

Izbor iz dnevnika trgovca elektromotornim pogonima s asinkronim strojevima

Sažetak: U članku je prikazano osam izabranih rješenja elektromotornih pogona u osmogodišnjem razdoblju autorova zaposlenja u tvrtki Lenze mehatronika d. o. o. počevši od 2000. godine. Opisani pogoni sadrže frekvencijske pretvarače proizvođača Lenze Antriebstechnik G.m.b.H. i asinkrone električne strojeve. Izabranim primjerima želi se upozoriti na specifične zahtjeve domaćeg skromnog tržišta elektromotornih pogona tog vremena, gdje trgovac nije mogao biti samo trgovac nego je u velikom broju slučajeva i razvojni aplikacijski inženjer i putujući nastavnik suvremene pogonske tehnologije. Razvoj konkretne primjene pogona i obučavanje korisnika i partnera traži vrijeme. No kako na domaćem tržištu nije postojao ponavljajući posao koji bi omogućio predah za vlastitu obuku, za razvoj konkretne primjene, obuku korisnika, trgovac je morao stalno izabirati između rutine koja je trenutačno donosila plaću i izazova da sam nauči nešto novo s čim je povećavao vjerojatnost da sutra nešto proda i tako i sutra zaradi plaću.

Ključne riječi: elektromotorni pogon s asinkronim strojem, Lenzeov frekvencijski pretvarač, opis primjene pogona, regulacija jednoosnih pogona, servopogon s asinkronim strojem

Uvod

Tvrtka Lenze Antriebstechnik G.m.b.H izišla je na tržište s rješenjem visokog stupnja integracije funkcija u frekvencijski pretvarač 1993. godine i time otvorila novo područje primjene asinkronih strojeva. To mi je omogućilo pristup kupcima kroz prenošenje te tehnologije za vrijeme mog zaposlenja u toj tvrtki od 2000. do 2008. godine.

Često sam prvo rješenje morao napraviti sam, a kasnije, kad se kupac osvjedočio da rješenje radi, nastavljao bih dorade dalje sam uz tek poneku tehničku konzultaciju. Nekoliko rješenja prikazanih u članku može dočarati što se sve radi ako se bavite “trgovinom” elektromotornih pogona. Uz važnu

napomenu: sve se to radi u “realnom financijskom vremenu”, tj. mjesečnom ritmu gdje je na početku mjeseca brojač prometa i brojač vaše plaće na nuli i morate do kraja mjeseca prodajom zaraditi za plaću. Da, neće vas izbaciti ako jedan mjesec ne osigurate plaću i zaradu, ali na godišnjoj razini od jednog trgovca elektromotornim pogonom očekuje se 400 k€ prometa. Sa 600 k€ mogli ste “gnjaviti” za drugog suradnika, a sa 200 k€ mogli ste sami tražiti drugi posao! Te brojke moraju se staviti u okvir spomenutog razdoblja, tj. činjenicu da je “serijska” proizvodnja radnih mehanizama (strojogradnja) u to vrijeme u nas bila uništena i zapravo nikome nisi mogao prodati nešto dva puta. Svaki radni mehanizam bio je unikat. Potencijal ponavljanja posla nije postojao. A posao oko razrade prototipa isti je kao i za razradu serijske proizvodnje nekog radnog mehanizma. Stoga nije bilo odbijanja poslova, moralo se sve obaviti da se “nastruže” mjesečni promet. Kad i kako? To se nije pitalo.

U članku se ne navodi posebno literatura jer je ovo, kako i naslov kaže, napisano prema vlastitim terenskim zapisima.

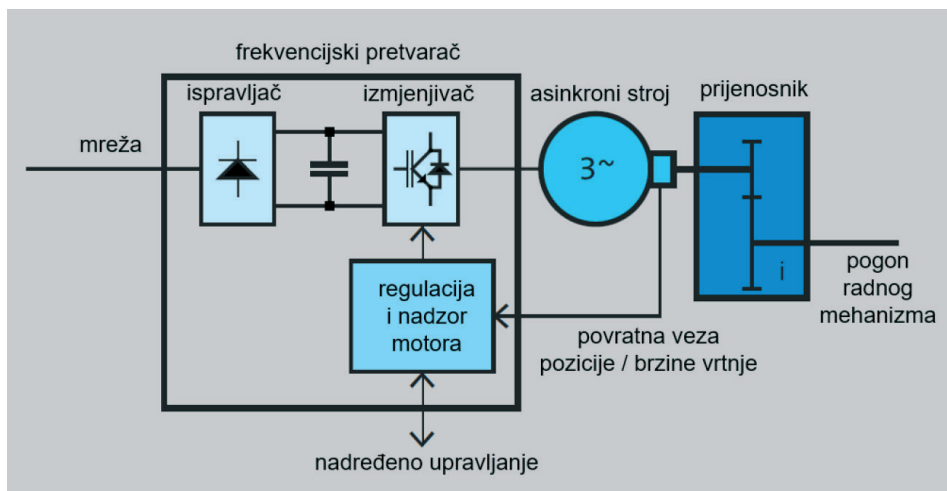
Struktura elektromotornog pogona s asinkronim strojem

Elektromotorni pogon s asinkronim strojem najčešće se sastoji od frekvenzijskog pretvarača, asinkronog električnog stroja i prijenosnika, slika 1. Frekvenzijski pretvarač razmjenjuje električnu energiju između električne mreže i asinkronog stroja s ciljem uspostavljanja željenog stanja brzine vrtnje i razvijenog momenta na izlaznoj osovini stroja. Pritom se električna energija pretvara u mehaničku pri motorskom radu stroja, odnosno mehanička energija u električnu pri generatorskom radu stroja. Asinkroni stroj spaja se s mehaničkim prijenosnikom za prijenos snage do radnog mehanizma. Najčešće se prijenosnikom smanjuje brzina vrtnje uz posljedično povećanje zakretnog momenta. Izlazna osovina prijenosnika spaja se s pogonjenim radnim mehanizmom.

U primjenama koje ne zahtijevaju promjenjivu brzinu vrtnje nije potreban frekvenzijski pretvarač, nego se napajanje na motor dovodi izravno sklopnicima ili poluvodičkim ventilima u uređajima za meki zalet. Ako se radni mehanizam može izravno pogoniti osovinom stroja, tad nije potreban ni mehanički prijenosnik.

Frekvenzijski pretvarač omogućuje postavljanje željene brzine vrtnje asinkronog stroja pri određenom razvijenom zakretnom momentu stroja, odnosno poziciju osovine rotora motora pa se tako razlikuju dvije grupe pogona:

- pogoni s upravljanjem brzine vrtnje i
- pogoni s regulacijom brzine vrtnje asinkronog stroja.



Sl. 1.: Struktura elektromotornog pogona

Za te dvije grupe pogona u praksi je uvriježeno i govoriti o ‘običnim’ i o ‘servo’ frekvencijskim pretvaračima. Razlike su prikazane u tablici 1. Servofrekvencijski pretvarač može prihvatiti signale davača pozicije osovine rotora. Servopretvaračem se, uz mjerenje mehaničkih veličina, brzine vrtnje i pozicije rotora, može postići raspon podešavanja brzine vrtnje do 1 : 10 000, što znači da se motor može vrtjeti primjerice s nazivnih 1000 o/min, ali i s 0,1 o/min uz odstupanje stvarne od zadane brzine vrtnje manje od $\pm 0,1$ o/min. Servopretvarači omogućuju iznimno dinamično upravljanje izmjeničnim asinkronim strojem u smislu da je za razvoj momenta potrebno vrijeme od nekoliko milisekundi. To je moguće ostvariti jer servopretvarači uspješno razdvajaju “osi” upravljanja [L1]. Posebno se regulira struja u osi koja izravno djeluje na moment bez kašnjenja, dakle trenutačno, a posebno se regulira struja u osi koja je odgovorna za uspostavu elektromagnetskog toka u stroju. Vrijeme uspostave momenta tako se svodi na uspostavu struje koja izravno djeluje na moment stroja, samo uz električnu vremensku konstantu strujnog kruga. Pritom se ne dira komponenta struje za održavanje elektromagnetskog toka. Na moment se, naravno, može djelovati i preko iznosa elektromagnetskog toka u stroju, ali on se razvija s vremenskim kašnjenjem od nekoliko desetaka do nekoliko stotina milisekundi za strujom koja ga uspostavlja. U običnim frekvencijskim pretvaračima osi upravljanja nisu razdvojene i nije moguće precizno i dinamično djelovati samo na razvoj momenta, nego se istodobno pobuđuje i promjena elektromagnetskog toka u stroju.

Običnim frekvencijskim pretvaračem moguće je upravljati tek brzinom vrtnje, pri čemu motor ne mora biti opremljen mjernim članom brzine vrtnje. Servopretvaračem moguće je regulirati brzinu vrtnje, moment ili poziciju rotora

Tablica 1.: Usporedba običnog i servofrekvencijskog pretvarača

Frekvencijski pretvarač	„običan” pretvarač	„servo” pretvarač
Asinkroni stroj	običan	servo
Prigrađen davač pozicije	ne	da
Raspon podešenja brzine vrtnje motora	1:50 ... 100	>1:10,000
Točnost brzine vrtnje motora	3 ... 5% (V/f) 0.5% (Vector)	<0.01%
Dinamika (najkraće vrijeme ubrzanja do nazivne brzine vrtnje)	100 ms ... 1 s	10 ... 100 ms

stroja. Servopretvarač omogućuje zatvaranje regulacijske petlje brzine vrtnje i pozicije prihvaćanjem signala povratne veze brzine vrtnje i pozicije rotora iz davača prigrađenog na rotoru stroja.

Običan trofazni asinkroni stroj pretvara se prigradnjom mjernog člana na rotoru u servostroj. Moderne izvedbe servostrojeva dotjeruju se konstrukcijski tako da se strojevi “izduljuju” kako bi im se smanjio vlastiti moment inercije, tj. da bi uz isti razvijeni moment skraćivali vrijeme promjene brzine. Servostroj se po potrebi oprema kočnicom. To nije kočnica za zaustavljanje pogona, nego kočnica za sigurnosno mehaničko pridržavanje rotora u stajanju. Servostroj najčešće ima prigrađenu stranu ventilaciju kako bi se i na manjim brzinama dostatno hladio. Ponekad se hlađenje stroja rješava odgovarajuće većim kućištem, a ponekad hlađenjem vodom. Kako napajanje servostroja više nije vezano uz frekvenciju mreže, tako ne treba iznenaditi da im nazivna frekvencija odstupa od 50 Hz, nerijetko je i nekoliko stotina herca. Pri kočenju asinkroni stroj prelazi u generatorski rad pa se kočenjem stvorena električna energija ili vraća u mrežu ili se pretvara u toplinsku na kočionim otpornicima. Servostroj radi u sva četiri kvadranta, tj. u sve četiri moguće kombinacije smjera vrtnje i razvijenog momenta.

