), Sienna 1979.
- (3.18) L. Paris, F. Reggiani, M. Valtorta: "Possibilities to increase transmission line loading in well-developed electrical network", CIGRE, Paris 1974, R.31.13.

- (3.19) "Netzverlust" VDEW, Frankfurt/Main 1978.
Propisi za zaštitu vodova elektrovezova od induktivnog uticaja električnih vodova, Službeni list FNRJ, br. 6/52, Službeni list SFRJ br. 13/60 i 24/67.
- (3.20) R. Pelissier: "Les reseaux d' energie electrique", III, Dunod, Paris 1976
- (3.21) Funk: "Der Kurzschluss im Drehstromnetz", R.Oldenburger - München, 1962.
- (3.22) H.Persoz, H. Lemoine, P. Saget, P.Santucci: "Le planification des reseaux electriques", Eyrolles, Paris 1984.
- (3.23) Jung: "Metodologija proučavanja kratkog spoja", Zagreb, IEP, VII 1962.
- (3.24) Z. Tonković: "Prijenosna mreža SR Hrvatske za 1990, 1995. i 2000 godinu", Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.
- (3.25) Z. Tonković: "Prijenosna mreža SR Hrvatske za razdoblje 1985/1990 godine", Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.
- (3.26) Jung: "Usporedba postupaka za proračun trajnih struja kratkog spoja pomoću sinhronih reaktancija i prema propisima VDE", Zagreb IEP, V.1972.
- (3.27) Evans and Wagner: "Symmetrical components". Mc Graw Hill, London 1933.
- (3.28) Clarcke: "Problems solved by Modified Symmetrical Components", General Electrical Review, (41) 1983, s. 488-545
- (3.29) Jung: "Prilog dopunskim proračunima kratkog spoja u početnim i novim uvjetima", Zagreb, ETF, disertacija, 1978.
- (3.30) "Propisi za zaštitu vodova elektrovezova od induktivnog uticaja električnih vodova" Službeni list FNRJ, br. 6/52, SL SFRJ, br. 13/60 i 24/67.
- (3.31) H.R.Armstrong, E.R. Whitehead: "Field and Analytical Studies of Transmission Line Shielding" (IEEE PAS-87, 1968).
- (3.32) G.W.Brown, E.R. Whitehead: "Field and Analytical Studies of Transmission Line Shielding - Part II" (IEEE PAS-88, 1969).
- (3.33) E.R. Whitehead: "Progress Report on CIGRE Working group 33-01 Survey the Lightning Performance of EHV Lines"
- (3.34) F.Popolansky: "Frequency Distribution of Amplitudes of Lightning Currents" (Electra, No.22, 1972).
- (3.35) D.W.Gilman, E.R. Whitehead: "The Mechanism of Lightning Flashover on High-Voltage and Extra-High-Voltage Transmission Lines" (Electra, No.27, 1973).
- (3.36) K. Berger, R.B.Anderson: "Parameters of Lightning Flashes" (Electra, No. 41, 1975).
- (3.37) M. Urbiha-Feuerbach: "Zaštitno uže kao sredstvo zaštite od atmosferskih prenapona" (ETF-Zavod za visoki napon, Zagreb 1965).
- (3.38) S.Plazinić: "Prilog proučavanju raspodjele broja atmosferskih električnih pražnjenja na teritoriji SFR Jugoslavije" (XII savjetovanje CIGRE, Bled 1977).
- (3.39) M. Padelin: "O osnovama zaštite od munje" (Seminar za projektante i izvodjače gromobranske i elektrostatičke zaštite, N. Gorica 1982).

- (3.40) G.W.Brown: "Lightning Performance-I Shielding Failures Simplified" (IEE PAS-97, no 1 1978).
- (3.41) Liew Ah Choy, M. Darveniza: "A Sensitivity Analysis of Lightning Performance Calculations for Transmission Lines" (IEEE PAS-91, no 7-8 1971).
- (3.42) R.H. Golde: "Lightning", volume 1 and 2 (Academic Press, London 1977)
- (3.43) R.B. Anderson, A.J. Eriksson: "Lightning Parameters for Engineering Application" (Electra, No.69, 1980).
- (3.44) V.V. Burgsdorf: "Gromobranska zaštita elektroprenosnih vodova" (original na ruskom, Električestvo, 8/1969).
- (3.45) K.Tsujimoto, H.Sakurada, T.Kato, A. Okazato: "Development and Application of Composite Overhead Ground Wire with Optical Fibers" (IEEE PAS-82, no 5 1983).
- (3.46) BS 137, Part 2: "Specification for insulators of ceramic or glass for overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V"
- (4.1) "Pravilnik o tehničkim mjerama i uslovima pri izgradnji velikih objekata" (Sl. list SFRJ, br.3/70)
- (4.2) E. Nonveiller: "Mehanika tla i temeljenje građevina" (Školska knjiga, Zagreb 1979).
- (4.3) "Pravilnik o tehničkim normativima za projektiranje i izvedbu radova" na temeljenju građevinskih objekata (Sl. list SFRJ, br. 24/74).
- (4.4) "Spravočnik po stroiteljstvu linij elektroperedači" (Energija Moskva 1971)
- (4.5) B. Zadnik: "Temeljenja dalekovodnih stupova na kraškom terenu" (članak sa XV savjetovanja elektrotehničara Jugoslavije, Beograd 1981).
- (4.6) Sarač, Lalović: "Bušeni šipovi kao temelji dalekovodnih stupova" (Energoinvest Publikacija tehnika, nauka, inženjering, 22/ 1984).
- (4.7) Sarač: "Proračun plitkih temelja dalekovodnih stupova prema vlačnoj sili" (Energoinvest, Publikacija tehnika nauka inženjering, 1984/22).
- (4.8) D. Martin: "Proračun izvlačnih temelja" (prijevod) (Stručne informacije "Dalekovoda" 17/1975).
- (4.9) "Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova" (Sl. list SFRJ, br. 51/1973).
- (4.10) K. Girkmann, E. Konigshofer "Die Hochspannungs - Freileitungen" (Springer-Verlag, Wien 1952).
- (4.11) CIGRE, "Progres report of study committee" No7. 22.01/1968.
- (4.12) Lj. Đukić, B.Androić, D.Dujmović: "Trajnost zaštite pocinkovanih konstrukcija u atmosferskim uslovima", Zaštite materijala 26 (1985).
- (4.13) WG 0.5, SC 22: "A practical Method of Conductor Creep Detemination", (Electra No. 24.1972).
- (4.14) WG 0.5, SC 22: "Permanent elongation of conductors. Predictor equations and evolution methods", Electra, No. 75/81.
- (4.15) Dž. Muftić: "Praktične mogućnosti određivanja neelastičnog izduženja vodiča VN vodova", "Dalekovod" Zagreb, Projektni biro, 1973.

