

Boris Halasz

00-00

LABUĐI PJEV ANALOGNIH RAČUNALA

*Komplet od 15 analognih računala za proračun
izgaranja u ložištima parnih kotlova*

Sažetak: Šezdesetih godina dvadesetog stoljeća pod okriljem Tvornice parnih kotlova u Zagrebu napravljen je komplet analognih računala za izračunavanje pojedinih formula za proračun parnih kotlova. Iako impresivan po dosjetljivosti kojom je napravljen, ubrzo je zastario jer su se pojavili elektronički kalkulatori i kompjutori koji su sva dotadašnja računaska pomagala jednostavno bacili u povijest. Ipak, način na koji su napravljena zaslužuje pohvalu za domišljatost i trud koji su ljudi nekad ulagali da bi riješili probleme koji se danas čine i jesu jednostavno i lako rješivi.

Ključne riječi: analogna računala, Gvidon Gulič, proračun izgaranja, Tvornica parnih kotlova Zagreb, nomogrami

Uvod

Ovaj komplet analognih računala napravljen je pod okriljem Tvornice parnih kotlova u Zagrebu, po svemu sudeći sredinom šezdesetih godina dvadesetog stoljeća. Igrom slučaja našao se u posjedu autora u drugoj polovini sedamdesetih godina na Katedri za Nauku o toplini Fakulteta strojarstva i

brodogradnje. Nakon puno godina izašao je na svjetlo dana i doniran je Tehničkom muzeju Nikola Tesla u Zagrebu, zajedno s vrlo detaljnim opisom matematičke podloge s kojom su osnovana pojedina računala, a čiji skraćeni prikaz je dan ovdje.

Po svemu sudeći, autor tih računala je inženjer Gvidon Gulič, stručnjak za parne kotlove u predratnoj i poslijeratnoj Jugoslaviji, autor niza knjiga i nomograma za izračunavanje pojedinih formula za proračun parnih kotlova. Od niza knjiga koje je objavio, ovdje ćemo spomenuti samo tri na temelju kojih su ova računala napravljena:

Sagorevanje, Beograd, 1964.,

Sagorevanje I dodatak II izdanju, Beograd, 1970.,

Goriva-izgoretine, Beograd, 1964.

Fizički opis računala

Računala su napravljena od ravnih PVC ploča debljine 1,5 i 0,8 milimetara. Od njih 15 čak 11 imaju oblik kruga, tri su oblika kružnog isječka i jedno je oblika pravokutnika, slika 1. Kružna računala se sastoje od jednog većeg diska promjera oko 110 mm i debljine 1,5 mm te jednog ili dva manja diska promjera oko 90 mm i debljine 0,8 mm. Računala oblika kružnog isječka imaju samo jednu ili dvije radijalne kazaljke za očitavanje rezultata.

Zbog lošeg izbora materijala i loše obrade, kod svih je računala došlo do deformacije diskova i kazaljki, tako da se s njima više ne bi moglo jednostavno raditi, ali i takva su pogodna za analizu načina osnivanja i mogućeg rada.

U nastavku su prikazana sva ta analogna računala te opisana matematička podloga za njihovu konstrukciju i način uporabe.

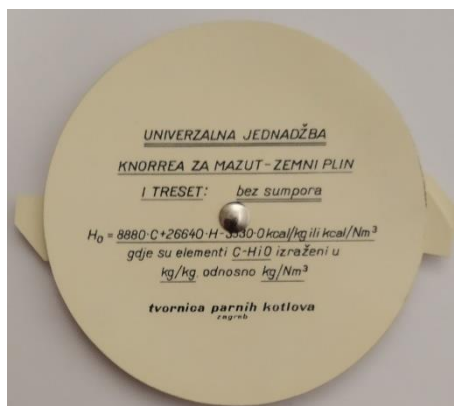
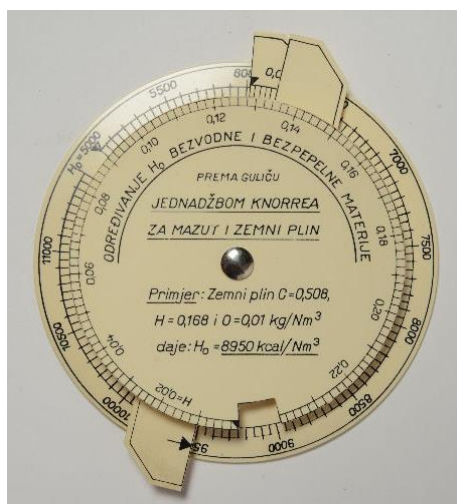
Izvorni "redoslijed" računala, ako se o redoslijedu uopće može govoriti, u nizu nije poznat pa su ovdje poredana po logici kako teče proces izgaranja, pa onda i proračun koji ga slijedi, a to je:

- svojstva goriva i priprema za izgaranje;
- proračun izgaranja;
- kontrola izgaranja i
- zbrinjavanje produkata izgaranja.



Sl.1. Komplet od 15 analognih računala za proračun izgaranja u ložištima parnih kotlova

1. »ODREĐIVANJE H_0 BEZVODNE I BEZPEPELNE MATERIJE PREMA GULIČU JEDNADŽBOM KNORREA ZA MAZUT I ZEMNI PLIN«



Sl. 1.1 Prednja i stražnja strana računala.

Ovo analogno računalo se sastoji od većeg stražnjeg većeg diska, manjeg prednjeg manjeg diska i dviju radialnih kazaljki između njih. Kazaljke se *lijevim rubom* poravnavaju s relevantnom vrijednošću na skali.

Jednadžba koja se njime računa je formula za gornju ogrjevnju vrijednost H_0 goriva koje od aktivnih sudionika ima ugljik (C), vodik (H) i kisik (O), a u kojem nema sumpora:

$$H_0 = 8880 \cdot C + 26640 \cdot H - 3330 \cdot O \quad \text{kcal/kg ili kcal/Nm}^3 \quad (1.1)$$

prema prijedlogu Knorre, jednadžba 31a, citirana u Gulič: »Sagorevanje«, Beograd, 1964., str. 27. Koeficijentima »8880«, »26 640« i »3330« obuhvaćena goriva u knjizi su: mazut i treset. U *kasnijoj knjizi*, Gulič: »Sagorevanje | I DODATAK II IZDANJU«, Beograd, 1970., str. 9, primjenljivost iznosa tih koeficijenata proširena je i na zemni plin.