Raspodjela funkcija upravljanja i nadzora procesa i funkcija gibanja

Ako se zamišlja radni mehanizam u kojem se nalazi jedan ili više servoa-sinkronih strojeva, tad se mogu uočiti tri grupe funkcija:

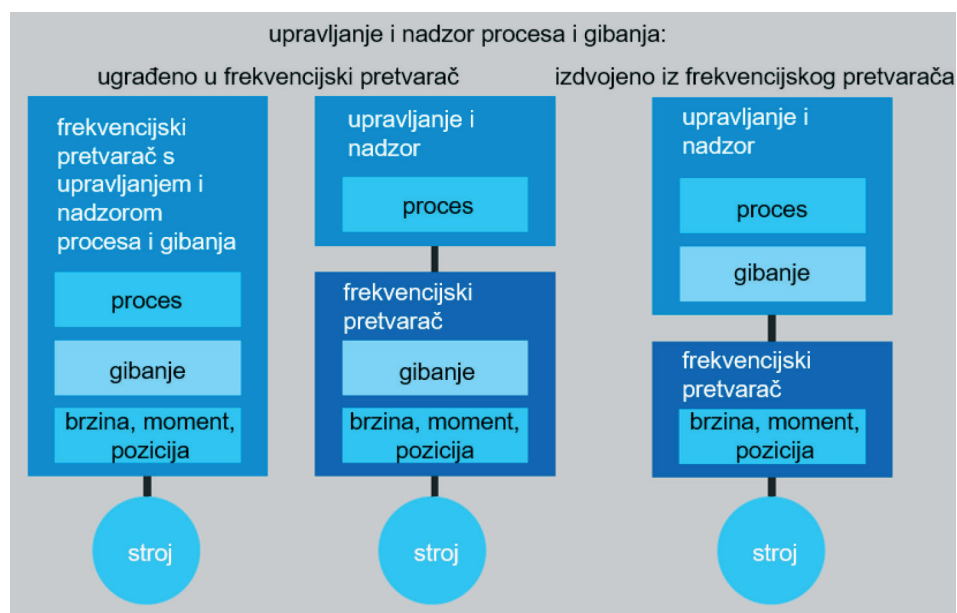
- funkcije regulacije brzine vrtnje, momenta i pozicije rotora stroja (engl. *drive control*)
- funkcije upravljanja i nadzor gibanja radnog mehanizma, najčešće nekog alata (engl. *motion control*)

- funkcije upravljanja i nadzora procesa, logičke upravljačke funkcije i sljedovi radnih operacija radnog mehanizma(engl. *PLC functions, logic-sequence control*).

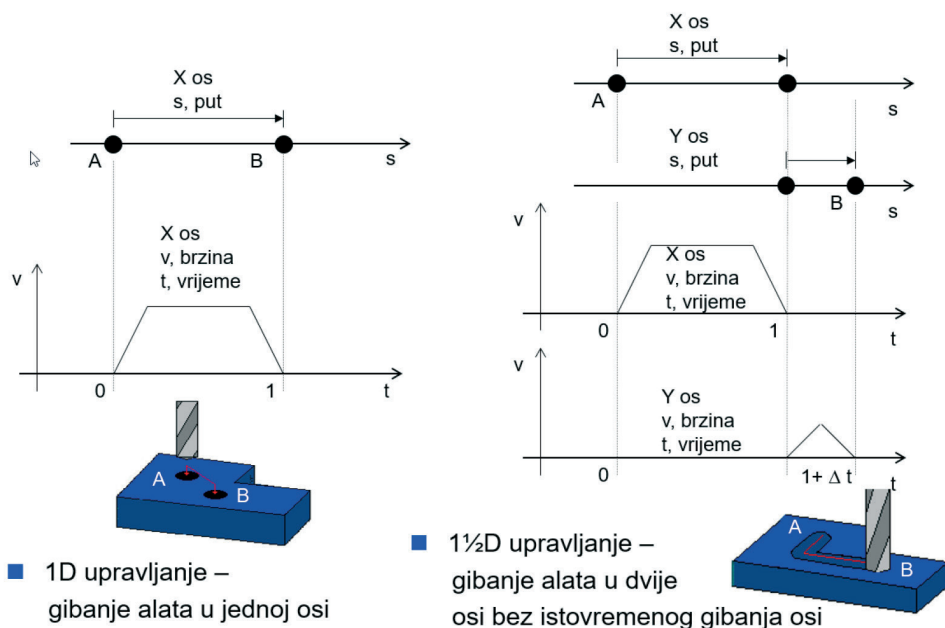
Slika 2. prikazuje tipična rješenja fizičkog smještaja programa tih triju grupa funkcija. Regulacija mehaničkih veličina osovine rotora uvijek se ugrađuje u frekvencijski pretvarač. Upravljanje i nadzor procesa i upravljanje i nadzor gibanja smješta se ili u cijelosti izvan frekvencijskog pretvarača ili pak u cijelosti u frekvencijski pretvarač. No postoje i rješenja gdje se frekvencijski pretvarač oprema funkcijama nadzora gibanja, a tek se upravljanje i nadzor procesa ostavljaju izvan pretvarača. Moderni frekvencijski pretvarači uređaji su bogato opremljeni programskim rješenjima, koji pred projektanta električne opreme radnog mehanizma postavljaju izazov izbora optimalnog rješenja. Pritom će za serijsku proizvodnju sigurno presuditi cijena ukupnog rješenja uz prethodno zadovoljenje svih tehničkih i tehnoloških zahtjeva radnog mehanizma.

Frekvencijski pretvarač s integriranim funkcijama upravljanja i nadzora procesa kao i funkcijama gibanja uobičajava se koristiti u jednostavnijim primjenama kao na slici 3. U gibanjima prema slici 3. nije potrebno proračunavati trajektoriju samog gibanja i rastavljati je na više osi jer nema istodobnog gibanja osi, odnosno riječ je o gibanju uvijek samo jedne osi u nekom trenutku.

Ako stroj zahtijeva istodobno gibanje u dvije ili više osi, tad će se najčešće upravljanje gibanjem i procesom realizirati u zasebnom uređaju, a pojedini će



Sl. 2.: Raspodjela funkcija upravljanja i nadzora procesa i gibanja te funkcija upravljanja mehaničkim veličinama osovine stroja unutar i izvan frekvencijskog pretvarača

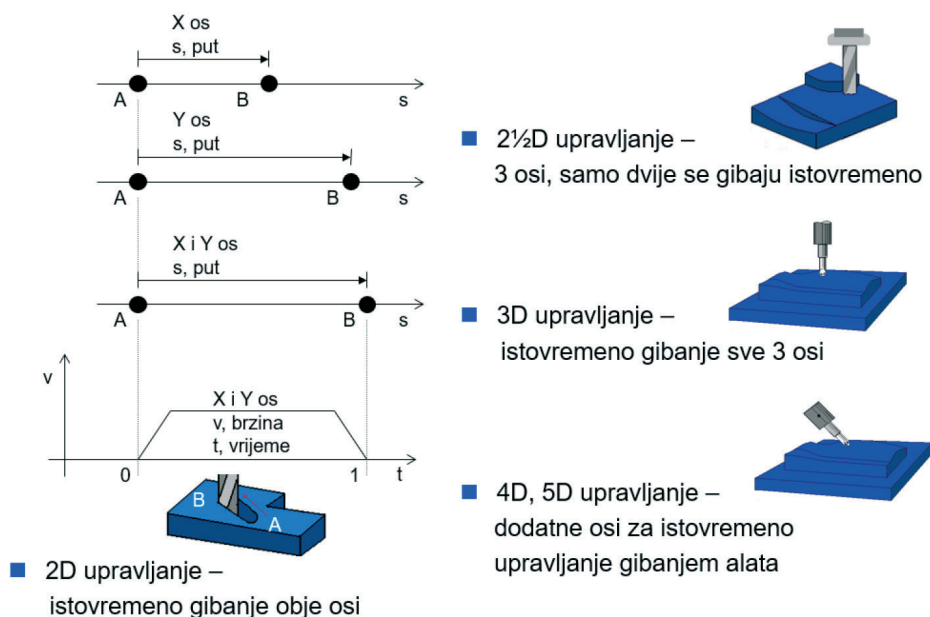


Sl. 3.: Upravljanje jednostavnim gibanjem u jednoj ili dvije osi

frekvencijski pretvarači dobivati u realnom vremenu vremenski sinkronizirano referentne vrijednosti gibanja svake pojedine osi, slika 4. Tek iznimno, ako je riječ o gibanju u dvije osi, a druga os kreće u jednostavnoj, točno ponovljivoj funkcijskoj zavisnosti o prvoj osi, tad se i dvoosno gibanje uobičajava riješiti u samom frekvencijskom pretvaraču.

O projektima u ovom članku

Rješenja koja su opisana u članku bazirana su na frekvencijskim pretvaračima Lenze Antriebstechnik G.m.b.H. koji osim regulacije mehaničkih veličina stroja imaju integriran i nadzor procesa i gibanja. Rješenje s tako opremljenim frekvencijskim pretvaračem je tržišno konkurentno jer se objedinjavanjem svih funkcija jednoosnog i dvoosnog upravljanja radnim mehanizmom u sam pretvarač pridonosi fizičkoj kompaktnosti rješenja što na kraju dovodi do snižavanja proizvodne cijene rješenja. Tako se ostvaruje automatizacija radnih mehanizama po znatno nižoj cijeni u odnosu na automatizaciju sa zasebnim uređajima za višeosno upravljanje (u praksi poznato i kao CNC upravljanje). Prikazat će se projekti iz širokog spektra primjene i neće biti koncentrirano na pojedinu skupinu kako je to napravljeno u [L2].



Sl. 4.: Upravljanje gibanjem dviju ili više osi

Projekt 1.: Uparivanje Lenzeovih frekvencijskih pretvarača i domaćeg proizvođača asinkronih strojeva

Tvrtka HSTEC d. d. proizvodi asinkrone elektromotore za izravan pogon radnih vretena alatnih strojeva. Od mr. sc. Željka Goje i diplomiranog inženjera strojarstva Mladena Šarlije dobio sam šansu “pripasati” Lenze 9300 seriju frekvencijskih pretvarača za njihove visokobrzinske asinkrone motore. Kako HSTEC proizvodi za strano tržište, taj je posao mogao rezultirati većom prodajom. U konkretnim aplikacijama asinkroni strojevi napajani su frekvencijom i do 1000 Hz i pritom moraju imati regulaciju brzine vrtnje. Kako te aplikacije nisu opisane u priručnicima za frekvencijske pretvarače, zamolio sam i dobio priliku provesti jedan tjedan u Lenzeovu ispitnom i razvojnom laboratoriju u Njemačkoj s njihovim ispitivačima, slika 5. U okviru ispitivanja određen je i provjeren protokol kako podesiti parametre u 9300 servopretvaraču za ispitivani motor. Moj je zadatak bio na osnovi tog iskustva odrediti podešenja za ostale HSTEC-ove asinkrone motore iz serije.