- (4.16) N. Vučinić: "Proračun neelastičnih izduženja provodnika na dalekovodima", Časopis, Energoinvest-Tehnika-Nauka- Inženjering, 22/84.
- (4.17) A. Bajec, F. Mlakar: "Uzemljenje električnih uređaja" (ZJE, Beograd, 1964).
- (4.18) W. Koch: "Erdungen in Wechselstromanlagen über 1 kV" (Springer-Verlag, Berlin 1955).
- (4.19) J.J. Jakosky: "Geofizička istraživanja" ("Minerva", Subotica 1963)
- (4.20) Z.Krulc: "Specifični otpor tla - geoelektrična istraživanja" (Seminar za projektante i izvođače gromobranske i elektrostatičke zaštite, N. Gorica 1982).
- (4.21) Dž.Muftić: "Dimenzioniranje uzemljivača visokonaponskih nadzemnih vodova" (V.savjetovanje JKG, Portorož 1979).
- (4.22) Dž.Muftić, D.Kremer: "Povratni preskok na izolaciji vodova vrlo visokog napona" (XIV. savjetovanje CIGRE, Sarajevo 1979).
- (4.22) Dž.Muftić: "Projektiranje uzemljenja objekata elektroenergetskih sistema" ("Elektrotehnika" 1-2/82, Savjetovanje o primjeni računala u projektiranju elektrotehničkih komponenata i sistema, Haludovo 1982).
- (4.23) R.H.Golde: "Lightning Protection" (Eduard Arnold Ltd. London 1973).
- (4.24) M.Dabić: "Korozija metala i katodna zaštita" ("Građevinar", br. 5/1974).
- (4.25) C.F.Wagner, A.R.Hileman: "A New Approach to the Calculation of the Lightning Performance of Transmission Lines", I, II, III (AIEE Trans. Vol.75, 78,79 Pt.III 1956, 1959, 1960).
- (4.26) M.Veledar, Ž.Timić, S.Skok, Z.Firšt: "Improvement of grounding properties by using bentonite" (CIGRE, Ref. br. 22-06, Paris 1982).
- (5.1) J. Brabender, R. Konrad: "Tehnika mrežnog planiranja" Tehnička knjiga, Zagreb, 1970).
- (5.2) G.Lučić: "Planovi izgradnje elektroenergetskih objekata" ("Energija", br. 2/1985).
- (5.3) I.Čengiđ, E. Imamović, I. Musabašić: "Tehnološko planiranje i organizacija izgradnje dalekovoda" (X. savjetovanje o prenosu el.energije u SFRJ, Dubrovnik 1986).
- (5.4) Lj. Matasović: "Primjena elektroničkih računala u izvedbi investicijskih projekata" ("Informator", Zagreb 1981).
- (5.5) Ž. Lakić, T. Marić: "Primjena helikoptera u tehnici građenja dalekovoda" (Stručne informacije "Dalekovod", 40/1987).
- (6.1) Granski standard elektroprivrede (GSE-40/81): "Zaštita na radu - pravila i mjere sigurnosti pri radu na elektroenergetskim objektima" (JUGEL, 1981).
- (6.2) "Pravilnik o održavanju elektroenergetskih postrojenja i instalacija" ("Elektroprenos" Zagreb, 1982).
- (6.3) "Nacrt Pravilnika za ispitivanje uzoraka materijala i opreme demontirane na dalekovodu u pogonu" (JUGEL, 1985).
- (6.4) E. Mileusnić: "Sigurnost pri radu na elektroenergetskim postrojenjima" (VTŠ za sigurnost pri radu i zaštitu od požara, Zagreb 1986).