Sadržaj ugljika (C), vodika (H) i kisika (O) iskazuje se kao masa dotičnog sudionika u jedinici goriva:

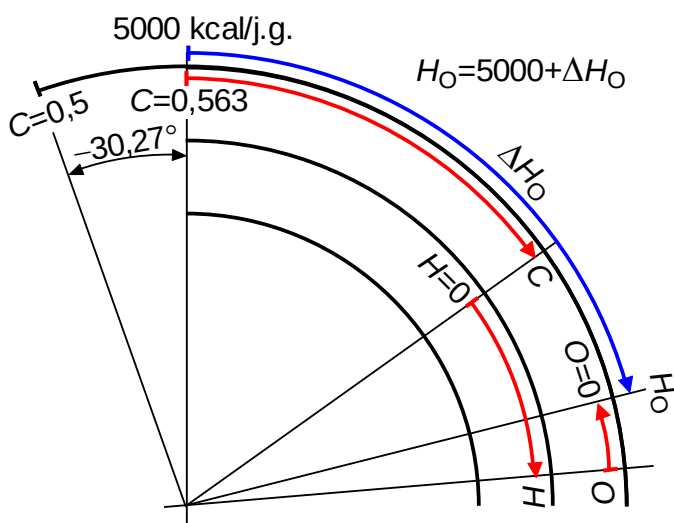
- za mazut: C [kg/kg_G]; H [kg/kg_G] i O [kg/kg_G] su *mase* dotičnih sudionika u kilogramu goriva (mazuta). Ako mazut sadrži primjetno sumpora, *jedinica goriva* se definira bez njega!
- za zemni plin: C [kg/Nm³]; H [kg/Nm³] i O [kg/Nm³] to su *mase* dotičnih sudionika u *normnom kubnom metru* goriva (zemnog plina) i njihov zbroj nije jednak jedinici.

Ovisno o vrsti goriva tj. mjernoj jedinici uvrštenih podataka C , H i O , gornja ogrjevna vrijednost H_O se dobije u kcal/kg goriva ili kcal/Nm³ goriva.

Na temelju podataka o stvarnim tehničkim gorivima odabrano je da ulazni podaci budu u granicama: $0,5 \leq C \leq 0,9$; $0 \leq H \leq 0,24$ i $0 \leq O \leq 0,05$. Za ogrjevnju vrijednost koja je rezultat računanja, kao početna vrijednost uzeto je: $H_O = 5000$ kcal/jedinici goriva.

Konstrukcija računala:

Navedena formula je očito zbroj/razlika umnožaka i to je riješeno kao zbrajanje/oduzimanje kutova. Kutovi se na skalama mjere od početnog položaja »12 sati« u smjeru kazaljke na satu. Ishodišna vrijednost svake skale označena je vrhom crne strelice.



Sl. 1.2 Načelna skica 'zbrajanja kutova' – crveno – pribrojnici. Ogrjevna je vrijednost zbroj početne vrijednosti i plavog dodatka i očita se izravno na skali za H_O .

Način uporabe računala:

Redoslijed uporabe skala odgovara redoslijedu članova u formuli, tj. prvo se računa doprinos ugljika, potom vodika, a tek onda se odbija učinak kisika.

1. Prvo se, zakretanjem prednjeg diska, u njegovoj uzubini pronade vrijednost masenog udjela ugljika na unutarnjoj skali stražnjeg diska. Prednji se disk desnim rubom svoje uzubine (polovicom vrha strelice) poravna sa zadanom vrijednošću masenog udjela ugljika, čime se na vanjskoj skali stražnjeg diska odredi dio gornje ogrjevnje vrijednosti goriva koji pripada ugljiku (8880 C);

2. Bez pomicanja obaju diskova, vrh strelice na dvokrakoj kazaljci pomakne se na zadanu vrijednost masenog udjela vodika u gorivu na skali prednjeg diska. Time je uzet u obzir doprinos vodika gornjoj ogrjevnoj vrijednosti goriva (+26 640 H);
3. Bez pomicanja obaju diskova i dvokrake kazaljke, jednokraka se kazaljka podvuče pod dvokraku kazaljku tako da se zadana vrijednost masenog udjela kisika poklopi s vrhom strelice dvokrake kazaljke! Razmakom od vrha strelice dvokrake kazaljke pa do vrha polovice strelice na jednokrakoj kazaljci (pomak ulijevo!) oduzet je utjecaj masenog udjela kisika u gorivu! (- 3330 O);
4. Na stražnjem disku se na vanjskoj skali, pod vrhom polovice strelice na jednokrakoj kazaljci očitava konačni iznos gornje ogrjevnje vrijednosti goriva prema formuli (1.1).

Na prednjoj strani prednjeg diska dan je i primjer za kontrolu računanja s tim računalom kao rezultat dobiven za jedan set podataka:

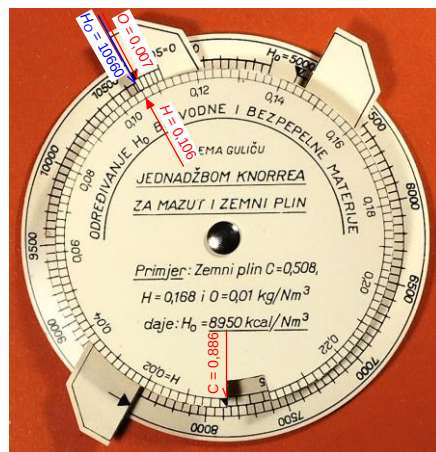
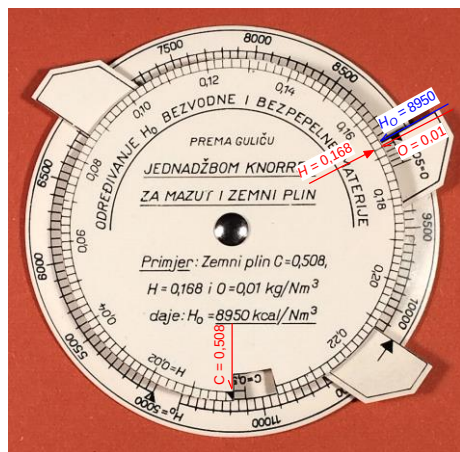
Za zemni plin sastava $C = 0,508 \text{ kg/Nm}^3$; $H = 0,168 \text{ kg/Nm}^3$ i $O = 0,01 \text{ kg/Nm}^3$ gore opisanim postupkom dobije se: $H_0 = 8950 \text{ kcal/Nm}^3$.

Izračun jednadžbe (1.1) elektroničkim kalkulatorom: $H_0 = 8953,3 \text{ kg/Nm}^3$.

Još jedan primjer proračuna za mazut može se naći na *nomogramu* prikazanom kasnije na slici 2.2:

Za mazut masenog sastava $C = 88,6 \%$; $H = 10,6 \%$ i $O = 0,7 \%$ uz nomogram je navedeno: $H_0 = 10\,667 \text{ kcal/kg}$. Pet znamenki u rezultatu nisu posljedica točnosti nomograma nego *malog trećeg pribrojnika*. Ovo računalo daje: $H_0 \cong 10\,660 \text{ kcal/kg}$.

Izračun jednadžbe (1.1) elektroničkim kalkulatorom: $H_0 = 10\,668 \text{ kcal/kg}$.



Sl. 1.3 Primjeri očitavanja: lijevo za zemni plin i desno za mazut

2. »ODREĐIVANJE H_0 BEZVODNE I BEZPEPELNE MATERIJE PREMA GULIČU JEDNADŽBOM KNORREA ZA MRKI UGALJ I LIGNIT«



Sl. 2.1 Prednja i stražnja strana računala.

Ovo analogno računalo jednako je koncipirano kao i računalo #1, a sastoji se od većeg stražnjeg diska, manjeg prednjeg diska i dviju radijalnih kazaljki između njih.