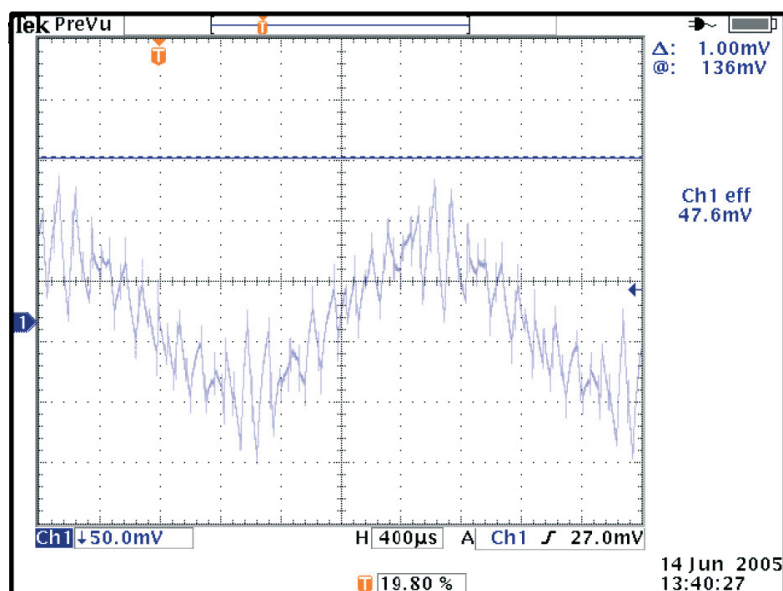
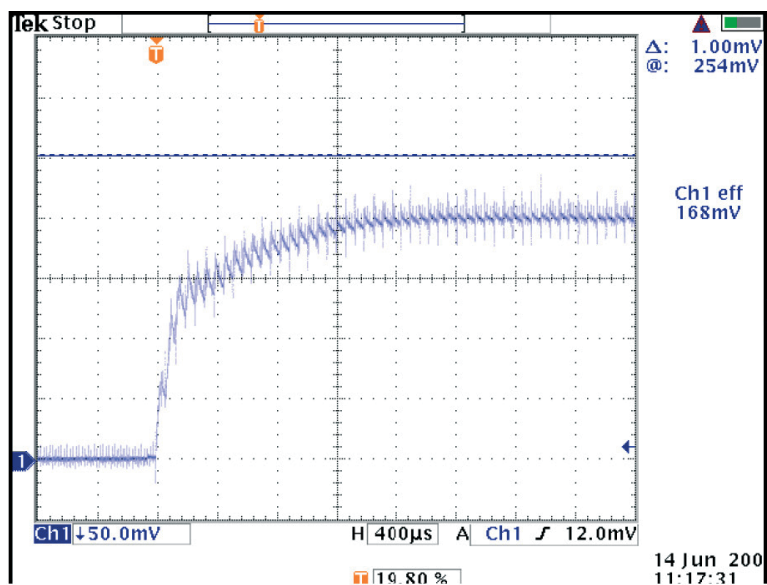
Stroj na testu imao je podatke kako slijedi: HSTEC tip 112A, trofazni kavezni asinkroni stroj, nazivni moment 48 Nm, nazivna frekvencija 106 Hz, nazivna brzina vrtnje 3000 okr/min, nazivna snaga 15 kW, nazivna struja 45 A, nazivni napon 285 V, maksimalna struja 99 A, maksimalna brzina 12 000 okr/min,



Slika 5. Ispitni laboratorij u Lenzeovoj centrali u Hammelnu

inercija rotora $0,016 \text{ kgm}^2$, broj pari polova 2, vodeno hlađenje, spoj zvijezda. Motor je bio opremljen davačem brzine vrtnje i pozicije rotora Lenord + Bauer, tip sin-cos-1 Vss, GEL244 KN1G5. Natpisna pločica motora vidljiva je na slici 8.

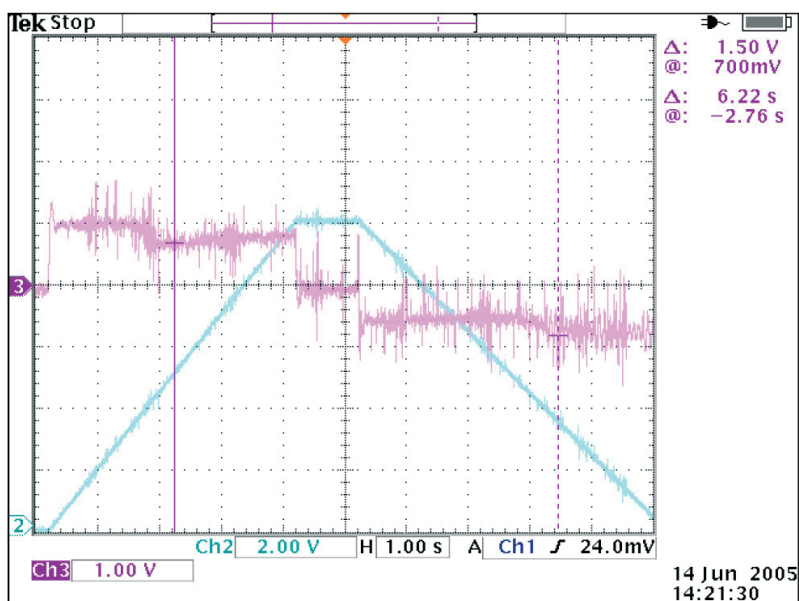
U postupku ispitivanja definiran je električni spoj pretvarača i stroja i to energetski priključak i priključak davača. Stroj je bio spojen s pretvaračem EV-S9328EP (pretvarač s regulacijom pozicije) uz mrežni filter EZN3A0080H042 nazivne struje 47 A i maksimalne struje 70,5 A. Određeno je kako se konkretni podaci nadomjesne sheme stroja preračunavaju u pojedine parametre u pretvaraču. Upisani su parametri davača brzine vrtnje i pozicije rotora, karakteristika osjetnika temperature u namotu stroja. Provedeno je podešavanje PI regulatora struje u d i q osi (pojačanje i vremenska konstanta), tako da se krenulo od računskih parametara nadomjesne sheme i onda se fino podešavalo prema kvaliteti odziva na skokovitu referencu struje u području malih signala, slika 6.



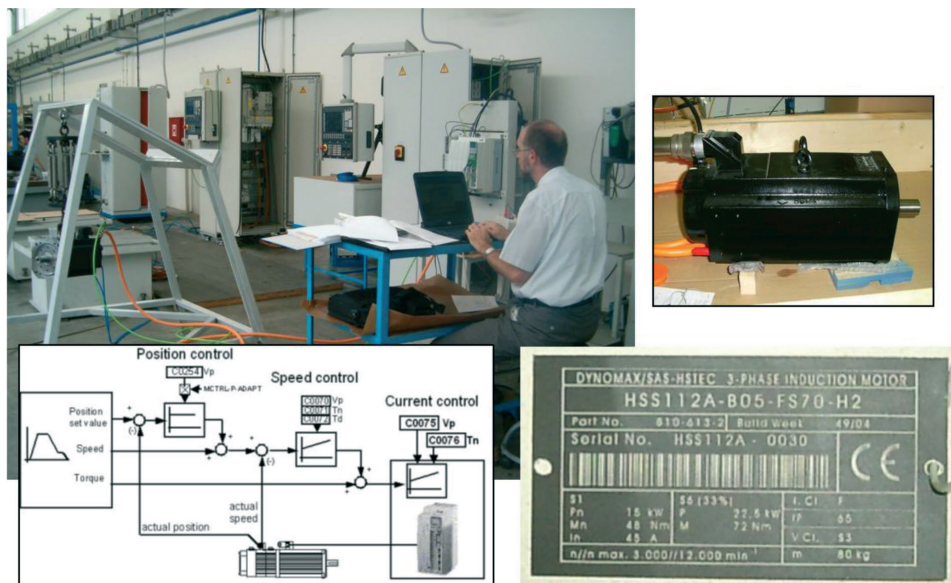
Sl. 6.: Skok i_{sq} struje pri 8 kHz sklopne frekvencije i brzini vrtnje od 12 000 okr/min (gore), linijska struja motora pri 12 000 okr/min (dolje)

Potom je podešen regulator brzine vrtnje uz stroj u praznom hodu, dakle samo sa zamašnom masom rotora, a u području malih skokova promjene reference. Na slici 7. prikazan je jedan zalet do 12 000 okr/min i zaustavljanje s tako podešenim parametrima. Pritom je podešena brzina promjene reference brzine vrtnje (referentno ubrzanje) takva da regulator i_{sq} struje ne traži linijsku struju pretvarača veću od one koju pretvarač može osigurati. Pri generatorskom kočenju bilo je potrebno smanjiti deceleraciju zbog ograničenja razine povrata energije u konkretno raspoloživ sklop za generatorsko kočenje. Na kraju je podešen i proporcionalni regulator pozicije tako da se pri zaustavljanju rotora, kad se aktivira regulator pozicije, po potrebi smanjivalo proporcionalno pojačanje sve dok se pogon nije umirio, tj. mehanički nije proizvodio vibracije pri mirovanju. Frekvencijski pretvarač snimao je u sebe u realnom vremenu podatke prijelaznih pojava i onda su se oni prebacivali na osobno računalo za daljnji grafički pregled i analizu. I mjernom opremom – tenzometarskim davačem momenta – provjerena je nazivna radna točka uz mjerenje ustaljene temperature stroja.

Slika 8. prikazuje uobičajeno puštanje u pogon. HSTEC bi nabavio pretvarač i električnu opremu prema mojoj ponudi, a ja sam dan ili dva prije isporuke radnog mehanizma došao podesiti pretvarač. Primijetite kako je motor pri tim pokusima montiran na oprugama! U tvrtki HSTEC mi je desna ruka pri puštanju u pogon bio diplomirani inženjer Vlatko Bogdanić, osoba iznimno blagog i koncentriranog, smirujućeg djelovanja na uvijek uzbuđljivim prvim puštanjima u rad.