Jednadžba koja se njime računa je formula za gornju ogrjevnu vrijednost H_0 goriva čije su gorive komponente ugljik (C), vodik (H) i kisik (O):

$$H_0 = 8700 \cdot C + 26100 \cdot H - 3260 \cdot O \quad \text{kcal/kg} \quad (2.1)$$

prema prijedlogu Knorrea (jednadžba 31a, citirana u Gulič: »Sagorevanje«, Beograd, 1964., str. 27). Koeficijentima »8700«, »26 100« i »3260« obuhvaćeno gorivo u knjizi je "mrki" (smeđi) ugljen, a bez izvora u knjizi na ovom računalu uključen je i lignit.

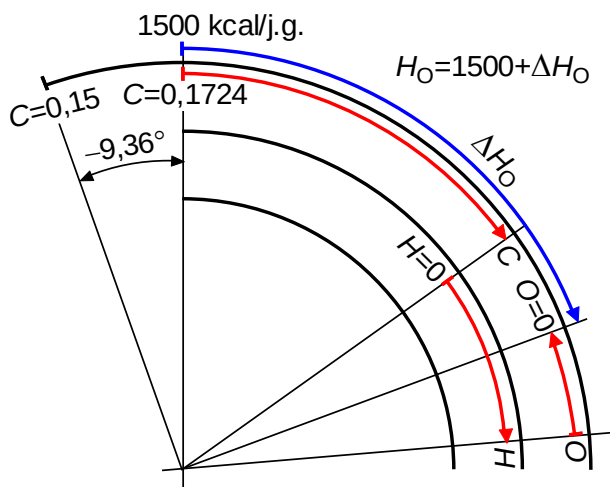
Sve vrste ugljena, pa i mrki i lignit sadrže vlagu i pepeo pa se udjeli: C [kg/kg]; H [kg/kg] i O [kg/kg] svode na *kilogram goriva uključujući sve sudionike osim sumpora*.

Primjer izračuna naveden na prednjoj strani manjeg diska prikazuje udjele ugljika, vodika i kisika koji daju *zbroj manji od jedinice*, dakle, deklarirani su za *gorivo s vlagom i pepelom*!

Konstrukcija računala:

Na temelju podataka o stvarnim ugljenima odabrano je da se ulazni podaci mijenjaju u granicama: $0,15 \leq C \leq 0,80$; $0 \leq H \leq 0,08$; $0 \leq O \leq 0,30$.. Za ogrjevnu vrijednost koja je rezultat računanja, kao početna vrijednost uzeto je: $H_0 = 1500$ kcal/jedinici goriva.

Navedena formula je očito *zbroj/razlika umnožaka* i to je riješeno na jednak način kao i prethodno računalo.



Sl. 2.2 Načelna skica "zbrajanja kutova" – crveno – pribrojnici; ogrjevna vrijednost je zbroj početne vrijednosti i plavog dodatka i očita se izravno na skali za H_O .

Način uporabe računala:

Način uporabe jednak je onom kod računala #1 i odgovara redoslijedu članova u formuli, tj. prvo se računa doprinos ugljika, potom vodika, a tek onda se odbija učinak kisika.

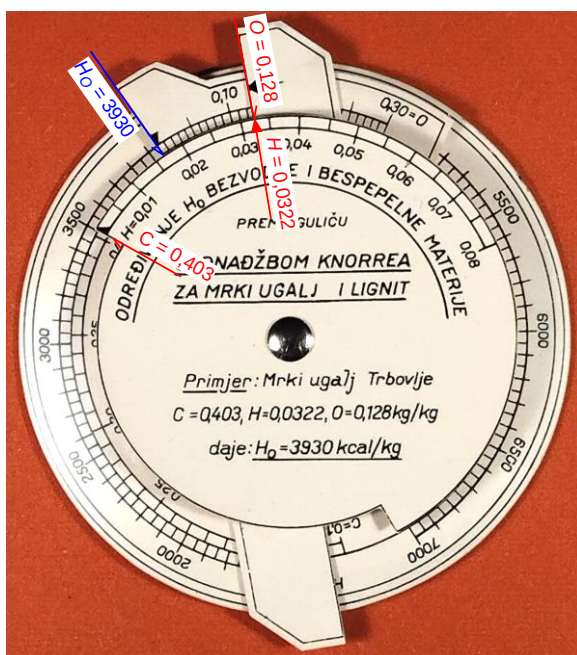
1. Prvo se, zakretanjem prednjeg diska, vrh njegove strelice poravna s vrijednosti masenog udjela ugljika na unutarnjoj skali stražnjeg diska. Prednji se disk desnim rubom svoje uzubine (polovicom vrha strelice) poravna sa zadanom vrijednošću masenog udjela ugljika, čime se na vanjskoj skali stražnjeg diska odredi dio gornje ogrjevne vrijednosti goriva koji pripada ugljiku (8700 C).
2. Bez pomicanja obaju diskova, vrh strelice na dvokrako kazaljci pomakne se na zadanu vrijednost masenog udjela vodika u gorivu na skali prednjeg diska. Time je uzet u obzir doprinos vodika gornjoj ogrjevnoj vrijednosti goriva (+26 100 H).
3. Bez pomicanja obaju diskova i dvokrake kazaljke, jednokraka se kazaljka podvuče pod dvokraku kazaljku tako da se *zadana vrijednost masenog udjela kisika poklopi s vrhom strelice dvokrake kazaljke!* Razmakom od vrha strelice dvokrake kazaljke pa do vrha polovice strelice na jednokrako kazaljci (pomak ulijevo!) oduzet je utjecaj masenog udjela kisika u gorivu! (-3260 O)

4. Na stražnjem disku se na vanjskoj skali, pod vrhom polovice strelice na jednokrakoj kazaljci očitava *konačna vrijednost gornje ogrjevne vrijednosti goriva* prema formuli (2.1).

Na prednjoj strani prednjeg diska dan je i primjer za kontrolu računanja s tim računalom kao rezultat dobiven za jedan set podataka:

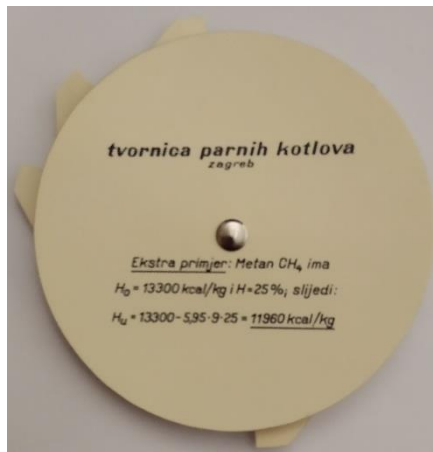
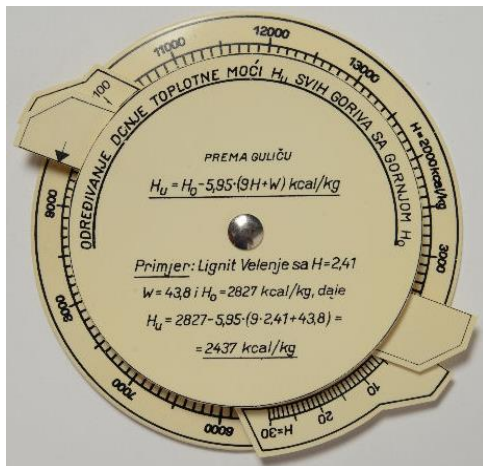
Za mrki ugljen Trbovlje sastava $C = 0,403$ kg/kg; $H = 0,0322$ kg/kg i $O = 0,128$ kg/kg gore opisanim postupkom dobije se: $H_0 = 3930$ kcal/kg.

Izračun s pomoću elektroničkog kalkulatora daje izravan rezultat: $H_0 = 3929,2$ kcal/kg.



Sl. 2.3 Primjer očitavanja na računalu #2 za mrki ugljen Trbovlje

3. »ODREĐIVANJE DONJE TOPLOTNE MOĆI H_U SVIH GORIVA SA GORNJOM H_O PREMA GULIČU «



Sl. 3.1 Prednja i stražnja strana računala

Ovo računalo određuje donju ogrjevnju vrijednost bilo kojeg goriva čija je gornja ogrjevnja vrijednost poznata a izračunata s pomoću računala #1 ili #2 te čiji su poznati maseni udjeli vodika i vlage.

Jednadžba koja se njime rješava je formula za donju ogrjevnju vrijednost goriva koja se dobije iz poznate gornje ogrjevnje vrijednosti umanjivanjem za toplinu isparivanja/ishlapljivanja vode koja je sadržana kao vlaga u gorivu W ili koja nastaje izgaranjem vodika H sadržanog u gorivu:

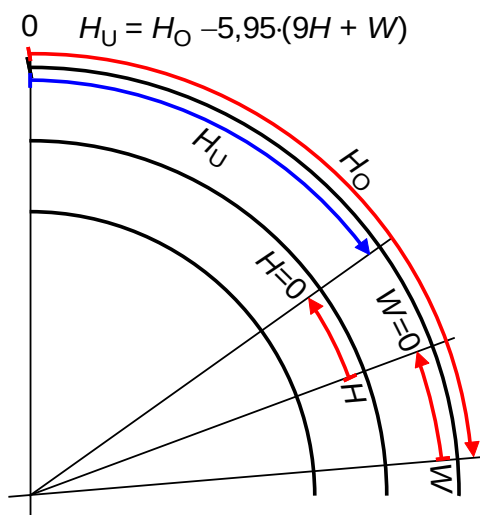
$$H_u = H_o - 5,95 \cdot (9H + W) \text{ kcal/kg}, \quad (3.1)$$

a navedena je kao jednadžba (40) u Gulič: »Sagorevanje«, Beograd, 1964., str. 29. Toplina isparivanja vode iznosi 595 kcal/kg vode, a 5,95 vrijedi ako se maseni udjeli H i W uvrštavaju kao postoci umjesto kao decimalni brojevi.

Maksimalni iznosi pretpostavljeni su: $H_{\max} = 30\%$ i $W_{\max} = 100\%$.

Konstrukcija računala:

Navedena formula (3.1) je očito razlika umnožaka i to je riješeno kao oduzimanje kutova. Kutovi se na skalama mjere od početnog položaja »12 sati« u smjeru kazaljke na satu.



Sl. 3.2 Načelna skica 'oduzimanja kutova' – crveno – minuend i suptrahendi, plavo – rezultat; i H_O se nanosi, a H_U se očitava na istoj skali za H_O !

Način uporabe računala:

Način i redoslijed uporabe skale odgovara redoslijedu članova u formuli, tj. prvo se označava gornja ogrjevnost goriva, potom se odbija smanjenje zbog utjecaja vodika i potom smanjenje zbog utjecaja vlage u gorivu.

1. Prvo se vrh strelice na dvokrakoj kazaljci poravnava s iznosom gornje ogrjevnosti goriva na skali stražnjeg diska. Palcem lijeve ruke se drugi krak dvokrake kazaljke pritisne na stražnji disk i fiksira u tom položaju;
2. Desnom rukom se kazaljka vodika pomiče tako da se zadan postotak vodika na njenoj skali poklopi s vrhom strelice na dvokrakoj kazaljci. Desnim palcem se fiksira kazaljka vodika na stražnji disk i lijevom rukom se pomiče dvokraka kazaljka tako da se vrh njene strelice poklopi s vrhom strelice na kazaljki vodika. Palcem lijeve ruke se drugi krak dvokrake kazaljke pritisne na stražnji disk i fiksira u tom položaju;
3. Desnom rukom se kazaljka vlage pomiče tako da se zadan postotak vlage na njenoj skali poklopi s vrhom strelice na dvokrakoj kazaljci. Na vrhu strelice kazaljke vlage očitava se na skali stražnjeg diska iznos donje ogrjevnosti goriva.
4. Prednji disk se ne koristi u računu. On samo vizualno pokriva kazaljke i nosi naziv računala i prikazuje jedan primjer izračuna.

Na prednjoj strani prednjeg diska dan je i primjer za kontrolu računanja s tim računalom kao rezultat dobiven za jedan set podataka:

Za lignit Velenje s $H = 2,41 \%$, $W = 43,8 \%$ i $H_0 = 2827$ kcal/kg, gore opisanim postupkom dobije se: $H_U = 2437$ kcal/kg

Izračun s pomoću elektroničkog kalkulatora daje: $H_U = 2437,3$ kcal/kg.

Na stražnjoj strani stražnjeg diska dan je i „ekstra“ primjer za kontrolu računanja s tim računalom kao rezultat dobiven za jedan skup podataka:

Metan CH_4 ima $H_0 = 13\,300$ kcal/kg i $H = 25 \%$, iz čega slijedi donja ogrjevna vrijednost metana: $H_U = 11\,960$ kcal/kg.

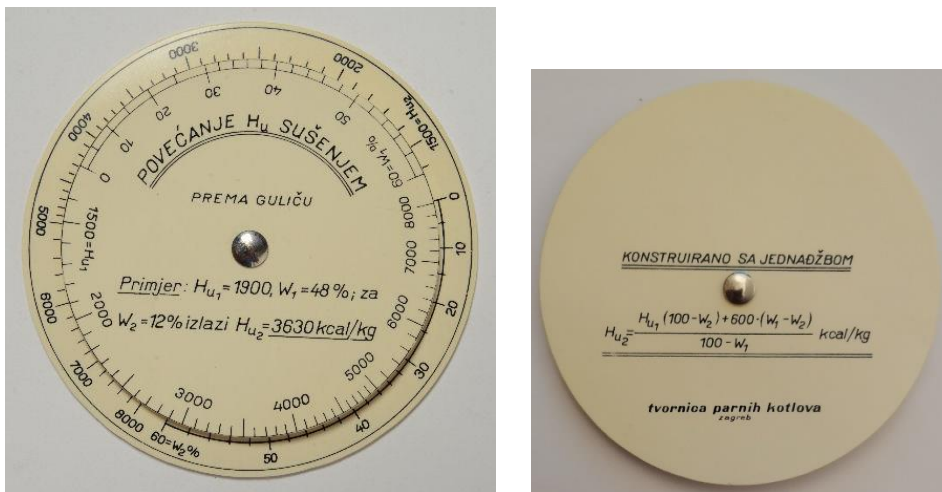
Izračun s pomoću elektroničkog kalkulatora daje: $H_U = 11\,961$ kcal/kg.