Sl. 7.: Zalet i zaustavljanje motora pri referenci brzine vrtnje od 12 000 okr/min. Struja 1 V = 70,5 A (ljubičasti trag), brzina vrtnje 10 V = 12 000 okr/min (tirkizni trag)



Sl. 8.: Podešavanje pogona prije isporuke u HSTEC-u

Projekt 2.: Odmatač žice pri proizvodnji višeznačnog vodiča

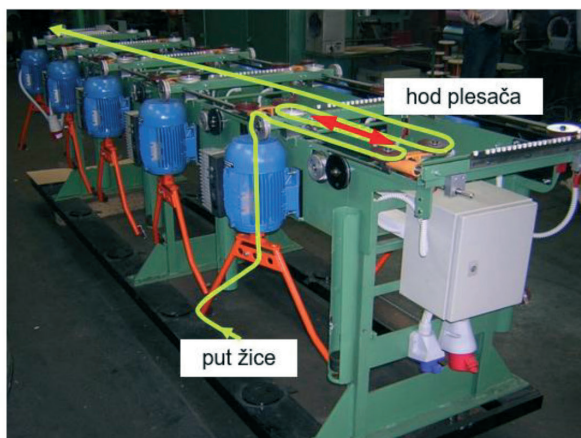
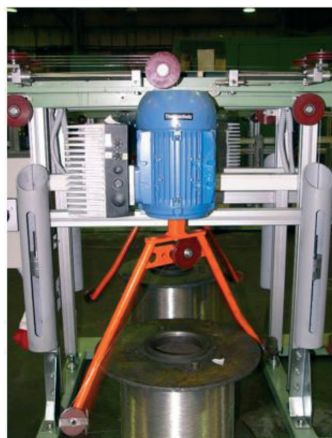
U proizvodnji višeznačnog vodiča potrebno je istodobno odmatati nekoliko bubnjeva namotanih bakrenom žicom i potom žice usukati zajedno u višeznačni vodič koji se opet namata na bubanj. Višeznačni vodič služi za proizvodnju kabela. U tvornici kabela ELKA d. o. o. u Zagrebu stvarni su presjeci polazne žice za proizvodnju višeznačnih vodiča od 0,14 mm² do 1 mm². Ta žica namotana je na bubnjeve promjera 400 mm. Ovisno o recepturi višeznačnog vodiča, slogovi po deset odmatača žice istodobno dodaju žicu u sukalicu. Na slici 9. vide se slogovi odmatača s izmjeničnim motorima. Na osovini motora postavljena je vilica, zapravo odmatačka ruka, koja vrtnjom odmatava žicu s bubnja.

Brzina odmatanja svakog bubnja vođena je regulacijom položaja pripadnog plesača. Potrebna napetost žice postiže se postavljanjem utega na plesač koji napinje žicu pri odmatanju. Što je plesač bliže donjem položaju, odmatati se treba sporije kako bi se plesač podigao, a što je plesač bliže gornjem položaju, odmatati se treba brže kako bi se plesač spustio. Kad je brzina odmatanja ustaljena (i do 250 m/min!) plesač tek neznatno titra oko srednjeg položaja. Promjenjiva brzina odmatanja ostvaruje se preko izmjeničnog motora i to preko ručice koja zakreće slog četkica. To je, treba priznati "genijalno" mehaničko rješenje i ne vjerujem da današnji inženjeri tu vrstu stroja uopće znaju prepoznati! No ima jednu ozbiljnu manu, a to je da zahtijeva podmazivanje pokretnih dijelova.

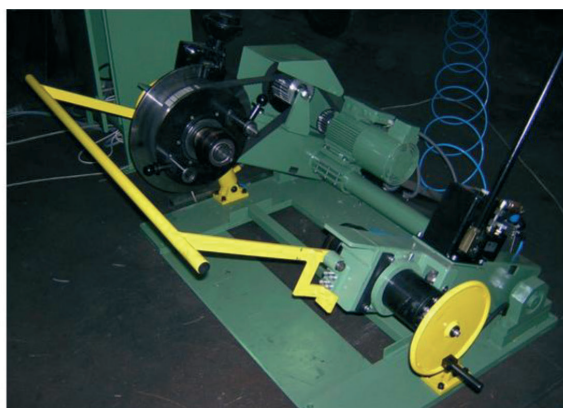
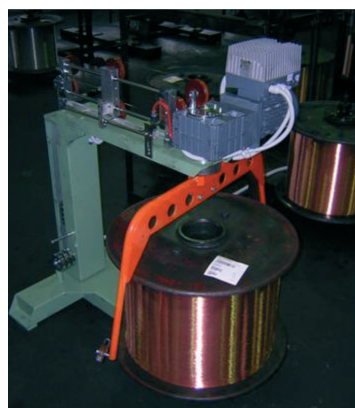
Kako se odmatata žica presjeka $0,14 \text{ mm}^2$, jasno je da svako mehaničko zapinjavanje pri odmatanju dovodi do puknuća jedne žice, što prouzročuje zastoj u sukalici i posljedično znatan otpad u proizvodnji višežičnog vodiča. Nakon desetaka godina rada ti su strojevi, odmatački slogovi i pod u postrojenju ispod njih bili nevjerovatno masni i prljavi, što se može primijetiti na slici 9. Više nije bilo moguće ni nabaviti rezervne dijelove pa se uglavnom “krpalo”. Petar AniĆ Kalliger iz tvornice ELKA d. o. o., izniman diplomirani inženjer elektrotehnike s istančanim osjećajem za mehaniku, zamislio je rješenje zamjene tih masnih odmatačkih slogova novim suvremenim rješenjem i izazvao i mene svojim oduševljenjem za sudjelovanje u pokušaju rješenja. On je osmislio svu mehaniku. Njegova upornost i jasnoća vizije te strpljivost da programiram pretvarač točno kako je zamislio nije dopustila uzmicanje dok sve nije radilo kako treba. Na prototipu od deset odmatača korišteno je deset običnih trofaznih kaveznih osmopolnih asinkronih motora snage $0,55 \text{ kW}$ koji na sebi imaju ugrađen frekvencijski pretvarač Motec (također Lenzeov proizvod). Na taj način dobila se jednaka kompaktnost kao i u starom rješenju. Napetost i brzina odmatanja postigla se regulacijom položaja plesača s odgovarajućim utegom. Napravljena je i posebna startna logika i da se pri donjem položaju plesača događa namatanje (dakle ne odmatanje!) sve dok se plesač ne podigne i žica napne. Isto vrijedi i pri zaustavljanju linije. Sve žice ostaju napete, što omogućava trenutačni ponovni start bez ručnog zahvata na pojedinom odmataču. Pri puknuću bilo koje žice plesač dojavljuje nadređenoj sukalici da se zaustavi proizvodnja i popravi



Sl. 9.: Slog odmatača žice u proizvodnji višežičnih vodiča



Sl. 10.: Novi odmatač i odmatački slog za odmatanje žice s bubnja pri izradi višeznačnih vodiča u tvornici ELKA d. o. o.



Sl. 11.: Dva rješenja pojedinačnih odmatača

pojedina žica. Svaki odmatač radi i u ručnom modu s komandama za odmatanje i namatanje, dakle, i bez djelovanja plesača. Ono što je “genijalno” na rješenju i što dotad nije viđeno nigdje na sličnim strojevima u svijetu jest provlačenje žice kroz rotor motora, slika 10. Probušena je osovinu rotora i postavljene su porculanske i teflonske vodilice preko kojih prolazi žica! Dodatna inovacija bilo je postavljanje plesača horizontalno, što je oslobodilo manipulativni prostor pri ubacivanju bubnja pod vilicu za odmatanje. Položaj plesača također se očitavao beskontaktno senzorom udaljenosti. Uteg samog plesača za ostvarivanje napetosti žice ostao je dobro zaštićen i jednostavno pristupačan za promjene, naravno u okomitom položaju. Cijeli je odmatački slog na kolicima pa se tako jednostavno organizira i slaže potreban broj odmatača za pojedini recept za izradu

višežičnih vodiča. Ne zaboravljam spomenuti vlastito veselje kad su zaredale narudžbe za nekoliko odmatачkih slogova.

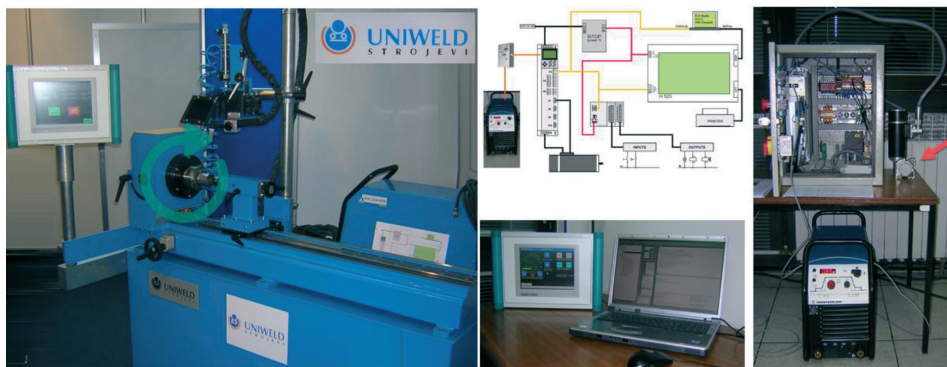
Na tragu tog rješenja napravljene su i neke daljnje inačice samostalnih odmatачkih jedinica, slika 11. lijevo. Ne treba ni spominjati da je tvornica kabela “raj za učenje” pogona odmatanja i namatanja! Na slici 11. desno prikazano je rješenje kod kojeg je mehaniku odmatачa radila tvrtka Oprema strojevi d. o. o iz Ludbrega. Na tom se rješenju koristio pretvarač serije 9300 tvrtke Lenze s prilagođenim odmatачkim predloškom za parametriranje važnih veličina odmatачa.

Projekt 3.: Rješenje upravljanja i pogona stroja za kružno zavarivanje plazmom

Za tvrtku UNIWELD STROJEVI d. o. o. tijekom 2004. razvijeno je i razrađeno rješenje upravljanja strojem za zavarivanje kružnih obradaka. Tvrtka se bavi proizvodnjom specijalnih strojeva i uređaja, opreme za automatizaciju i robotizaciju zavarivanja.

Razvoj je bio specifičan zato što se u tvrtku UNIWELD istodobno s razvojem konkretnog rješenja prenosila i tehnologija. U prihvatanju tehnologije sudjelovao je diplomirani inženjer elektrotehnike Marin Dolinar, bez čijeg entuzijazma, želje i otvorenosti prema novom ne bi bilo konačnog rezultata. Sve je to pratio i omogućio ništa manje odvažan tadašnji direktor diplomirani inženjer strojarstva Franjo Ferenac. Trebalo je hrabrosti kako bi se ponudio i potom ugovorio stroj kakav se s pomoću te tehnologije nije nikad prije proizveo u tvornici, a pod uvjetima kao da je tehnologija za gibanje obratka već usvojena i do kraja poznata i zapravo sve za renomirane njemačke investitore, uvijek se nadajući njihovim novim narudžbama.

Glava za zavarivanje miruje, a upravlja se rotiranjem obratka. Promjer obratka kružnog oblika na kojem se zavaruje iznosi od 20 mm do 400 mm uz brzine vrtnje obratka od 0,019 okr/min do 19 okr/min. Linearne brzine zavarivanja pri $d = 20$ mm kreću se od 0,00119 m/min do 1,19 m/min, a pri $d = 400$ mm od 0,023 m/min do 23 m/min. Područje regulacije brzine vrtnje je 1 : 1000. Proces zavarivanja ne zahtijeva posebnu dinamiku elektromotornog pogona. Zadaju se kutovi početka i završetka zavarivanja u kontinuiranom ili segmentnom načinu zavarivanja. Segmentni je način bitan kako pri kontinuiranom načinu ne bi došlo do deformacije obratka zbog topline nastale pri zavarivanju. Po završetku zavarivanja obradak se vraća u početnu poziciju. Upravljački program zadaje parametre zavarivanja napravi za zavarivanje preko serijskog sučelja i upravlja signalima za postavljanje glave za zavarivanje u početni položaj, signalima ventila za dovod zaštitnog plina i naprave za povlačenje žice za zavarivanje. Stroj radi u ručnom i automatskom načinu rada, pri čemu se u automatskom

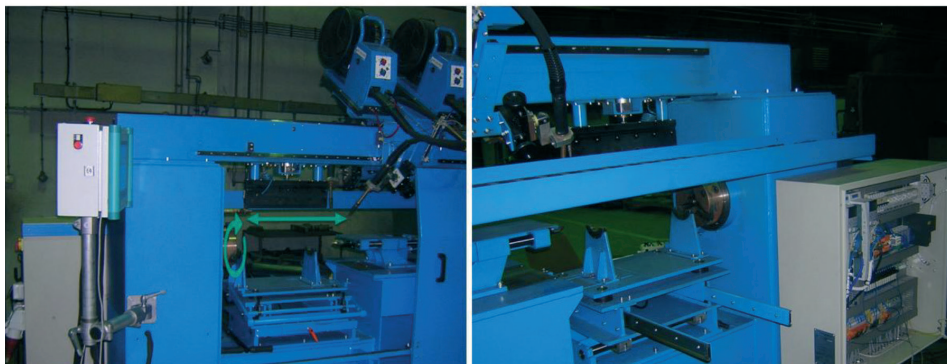


Sl. 12.: Stroj za kružno zavarivanje obratka

traži mogućnost spremanja skupa parametara u recept za pojedini obradak. Recept se može spremati u sustav za naknadno pozivanje, ali i otisnuti na papir za arhiviranje. Za vrijeme zavarivanja na nadzornom panelu prati se i nadzire proces zavarivanja kao i sva stanja stroja.

Rješenje obuhvaća Lenzeov servofrekvencijski pretvarač s PLC-om u sebi (EVS9321-ET), komunikacijski modul za komunikaciju s napravom za zavarivanje, Lenzeov nadzorni panel osjetljiv na dodir (EPM-H520), te module za dodatne digitalne ulaze i izlaze. U pogonu okretanja nalazi se Lenzeov asinkroni servostroj SDSGARS 047-22 s pužnim reduktorom SSN31. Mjerni član pozicije i brzine vrtnje osovine motora je vektorski razlagač (engl. *resolver*) prigraden izravno na osovinu motora. Za razvoj su korišteni Lenzeovi programski alati: programski paket DDS za razvoj PLC rješenja, programski paket *Hmide-signer* za razvoj aplikacije nadzornog panela i programski paket *Global Drive Control* za parametriranje servopogona.

To je rješenje tad primijenilo tehnološki vrh Lenzeove servotehnologije. Prodano je u nekoliko primjeraka u Njemačkoj i bilo je temelj za gradnju novog



Sl. 13.: Stroj za rotiranje i linearno zavarivanje obratka

stroja u kojem se glava za zavarivanje kretala uzduž obratka, a sam se obradak po zavarivanju jednog uzdužnog prolaza zakretao. U rješenju je bilo moguće uzdužno zavarivanje s dvije glave za zavarivanje odjednom, slika 13.

Projekt 4.: Rješenje pogona stroja za plinsko rezanje

Tvrtka Unicut d. o. o. iz Pule na čelu s mr. sc. Frankom Pužarom proizvođača je CNC upravljani stroj namijenjen za plinsko ili plazma rezanje metalnih ploča, komercijalnog naziva Ivana. Mlaz plazme dobiva se procesom tlačenja plina koji se provodi kroz električni luk. Plin koji se koristi za stvaranje mlaza plazme pri tom procesu može razviti temperaturu do čak 25 000 °C. Za rezanje običnih konstrukcijskih čelika i aluminija, kao i za manje zahtjevnu kvalitetu reza legiranih čelika, potpuno zadovoljava komprimirani zrak. Za kvalitetno rezanje legiranih čelika koristi se mješavina plinova (argon, dušik, vodik).

Stroj je portalnog tipa: portal se sastoji od grede, poprečnog pogonskog sustava i do četiri suporta s gorionicima. Na portalu je smješten CNC upravljački sustav te plinski regulatori i manometri. Portal se u uzdužnom smjeru kreće po stazama. Glavne tehničke karakteristike su: širina rezanja do 3,0 m, duljina rezanja 4,5 m do 28,5 m, jedan do četiri gorionika, brzina rezanja 0,1 m/min do 6 m/min, debljina rezanja 3 mm do 200 mm, korak mjernog sustava 0,01 mm, točnost pozicioniranja 0,2 mm. Stroj pogone tri servostroja. Mehanički prijenosnici ostvaruju gibanje portala preko zupčastih letvi. Za pogon u uzdužnom smjeru ugrađena su dva servosustava (s jedne i druge strane portala). Dvostruki pogon po uzdužnim stazama važan je za miran hod portala i pri najvećim brzinama te ostrim promjenama brzina na kutovima oblika koji se režu. Nosači gorionika imaju sustav za elektromotorno podizanje i spuštanje gorionika, na daljinsku komandu preko upravljačkih tipki ili pak programski. Ugrađeni su i uređaji za automatsko održavanje visine gorionika, što je potrebno za automatski programski ciklus rezanja (probijanje lima), kao i za održavanje razmaka sapnice tijekom rezanja usprkos eventualnim neravninama lima. Standardno se ugrađuju i električni upaljači plamena. U stroj je ugrađena profesionalna CNC upravljačka jedinica namijenjena preciznim alatnim strojevima, koja svojom točnošću uvelike nadmašuje potrebe stroja za rezanje. Imala je zaslon u boji i disketnu jedinicu (2004. godina!) za unos programa rezanja, a moguće je bilo i povezivanje s računalom u tehničkom uredu gdje se pripremaju programi rezanja. Rad stroja potpuno je automatiziran: poslužitelj na stroju mora postaviti lim, pozicionirati gorionike u početni položaj, izabrati program rezanja i aktivirati start programa. Pozicioniranje na mjesto paljenja plamena, spuštanje gorionika, grijanje lima, probijanje, rezanje, podizanje gorionika i prijelaz na novu poziciju odvija se automatski u skladu s aktiviranim programom. Poslužitelj



Sl. 14.: Stroj za plinsko rezanje Ivana proizvođača Unicut d. o. o. iz Pule opremljen servoasinkronim strojevima



Sl. 15.: Razdjelnik s tri servofrekvencijska pretvarača i CNC upravljačkom jedinicom

može intervenirati (prema potrebi) za: korekciju brzine tijekom rada, korekciju širine proreza, korekciju vremena grijanja lima na mjestu probijanja.

Godine 2004. na tom sam stroju, slika 14. i 15., izvršio zamjenu postojećih istosmjernih pogona novim izmjeničnim asinkronim servostrojevima kompaktanog prigrađenim na zupčaste prijenosnike s čelnim zupčanicima. Strojevi se napajaju iz servopretvarača serije EVS9300-ES. CNC upravljanje davalo je signale pojedinim osima, a servopretvarači su vršili samo funkciju gibanja.

Specifičnost tog stroja u smislu električne opreme je da su to zaista robusni strojevi koji rade u prljavom okolišu punoj metalne prašine, u brodogradilištima ili strojarskoj industriji, pri rezanju dijelova. Zahvalan sam Franku Pužaru na danom povjerenju da s Lenzeovim pogonima udahnemo novu suvremenu dušu u plazma-rezačicu – domaći proizvod.

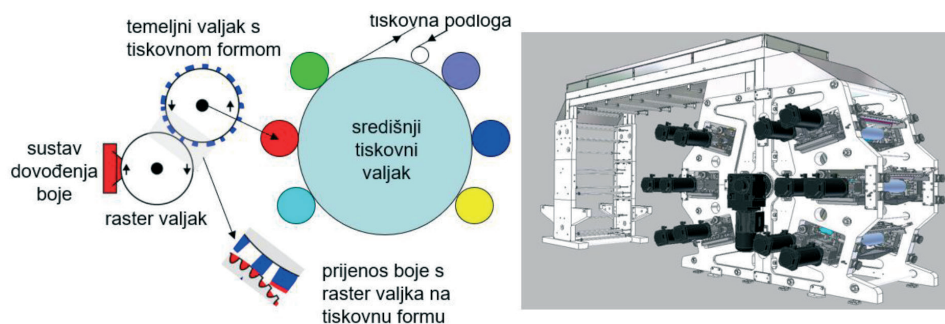
Projekt 5.: Rješenje pogona naprave za posluživanje tiskarskog stroja

U tiskarskoj tehnologiji za dobivanje višebojnog otiska na tiskovnoj podlozi u obliku filma često se zbog kompaktnosti stroja pristupa rješenju sa središnjim tiskovnim valjkom, slika 16. Središnji valjak može biti promjera i do 2 m. Oko njega su smještene tiskovne baterije za pojedine boje. Boja se dovodi u spremnik iz kojeg se oplakivanjem prenosi na raster-valjak. Površina raster-valjka gravirana je u mnoštvo čunjeva između kojih su udubine u koje se hvata boja. Okretanjem se boja iz raster-valjka prenosi na temeljni valjak na kojem je fleksibilna tiskovna forma. Po njoj se ta tehnologija tiska naziva *flexo* tisak. Tiskovna forma zapravo je žig smješten po obodu temeljnog valjka. Odmjerenim pritiskom temeljnog valjka s tiskovnom formom na raster-valjak dolazi do prijenosa boje na tiskovnu formu. Pritiskom pak temeljnog valjka s tiskovnom formom na središnji tiskovni valjak s tiskovnom podlogom dolazi do prijenosa obojenog otiska fleksibilne tiskovne forme (žiga) na tiskovnu podlogu. Takvi višebojni tiskarski strojevi imaju i do deset baterija s bojama. Središnji tiskovni valjak određuje brzinu prolaza tiskovne podloge kroz stroj, a prema njemu se sinkroniziraju sve boje, tj. svi temeljni valjci s tiskovnim formama. Ta se sinkronizacija izvodi električnim putem servopogonima u načinu rada “električne osovine”. Sve boje se moraju savršeno poklapati i tek onda je slika željene kvalitete. I raster-valjci moraju biti sinkronizirani s temeljnim valjcima kako ne bi dolazilo do međusobnog proklizavanja između valjaka što bi oštetilo tiskovnu formu. Tako svaka boja ima dva servopogona i sve su boje međusobno sinkronizirane. Prednost je fleksibilnih tiskovnih forma što je njihov postupak izrade jednostavan i brz, no broj mogućih otisaka je ograničen. Time je ta tehnologija primjerena za manje serije, a to znači uz česte izmjene tiskovnih formi. Promjena tiskovnih formi znači skidanje temeljnih valjaka sa stroja, skidanje postojećih i postavljanje novih tiskovnih formi i konačno vraćanje valjaka u stroj. Kako bi se što više skratilo vrijeme promjene valjaka (koje može biti i dulje od samog tiskanja!), domislilo se temeljni valjak napraviti u obliku šupljeg cilindra – rukava koji se navuče na osovinu u stroju i zračno zabravi. Po završetku tiskanja rukav s tiskovnom formom odbravi se i svuče s osovine te zamijeni novim rukavom na kojem je nova tiskovna forma. Zamjena rukava puno je jednostavnija od zamjene cijelog valjka, a novi zamjenski rukav može