Brojevi navedeni u ovim primjerima, napisani na ovom računalu *nisu na njemu očitani!* Skale na njemu nisu tako precizne da bi dale četvrtu znamenku kao rezultat! Ipak, očitavanje na ovom računalu daje približno dobar rezultat.



Sl. 3.3 Primjer očitavanja na računalu #3

4. »POVEĆANJE H_U SUŠENJEM PREMA GULIČU«



Sl. 4.1 Prednja i stražnja strana računala.

Ovo analogno računalo određuje povećanje donje ogrjevnice vrijednosti goriva sušenjem, tj. sa smanjenjem sadržaja vlage u gorivu. Zamjetan sadržaj vlage imaju samo čvrsta goriva.

Jednadžba koja se njime rješava je formula za povećanje donje ogrjevnice vrijednosti H_{U1} goriva koje sadrži W_1 % vlage na vrijednost H_{U2} goriva kojem se sadržaj vlage smanji sušenjem na W_2 % :

$$H_{U2} = \frac{H_{U1}(100 - W_2) + 600(W_1 - W_2)}{100 - W_1} \quad \text{kcal/kg} \quad (4.1)$$

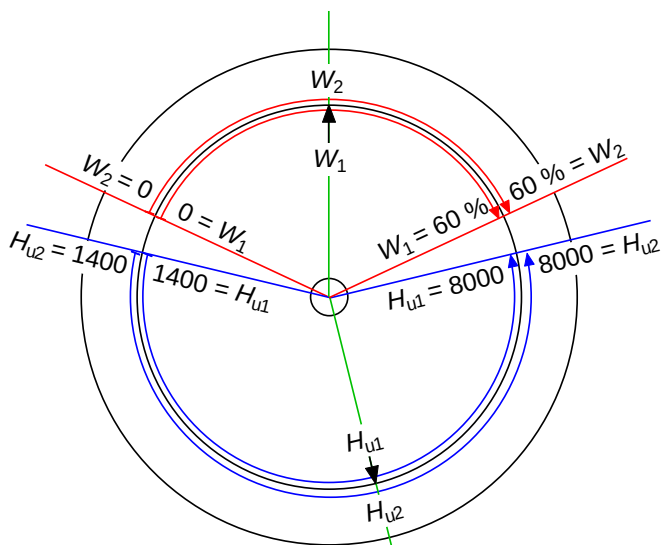
a navedena je kao jednadžba (41) u Gulič: »Sagorevanje«, Beograd, 1964., str. 29. Toplina isparivanja vode uzeta je zaokruženo kao 600 kcal/kg vode. Ta je jednadžba napisana i na poledini stražnjeg diska. Jednadžba (4.1) može se preoblikovati kao:

$$\frac{H_{U2} + 600}{100 - W_2} = \frac{H_{U1} + 600}{100 - W_1} \quad \text{kcal/kg}, \quad (4.2)$$

Formula (4.3) je očito »simetrična« pa su skale na prednjem i na stražnjem disku *jednake*. Ona i na lijevoj i na desnoj strani sadrži *dijeljenje*, a ono se, ako su skale *logaritamske*, svodi na *oduzimanje kutova*!

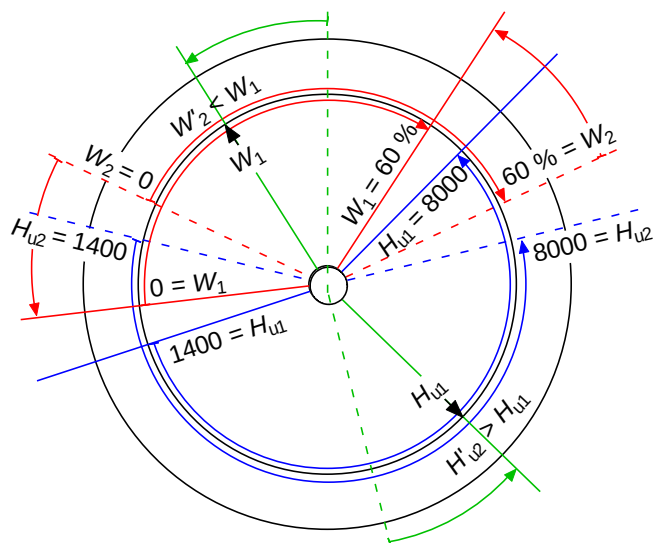
Na ovom računalu W_1 i W_2 se na skalama navode kao *postoci*. Minimalni i maksimalni iznosi obuhvaćeni su: $W_{\min} = 0$ % i $W_{\max} = 60$ %.

Donje ogrjevne vrijednosti H_{U1} i H_{U2} svedene su na kilogram goriva s uključenom vlagom $W_1\%$ i $W_2\%$, dakle, H_{U1} kcal/kg₍₁₎ i H_{U2} kcal/kg₍₂₎.



Sl. 4.2 Shema položaja skala – osnovni položaj

Ilustracija postupka očitavanja prikazana je na slici 4.3.



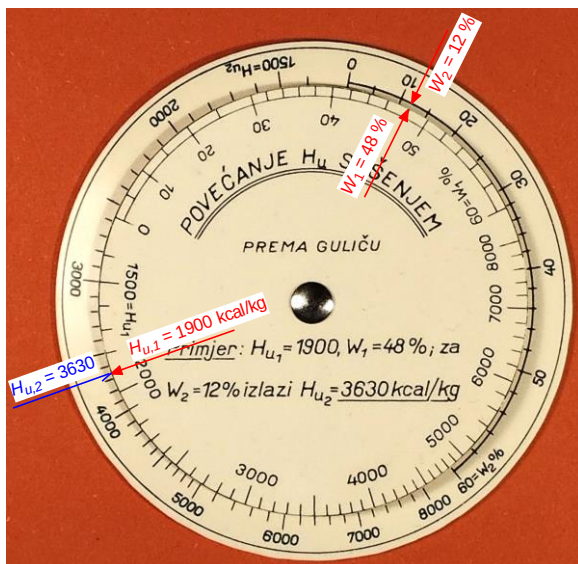
Sl. 4.3 Shema položaja skala –kad se manji disk zakrene tako da se oznaka početnog sadržaja vlage » W_1 « poklopi s oznakom konačnog sadržaja vlage » W_2 « na većem disku, uz oznaku » H_{U1} « na manjem disku, na većem disku se očitava » H_{U2} «.

Način uporabe računala:

Ovo analogno računalo sastoji se od većeg stražnjeg diska i manjeg prednjeg diska. Oba diska su kružnog oblika. Iako bi bila korisna, nema radijalne kazaljke koja bi olakšala postavljanje zadanih vrijednosti pa kod rada treba paziti kako se postavljaju vrijednosti.

Ulazni podaci su vrijednosti H_{U1} , W_1 % i W_2 %, a traži se H_{U2} .