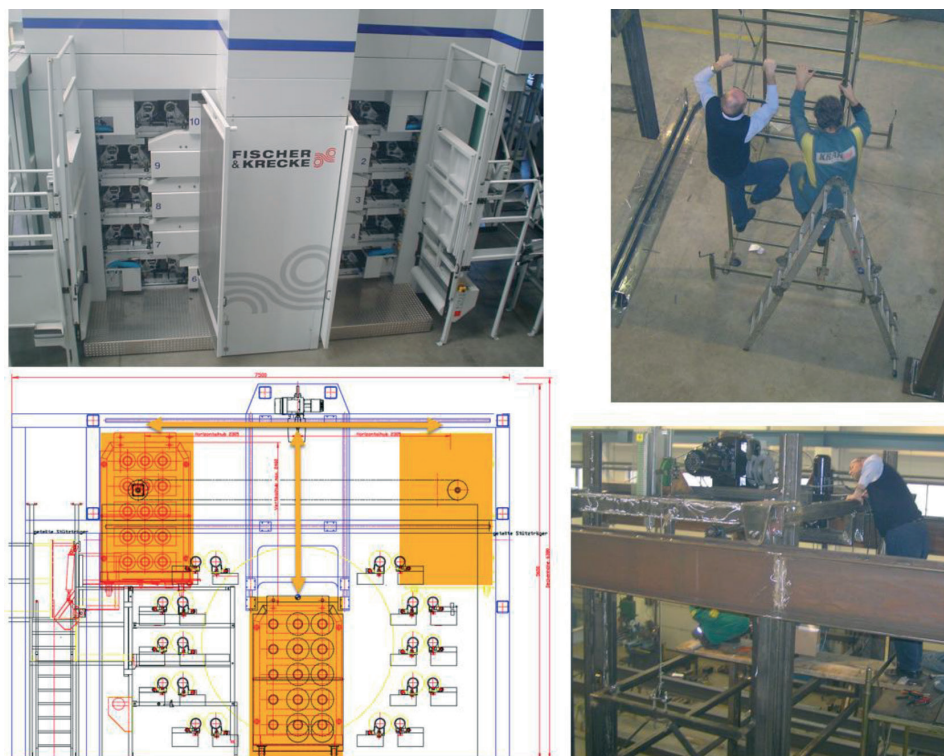
se oblijepiti novom tiskovnom formom dok se stroj vrti. Koristeći zamjenu rukava s tiskovnom formom, a ne zamjenu valjka, tiskarski stroj ostvaruje minimalan zastoj proizvodnje.

No zamjena rukava s tiskovnim formama nije jednostavna operacija jer se odvija u prostoru izvan tiskarskog stroja. Stoga su zamišljena kolica na kojima se nalaze rukavi s novim tiskovnim formama, ali i mjesta za prihvat rukava s tiskovnim formama koje se skidaju sa stroja. Ta se kolica moraju podignuti u prostor dizalicom i namjestiti pred željenu poziciju. Potom se osovina kolica teleskopski produljuje i gotovo spaja s osovinom temeljnog valjka boje na stroju. Tad se stari rukav prevlači s osovine temeljnog valjka boje i odlaže na osovinu kolica, uvlači se produžna osovina za prevlačenje, a kolica se pomiču tako da se na tu osovinu boje može navući novi rukav pripremljen na nekoj osovinu kolica. Tako se zadatak za operatera stroja svodi na podizanje kolica s poda i pomicanje lijevo-desno. Slijedi izvlačenje produžne osovine koja spaja osovinu kolica i osovinu temeljnog valjka boje na stroju, što se izvodi ručno kao i samo prevlačenje rukava. Kako su u geometriji stroja pozicije osovine boja i pozicije osovine na kolicima gdje se smještaju rukavi (stari i novi) fiksno zadane, moguće je digitalno zadati da se kolica pomaknu na izabrano mjesto. Za to je potrebno stroj jednom “naučiti” gdje mu je početna pozicija i poslije birati poziciju zaustavljanja kolica, tj. točno određenu osovinu na kolicima postaviti na točno određenu poziciju temeljnog valjka pojedine boje.

Opisani zadatak dizalice manipulatora za posluživanje deseterobojnog tiskarskog stroja Fischer & Krecke GmbH za operaciju zamjene rukava s tiskovnim formama došao je iz tvrtke KRANING d. o. o. diplomiranog inženjera elektrotehnike Jusufa Ivkovića. Tvrtka KRANING projektirala je i strojarski dio dizalice koja se sastojala od kranske staze na stupovima, voznog vitla s vodičicama za prihvatnu napravu za prihvat kolica, prihvatne naprave za kolica i samih kolica. Vozno vitlo čini konično-zupčasti motorni prijenosnik za horizontalni pomak vitla lijevo-desno, konično-zupčasti motorni prijenosnik za verti-



Sl. 16.: Višebojni tiskarski stroj sa središnjim tiskovnim valjkom

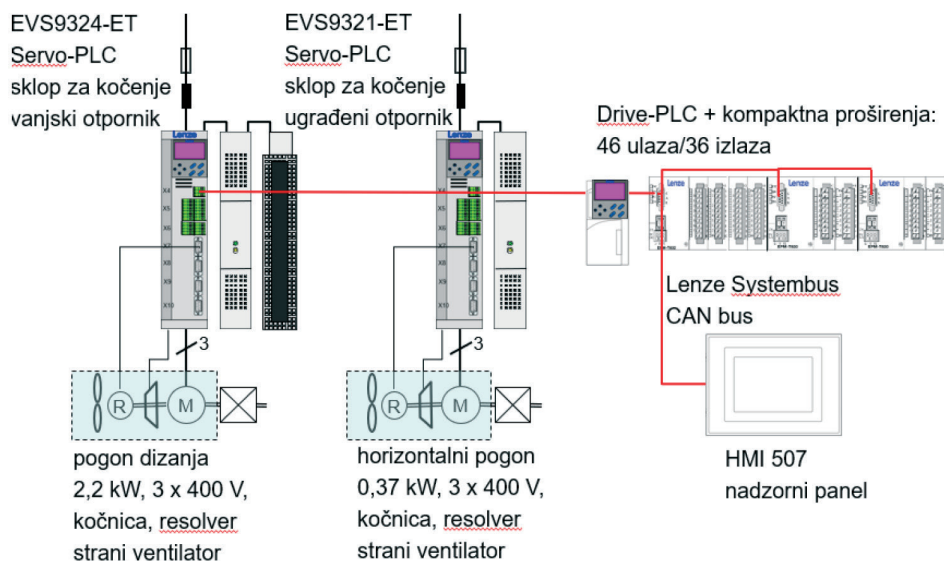


Sl. 17.: Deseterobojni tiskarski stroj, prostor podizanja i horizontalnog pomicanja kolica s tiskarskim rukavima, detalji pri gradnji uređaja

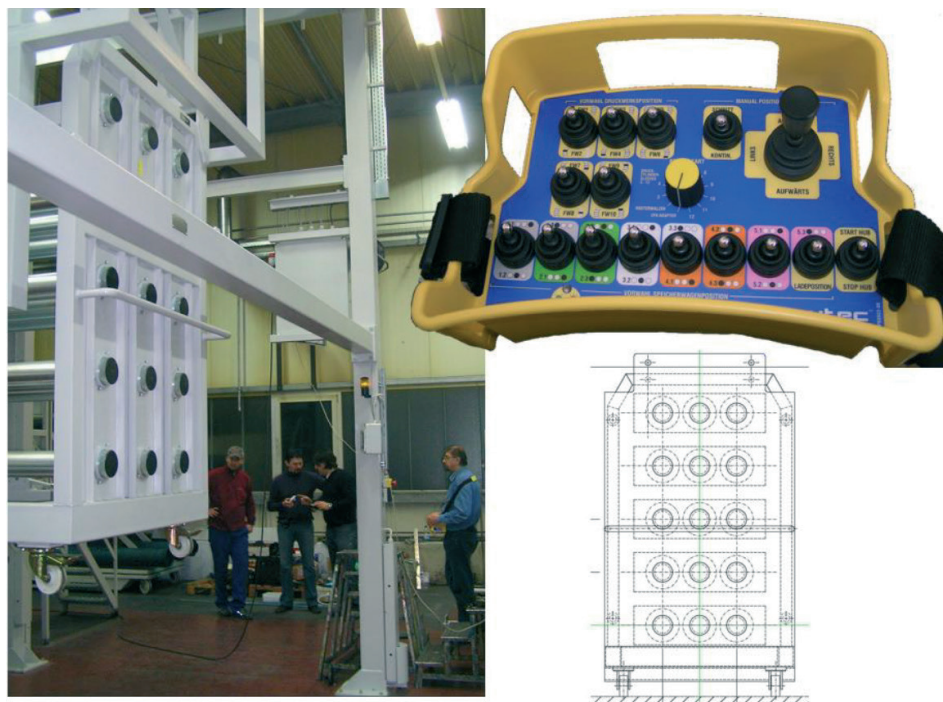
kalni pomak dizanja i spuštanja kolica, bubanj za namatanje užeta kuke za podizanje kolica, pogonski i prateći kotači horizontalnog pogona i upravljački ormar s elektroopremom.

Servopogoni (pogon dizanja i pogon horizontalnog pomaka) opremljeni su elektromagnetskim kočnicama i davačima položaja rotora. Upravljanje gibanjem odvija se u Lenze 9300 servo-PLC frekvencijskim pretvaračima, slika 18. Frekvencijski pretvarači dobivaju nalog za vožnju iz nadzornog računala *Drive PLC* koje prati sva stanja pogona preko 46 digitalnih ulaza i upravlja sa 36 digitalnih izlaza (krajnji prekidači, sigurnosne zavjese, sklopke za isključivanje u nuždi, radiokomunikacija s upravljačkim uređajem operatera dizalice, zvučna i svjetlosna signalizacija...).

Dizalicom se upravlja sa zemlje. Najsloženiji dio bio je kako 1650 mogućih kombinacija pozicioniranja osovina na kolicima ispred osovina valjaka tiskarskog stroja prevesti u za operatera lako shvatljive radnje. U tu svrhu osmišljen je uređaj radio daljinskog upravljanja s potrebnim sigurnosnim i funkcijskim tipkama i preklopkama te ručicom za upravljanje. Kodiraju se željena pozicija



Sl. 18.: Pogoni i sustav za upravljanje dizalicom za posluživanje tiskarskog stroja



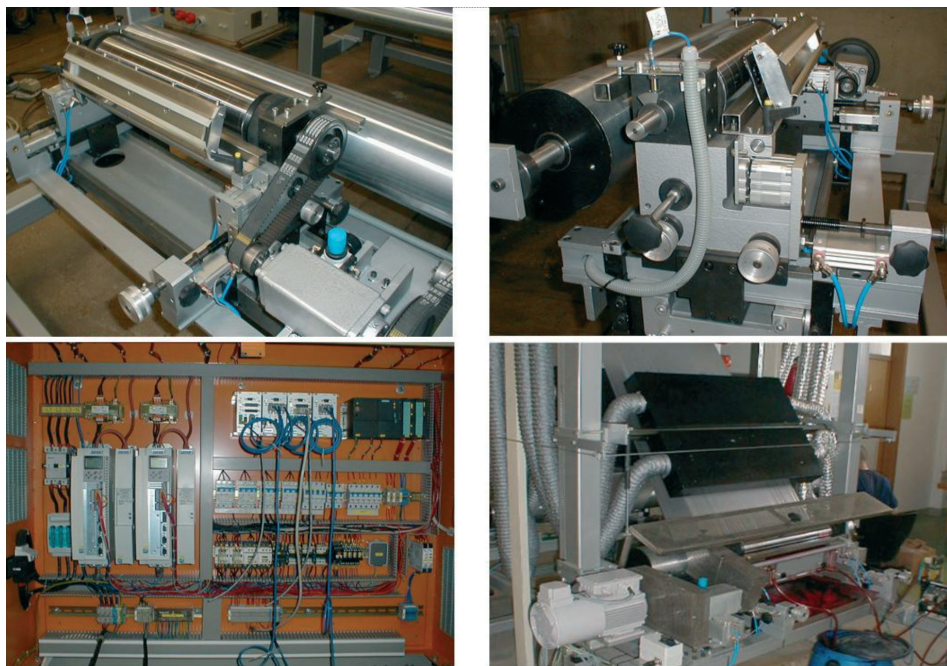
Sl. 19.: Kolica s osovinama za rukave s tiskovnim formama i uređaj za upravljanje dizalicom

osovine na kolicima i ciljna pozicija osovine u tiskarskom stroju i starta vožnja u zadanu poziciju. I tako kružno dalje do promjene svih rukava. Rješenje kodiranja 1650 mogućih pozicija i svih upravljačkih naredbi na radio upravljačkom uređaju sa zemlje, slika 19, uključujući i sve električno opremanje dizalice, briljantno je zamislio i obavio Jusuf Ivković, dipl. ing. elektrotehnike, a dekodiranje i pretvorbu naredbi s upravljačkog uređaja u naredbe za frekvencijske pretvarače pogona nevjerojatno je pojednostavnio i osmislio Marin Dolinar, dipl. ing. elektrotehnike iz tvrtke MEL d. o. o. Marin Dolinar osmislio je i nadzorno sučelje u obliku zaslona osjetljivog na dodir koji je omogućavao i dodatne informacije i poruke pri radu s dizalicom. Taj zaslon nije bio nužan za sam rad s dizalicom. Moj je zadatak bio osmisliti opremu za upravljanje prema slici 18. i programirati pretvarače za obavljanje vožnje po nadređenim komandama. Na ovom zadatku došlo je do neponovljivog spoja iskustava u dizaličnim sustavima g. Ivkovića, iskustava u programiranju PLC-a g. Dolinara i mojeg iskustva u pogonima s pozicioniranjem i općenito s izborom Lenzeove elektroničke i mehaničke opreme. No, posebno je tu bio i onaj tako lijep osjećaj da se mi hrvatski inženjeri možemo drznuti i obaviti u cijelosti traženi zadatak i isporučiti stroj 2008. u Njemačku.

Projekt 6.: Rješenje pogona dvobojnog tiskarskog stroja

Iako samo poznavanje tiskarske tehnologije nije bilo presudno u projektu netom opisanog dizaličnog manipulatora, ono je sigurno pomoglo u “smanjenju straha od nepoznatog”. Naime, davne 2003. godine Vladimir Domović, dipl. ing. strojarstva me izazvao zadatkom upravo iz tiskarske tehnologije. On je projektirao *in line* dvobojni tiskarski stroj za polietilenski film. *In line* znači da se polietilenski film odmah po ekstrudiranju provodi kroz tiskarski stroj i tek potom namata, što znatno skraćuje proces proizvodnje otisnutog filma. Otiskivanje ekstrudiranog filma u obliku crijeva koristi se, primjerice, za proizvodnju vrećica s tiskom.

Ovdje su primijenjeni servofrekvencijski pretvarači za upravljanje jednom bojom, a međusobno sinkroniziranje boja provodilo se preko posebnog vanjskog uređaja za sinkronizaciju. Ideja stroja je da valjak s tiskovnom formom miruje, mjeri se duljina prolaza filma i generira se nalog za start otiskivanja. Tad se valjak s tiskovnom formom zalijeće do obodne brzine jednake brzini prolaza tiskovne podloge, počinje otiskivanje na željenoj poziciji prolaza filma. Za vrijeme otiskivanja tiskovna forma ide sinkrono s tiskovnom podlogom, a kad je otiskivanje završeno valjak se zaustavlja i čeka sljedeći nalog za start otiskivanja. Druga boja morala je pratiti prvu boju po poziciji. S ovih nekoliko fotografija na slici 20. želim zahvaliti g. Domoviću jer sam kroz njega i uz njega od 1997. do 2000. godine u Zagrebplastu d. o. o. otkrivao tajne tehnologije

Sl. 20.: Detalji dvobojnog *in line* tiskarskog stroja u nastajanju

ekstruzije polietilenskog filma u crijevu, višebojnog tiska polietilenskog filma s fleksibilnom tiskovnom formom i konfekcije otisnutog polietilenskog filma u vreće i vrećice za nošenje. Sve je strojeve u ovoj tehnologiji g. Domović poznavao u dušu (mnoge je sam konstruirao!) jer je svoje inženjersko formiranje prošao u tvornici Zagrebplast d. o. o., gdje je osobno rastao od svojeg prvog zaposlenja do direktora tvrtke koja je proizvodila 12 000 tona godišnje i zapošljavala 200 radnika i već u to vrijeme (prije 25 godina!) imala cjelokupnu proizvodnju praćenu računalom.

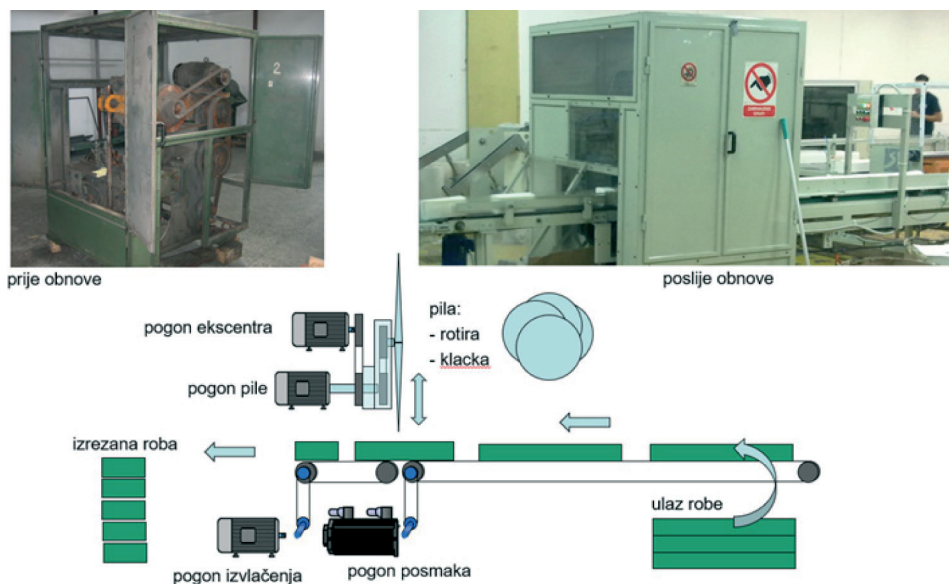
Projekt 7.: Rješenje pogona rezalice papira

S tvrtkom Rimanić d. o. o. i njezinim vlasnikom diplomiranim inženjerom Brankom Rimanićem iz Pazina obnovljena su od 2004. do 2008. četiri slična stroja za rezanje rola papira. On je imao beskrajno povjerenje u mene (hvala mu na tome!), a ja sam osjetio izazov rješivog zadatka koji mi je donosio nova iskustva.

Zadatak radnog mehanizma je izrezati rolu namotanog papira dugu od 1,0 m do 1,3 m na rollice duljine po 0,1 m. Krajnji su proizvod, primjerice, rollice toaletpapira ili ubrusa za ruke. Stroj ima zapisan recept rezanja i pomiče

inkrementalno polaznu rolu. Nakon svakog pomaka pila odreže rezom željenu duljinu proizvoda. Pila je kružne izvedbe, tanka čelična ploča u vrtnji, naoštrena na rubovima. Pila je montirana na ekscentar kojim se ostvaruje klackajući hod gore-dolje. Rješenjem je osigurano da u donjem položaju gibanja ekscentra pila sigurno prorezuje rolu papira, a u gornjem položaju ekscentra pila bude sigurno iznad role papira. Dok je pila izvan role papira, posmačni pogon pomiče rolu u poziciju za sljedeći odrez. Potom pila prorezuje rolu dok ona stoji, a čim iziđe pila iz role, rola može opet biti pomaknuta. Stroj može napraviti do 60 odreza u minuti s cca 100 mm duljine odreza. Što je viša brzina vrtnje ekscentra, pila može napraviti više odreza, ali je i kraće vrijeme za posmak materijala. Servo-pogon omogućuje kontrolirano ubrzanje i usporenje bez poskakivanja i pomicanja rezane role u njezinoj putanji za vrijeme posmaka. Osnovni zahtjev stroja je da pila nikad ne uđe u rolu koja se još giba jer će gotovo sigurno doći do puknuća pile, a pri puknuću pile komadići lete svuda okolo po kućištu stroja, ali i kroz otvore gdje rola ulazi u stroj i gdje izrezani komadi role izlaze iz stroja.