1. Na prednjem manjem disku na skali označenoj s » W_1 « nađe se vrijednost početne vlažnosti goriva W_1 % i ona se postavi nasuprot vrijednosti konačne vlažnosti goriva W_2 % na skali označenoj s » W_2 « na stražnjem većem disku.
2. Bez pomicanja diskova, na skali » H_{U1} « manjeg diska nađe se zadana vrijednost H_{U1} i nasuprot njoj se na skali » H_{U2} « većeg diska očitava tražena vrijednost H_{U2} . Time je postupak završen.



Sl. 4.4 Primjer očitavanja povećane donje ogrjevnice goriva

5. »RELATIVNA VISKOZNOST MAZUTA SA OSNOVOM E_{50} PREMA GULIČU«



Sl. 5.1 Prednja i stražnja strana računala.

Ovo analogno računalo određuje relativnu viskoznost mazuta u *stupnjevima Englera* na nekoj temperaturi ako je poznat njen iznos u *stupnjevima Englera* pri temperaturi 50 °C.

Računalo se sastoji od većeg stražnjeg diska i manjeg prednjeg diska. Oba diska su potpuno kružnog oblika. Iako bi bila korisna, nema radijalne kazaljke koja bi olakšala postavljanje zadanih vrijednosti pa u radu treba paziti kako se postavljaju i očitavaju vrijednosti.

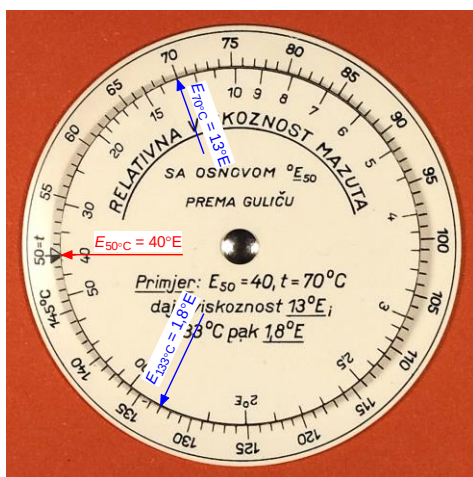
Na manjem prednjem disku nalazi se skala viskoznosti u *stupnjevima Englera* u rasponu od 2 °E pa do 100 °E. Skala nije ravnomjerno raspoređena, podjele su „rastegnute“ kod manjih vrijednosti, a stisnute za veće vrijednosti *stupnjeva Englera*.

Na većem stražnjem disku je skala temperatura u rasponu od 50 °C do 150 °C. Ta je linearna skala ravnomjerno raspoređena po obodu.

Način uporabe računala:

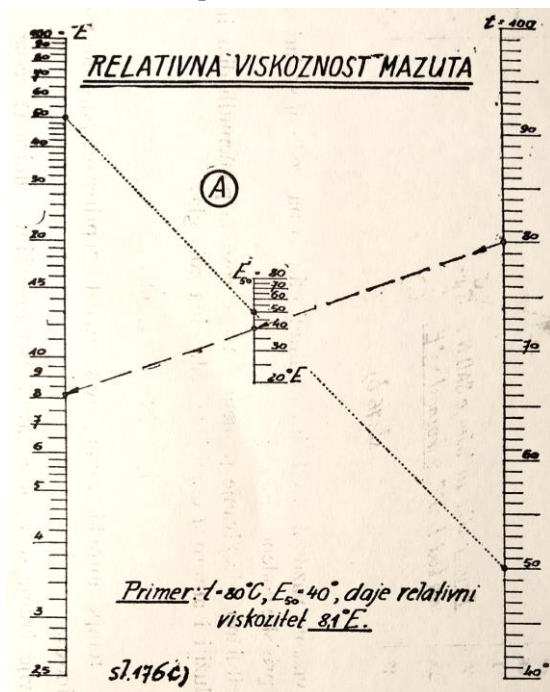
Ulazni podaci su vrijednosti E_{50} i tražena temperatura, a očitava se viskoznost mazuta pri nekoj drugoj temperaturi.

1. Početna vrijednost skale za temperaturu na većem disku (50 °C) označena je crno-bijelim trokutom i na nju se zakretanjem manjeg diska namjesti zadana vrijednost viskoznosti pri 50 °C;
2. Bez pomicanja diskova, na većem se disku nađe temperatura pri kojoj se traži nova vrijednost viskoznosti i uz nju se očitava tražena vrijednost na prednjem disku.



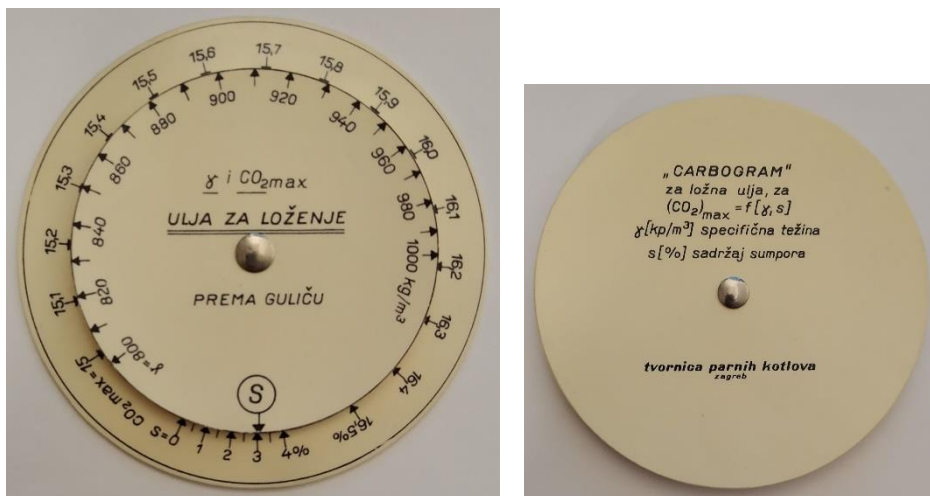
Sl. 5.2 Primjer očitavanja relativne viskoznosti mazuta za dvije različite temperature

U knjizi »Sagorevanje« iz 1964. na str. 250 prikazan je nomogram za računanje istog zadatka. Taj nomogram ima tri vertikalne skale: lijevo je skala u stupnjevima Englera za traženu viskoznost, desno skala temperature, a u sredini skala s referentnom viskoznošću pri 50 °C.



Sl. 5.3 Nomogram za određivanje relativne viskoznosti mazuta

6. »CARBOGRAM« γ i $(\text{CO}_2)_{\max}$ ULJA ZA LOŽENJE PREMA GULIČU«



Slika 6.1 Prednja i stražnja strana računala.

Ovo analogni računalni određuje maksimalni postotni udio ugljikovog dioksida u dimnim plinovima za ulja za loženje ovisno o njihovoj gustoći, izvorno: specifičnoj težini γ kg/m^3 , i masenom postotnom udjelu sumpora u gorivu.

Veza koju ovo analogni računalni treba prikazati: $(\text{CO}_2)_{\max} = f[\gamma, s]$ nema teorijsku podlogu, nije jednostavna niti jednoznačna, jer nema jednoznačne veze između specifične težine i sastava raznih vrsta ulja za loženje.