Strojevi su bili polazno hrpa zahrđalog željeza. No s puno entuzijazma zapravo je s tih strojeva trebalo “samo” poskidati mehaničku opremu i “raspo-jiti” međusobno mehaničke veze posmaka, ekscentra i pile i uspostaviti nove električne veze. Uvijek bi se napravio proračun gibanja točke, a iz tako dobivenih putova i vremena, točki koja se giba dodala bi se masa i realni mehanički otpori. Tako se dolazi do stvarnih sila i zakretnih momenata potrebnih za



Sl. 21.: Stroj za rezanje rola papira: od hrpe željeza do linije u radu

proračun pogona. Posmak role riješen je servomotorom s prigradenim zupčastim čelnim prijenosnikom, a sama veza posmačne trake i prijenosnika izvedena je zupčastim remenom. Logika posmaka i općenito nadzor gibanja role, nadzor senzora uvjeta po stroju i samog upravljanja strojem izvedena je u PLC-u ugrađenom u Lenzeov pretvarač serije 9300. Na svakom stroju uvijek je bila jedinica za komunikaciju i parametriranje procesa rezanja uz mogućnost spremanja recepture. Bila je i programirana mogućnost provjere procesa recepta bez uključanja rada pile. Svi ostali pogoni riješeni su običnim pretvaračima frekvencije. Tvrtke vlasnici tih “novih strojeva” dosad su rezale role papira običnom tračnom pilom kakvom se inače pile drva za grijanje. Možete si zamisliti porast produktivnosti i “količinu sačuvanih prstiju” za godine djelovanja tih četiriju strojeva. Da me bilo strah da mi pila ne pukne u probnom radu dok je stroj još bio nezaštićen, to ovdje ne bi trebalo niti spominjati. Rukovodio sam se samo da sam uvijek stajao izvan smjera centrifugalnih sila, ali da se pila ipak sudarila s rolom u radu i posljedično puknula, trebalo bi mi i uz takav oprez jako, jako puno sreće.

Projekt 8.: Elektromotorni pogon skijaške trake na Platku

U rješenju pogona skijaške trake na Platku surađivao sam sa Željkom Mladenovićem, diplomiranim inženjerom strojarstva iz ondašnje tvrtke Žičare Platak d. o. o. Gospodin Mladenović došao je s idejom da će on sam proizvesti skijašku traku. Kako je bio dobar duh Platka, zaljubljenik u skijanje i prirodu, i kako sam s njim već u nekoliko navrata surađivao na pogonima postojećih žičara na Platku, nisam sumnjao da će mu to i uspjeti. Na kraju vidio sam njegove topove za proizvodnju snijega na Platku, sve iz kućne radinosti, uvjerio sam se kako vješto priprema i oprema *ratrak*, tako da tu nije bilo potrebe za posebnim oprezom jer tehnologiju i djelovanje trake kojom ja nisam vladao preuzeo je on. Iako se u prvi čas može pogon trake činiti kompliciran, on to nije kad imate investitora koji je proučio rješenja na stranim skijalištima i suvereno vas tehnonolški vodi u projektu, uključujući i određivanje snage i brzine vrtnje izlaza pogona (18,5 kW, 6600 Nm, 25,5 okr/min).

Razvodni ormar od plastike smješten je na gornjem dijelu staze, na otvorenom bez kućice! Staza je duga 150 m. Primijenjeno je rješenje “ormar u ormaru” zbog nezahvalne klime na Platku. U unutarnjem ormaru smještena je sva oprema, uključujući Lenzeov običan pretvarač frekvencije snage 22 kW. S ormarom komuniciraju dvije upravljačke kutije, jedna pri vrhu staze i jedna pri dnu, za pokretanje i zaustavljanje staze. Staza je opremljena brojačem putnika i fotočelijom na izlazu koja sama uočava zastoj na izlazu, dakle, da je netko možda pao pri izlazu. Sam ormar ima vlastito grijanje i riješen odvod kondenzata, ali zapravo najvažniji zadatak je bio spriječiti razaranje opreme od udara



Sl. 22.: Skijaška staza – vučnica na Platku i detalj rješenja

munje. Platak ima učestala atmosferska pražnjenja i postojala su iskustva kako se gotovo svake godine promijeni barem jedan frekvencijski pretvarač koji je stradao od udara munje. Odvodnik prenapona i struje munje dobar je dok radi, međutim, ako prvi udar ošteti odvodnike, drugi udar mogao bi oštetiti sad neštićenu i skupu opremu. To sam riješio tako da se svaki dan poslije upotrebe napojni kabel odspaja, a svi kabele koji vode u ormar i iz njega odspajaju sa svojih utičnica i prebacuju na “prazne” utičnice u vanjskom ormaru kojima su pak svi spojevi uzemljeni. Ta operacija traje nekoliko minuta i možda je dosadna, ali za deset godina koliko je traka u pogonu do mene nije došla vijest da je pretvarač stradao od munje! Pogotovo je to bilo potrebno napraviti nakon skijaške sezone! Posebnost projekta bilo je i puštanje u pogon. Kao i uvijek, sutra je trebao biti tehnički pregled. Mi smo dan prije tog pregleda uz susnježicu i ledenu kišu i uz metar snijega oko nas mokri i promrzli podešavali parametre i funkcionalno testiranje.

Zaključak

Nije moguće u jednom članku opisati osam godina intenzivnog rada koji je rezultirao s približno 4,5 milijuna eura prodanih elektromotornih pogona. Osam izabranih projekata tek rubno dočarava što jedan trgovac pogonima može u praksi očekivati ako se ne boji posla. Iza svakog ovog projekta mogla je stajati serijska proizvodnja radnih mehanizama – strojeva. Danas kad gledam unatrag kristalno je jasno da Lenzeu u Hrvatskoj nije bio cilj razvoj strojogradnje, zato nisu išli u “investiciju” da zaposle više ljudi koji bi onda s vremenom

pridonijeli i razvoju tvrtki koje bi više kupovale njegovu robu. Ne, to nije bio cilj! Cilj je bio moći na zadnjoj stranici kataloga, uputa korisniku i mrežnoj stranici napisati da Lenze ima ured u Hrvatskoj. Kako je strojogradnja strateško područje i Njemačke i Austrije, njihove politike su željele (i žele još i sad!) zapošljavati svoje radnike u svojoj strojogradnji i ne žele razvijati hrvatsku strojogradnju prenoseći jako intenzivno tehnološke inovacije u opremi. Ured s jednim putujućim trgovcem sasvim je dovoljan da se servisno mogu poslužiti prodani njemački i austrijski strojevi u Hrvatskoj, a da se tehnologija prenosi na kapaljku. Moj predani osmogodišnji napor da se napravi ozbiljnija poslovница s tri do četiri čovjeka nije se uklapao u strategije vlasnika. Sad s odmakom potpuno mi je jasno i zašto. Po mojem odlasku nakon osam godina iz tvrtke Lenze 2008., tvrtka je još neko vrijeme funkcionirala u Hrvatskoj da bi danas zapravo bila potpuno ugašena i sva prodaja za RH danas se radi preko slovenske podružnice. Nakon mene Lenze nije uspio naći čovjeka u Hrvatskoj koji bi ostao dulje od godine.

Koje bih iskustvo želio predati mladom čitatelju? Koristio sam skiciranje običnom olovkom i razgovor kroz skice. Tvrdim da nema boljeg alata za posao od skice. Prvo što treba učiniti na terenu je skica. Od skice se može dalje. Ako sam se s terena vratio bez skice, to je bilo izgubljeno vrijeme. Skica je više od fotografije. Kad vas kupac traži skicu koju ste crtali o njegovu rješenju, prodaja je gotovo već ostvarena. Nadalje, proživio sam brojna puštanja u pogon. Taj dobar osjećaj nakon pokretanja pogona, kad se sve ponaša očekivano i bez iznenađenja, najbolje je gorivo za nove izazove.

I da, želim mladima poručiti da je zvanje trgovca visokovrijedno zvanje i da je današnji trgovac u ovom ubrzanom digitalnom svijetu možda u prednosti pred inženjerom u konstrukcijskom birou ili proizvodnoj firmi. Trgovac vodi odjednom desetke projekata, ne može u svakome biti jednako duboko, naravno, ali u istom razdoblju vidi i može nevjerojatno naučiti kombinirajući i dograđujući iskustva iz paralelno vođenih projekata. Potpuna je neistina da je trgovac lišen tehnike, tehnološkog promišljanja i predanog projektantskog, ponekad i znanstvenog rada i stvaranja. Onaj zanos koji sam imao radeći na doktoratu, nebrojeno puta sam osjetio i ponovio na terenu. Trgovac sam dozira prema svojim sposobnostima koliko čega će imati svaki dan, koliko rutine, a koliko učenja. Naše je društvo definiralo da se uglavnom na fakultetima, znanstvenim institucijama uči i obrazuje, potiče znanost i znanstveni rad. No, kao običan trgovac nerijetko sam se osjećao kao "gost profesor" kod svih mojih dragih kupaca. Učio sam od svih njih, a posebno sam učio sebe poniznosti i zahvalnosti što su se upravo oni našli na mojem putu i što imam priliku pomučiti se da im pomognem i tako pošteno zaradim kruh svoj svagdašnji.

Literatura

- [1] Zdenković, J.: Frekvencijski pretvarač VEKTOREG, 7. Simpozij PIFT 2018., Zbornik radova, Zagreb, 2018., str. 337-354.
- [2] Zdenković, J.: Prikaz nekoliko revitalizacija elektromotornih pogona dizalica od 2006. do 2017. godine, 8. Simpozij PIFT 2019., Zbornik radova, Zagreb, 2019., str. 795-816.

Posveta

Članak posvećujem supruzi i djeci. Svi su oni bili zakinuti za brojne sate dok sam se “igrao” svojim igračkama – pogonima po cijeloj Hrvatskoj.

Selection from the diary of an induction electric motor drive trader

Josip Zdenković

Abstract: The article presents 8 selected solutions of electric motor drives in the 8-year period of the author's employment in the company Lenze mehatronika d.o.o. starting in 2000. All described drives contain frequency converters manufactured by Lenze Antriebstechnik G.m.b.H. and asynchronous electrical machines. The selected examples aim to point out the specific requirements of the domestic modest market of electric motor drives of that time where the trader could not only be a trader but in many cases is also a development application engineer and traveling teacher of modern drive technology. Developing concrete plant applications and training partner users takes time. But as there was no repetitive job in the domestic market that would provide a break for application development, self-training and user training, the trader had to constantly choose between the routine that currently brought the salary and the challenge to learn something new to increase the likelihood of selling something to be able to earn his salary tomorrow.

Keywords: electrical drive with induction machine, Lenze frequency converter, drive application description, single axis drive control, servo drive with induction machine