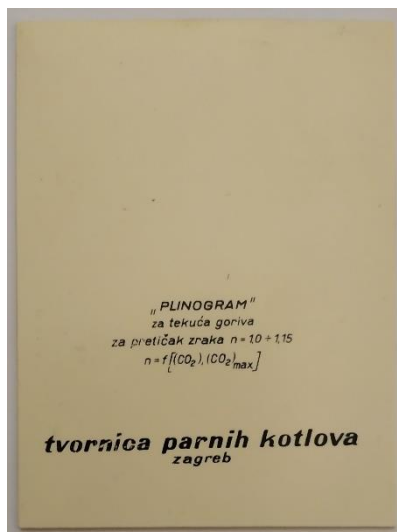
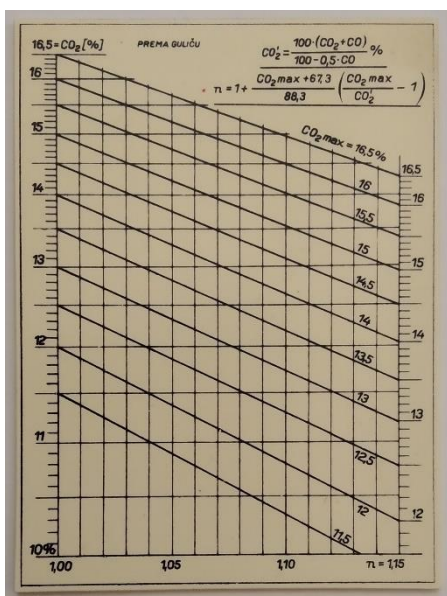
Nepostojanje teorijskog analitičkog zakona/jednadžbe može se naslutiti i po konstrukciji računala – ono nema klasične skale kao ostala računala, nego po obodu diskova razmještene radijalne strelice, kao da je autor točku po točku prenosio pojedinačne vrijednosti iz gornjeg dijagrama.

Način uporabe računala:

Ulazni podaci su specifična težina γ $[\text{kg/m}^3]$ i s [%] sadržaj sumpora, a očitava se maksimalni postotni udio ugljikovog dioksida u dimnim plinovima $(\text{CO}_2)_{\max} = f[\gamma, s]$:

1. Strela s oznakom (S) na prednjem (manjem) disku poravna se s poznatom vrijednošću postotka sumpora s [%];
2. Na prednjem disku među radijalnim strelicama nađe se zadana vrijednost specifične težine ulja za loženje γ $[\text{kg/m}^3]$ i na većem stražnjem disku se očitava pripadajuća vrijednost $(\text{CO}_2)_{\max}$. Time je postupak završen.

7. »"PLINOGRAM" tekućih goriva za pretičak zraka $n = 1,0 \div 1,15$ PREMA GULIČU«



Sl. 7.1 Prednja i stražnja strana dijagrama.

Ovaj *dijagram* služi za određivanje suviška (pretička) zraka pri izgaranju tekućih (kapljevitih) goriva na temelju izmjerenih podataka molnih udjela ugljikovog dioksida i ugljikovog monoksida u suhim dimnim plinovima te izračunate vrijednosti $(CO_2)_{\max}$ iz zadanog sastava goriva:

$$n = f[(CO_2'), (CO_2)_{\max}]. \quad (7.1)$$

Formule koje se koriste za račun su jednačbe 122l i 122f sa stranice 22 i 23 knjige Gulič: »I dodatak II izdanju Sagorevanje«, Beograd, 1970.:

$$CO_2' = \frac{100 - (CO_2 + CO)}{100 - 0,5 CO} \% \quad (122l) \quad (7.2)$$

$$i \quad n = 1 + \frac{CO_{2,\max} + 67,3}{88,3} \left(\frac{CO_{2,\max}}{CO_2'} - 1 \right) \quad (122f) \quad (7.3)$$

i služe za kontrolu izgaranja u ložištima parnih kotlova. Veličine $(CO_2)_{\max}$ i CO_2' izraženi su u postocima. Postotak $(CO_2)_{\max}$ ovisi o sastavu goriva, a postotak CO_2' mjeri se u dimnim plinovima pri izgaranju, ne može bit veći od $(CO_2)_{\max}$, a *pada s porastom pretička zraka*.

Za ovo pomagalo uzet je raspon veličina $11,5 \% \leq (\text{CO}_2)_{\max} \leq 16,5 \%$ i $1 \leq n \leq 1,15$ i $10 \% \leq \text{CO}'_2 \leq 16,5 \%$ koje su tipične za 'tekuća' goriva.

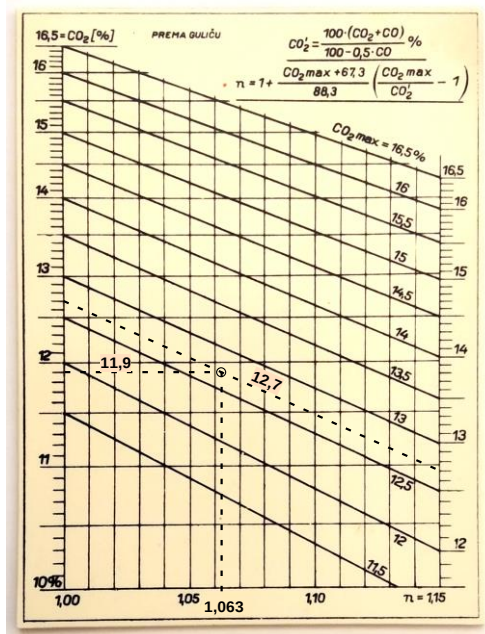
Jednadžbu (7.3) možemo prevesti u oblik:

$$\frac{1}{\text{CO}'_2} = \frac{1}{\text{CO}_{2,\max}} + \frac{(n-1) \cdot 88,3}{\text{CO}_{2,\max} (\text{CO}_{2,\max} + 67,3)} = a + b(n-1) \quad (7.4)$$

što je očigledno na desnoj strani *jednadžba pravca* koju ne moramo crtati točku po točku, a i kod očitavanja interpolacija će biti jednostavna.

Način uporabe dijagrama:

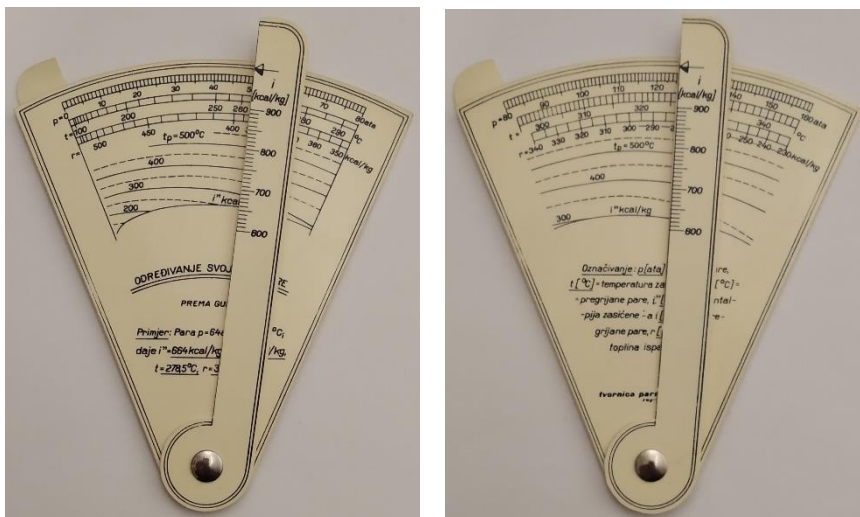
1. Ako je zadan sastav goriva [vrijednost $(\text{CO}_2)_{\max}$] i u dimnim plinovima je izmjeren udio CO'_2 , od iznosa CO'_2 na ordinati povučemo horizontalu do zadane, a po potrebi interpolirane vrijednosti $(\text{CO}_2)_{\max}$, te od tog presjecišta spustimo okomicu do apscise na kojoj očitamo traženu vrijednost faktora pretička zraka.
2. Ako je zadan sastav goriva tj. vrijednost $(\text{CO}_2)_{\max}$ i faktor pretička zraka n , onda se od zadanog iznosa n podigne okomica do zadane a po potrebi interpolirane vrijednosti $(\text{CO}_2)_{\max}$ i od presjecišta se povuče vodoravna crta do lijeve ordinate na kojoj se očitava tražen iznos CO'_2 .



Sl. 7.2 Dijagram s ucrtanim pomoćnim crtama za interpolaciju

8. »ODREĐIVANJE SVOJSTVA PARE PREMA GULIČU«

Ovo je **dvostrano** analogno računalo za očitavanje svojstava vodene pare. Gornje dvije slike prikazuju 'prednju' stranu računala s dva položaja kazaljke – izmaknutim radi vidljivosti cijele plohe *tijela* - kružnog isječka koji nosi skale - i u „radnom“ položaju, a donje dvije slike "stražnju" stranu na jednak način.



Sl. 8.1 Prednja i stražnja strana računala.

Zanimljiv pokušaj da se vrlo opsežne tablice i veliki dijagrami zamijene malim, ali nažalost nedovoljno točnim pomagalom.

Teorijska podloga jednadžbi za ovo računalo ista je kao i za dijagram i tablice i pripada termodinamici, a ne kotlogradnji i nije navedena u knjigama nabrojanim na početku. Te su jednadžbe previše komplicirane da bi ih se ovdje navodilo.

Način uporabe računala:

Očitavanje svojstava *suhozasićene* i *pregrijane pare* malo se razlikuju.

1. *Suhozasićena para*: Stanje je zadano ili tlakom pare (u ata) ili temperaturom (u °C).

Ako je zadan tlak pare, na skali (»A«) namjesti se lijevi rub kazaljke (vrh strelice) na zadani tlak pare i na skali »B« se na lijevom rubu kazaljke očitava pripadajuća temperatura pare.

Ako je zadana temperatura pare, na skali (»B«) namjesti se lijevi rub kazaljke (vrh strelice) na zadanu temperaturu pare i na skali »A« se očitava pripadajuća vrijednost tlaka pare.

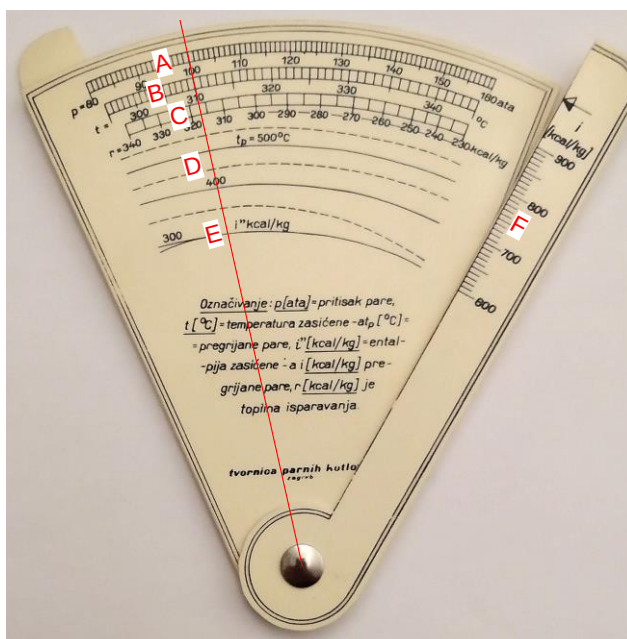
Nakon što je tako namješten lijevi rub kazaljke (vrh strelice) na skali »C« očitava se ispod lijevog ruba kazaljke specifična toplota isparavanja, a na presjecištu lijevog ruba kazaljke i crte »E« očitava se specifična entalpija i'' kcal/kg suhozasićene pare na skali »F«.

2. *Pregrijana para*: Stanje je zadano tlakom pare (u ata) i temperaturom (u °C).

Na skali (»A«) nađe se zadani tlak pare i lijevi rub skale namjesti se na tu vrijednost. Među crtama »D« nađe se ona koja odgovara zadanoj temperaturi, a međuvrijednosti se vizualno interpoliraju. Na presjecištu lijevog ruba kazaljke i crte »D« očitava se specifična entalpija i kcal/kg pregrijane pare na skali »F«.

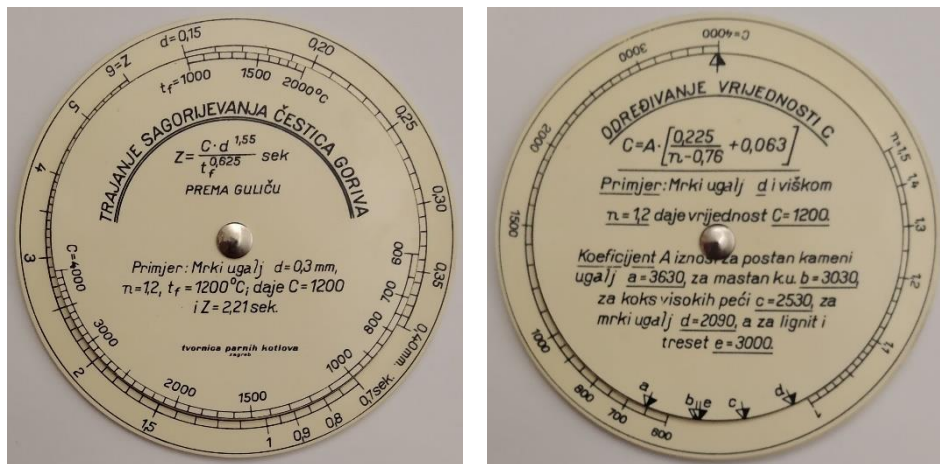
Na prednjoj strani računala dan je primjer očitanih vrijednosti: za pregrijanu paru tlaka 64 ata i temperature 500 °C očitana je specifična entalpija pregrijane pare: $i = 817$ kcal/kg, a usput se mogu očitati i pripadajuće vrijednosti za suhozasićenu paru jednakog tlaka: $t = 278,5$ °C i $r = 371$ kcal/kg i $i'' = 664$ kcal/kg.

Napomena: S obzirom na veličinu skala i razmak crtica te na moguću paralaksu očitavanja zbog debljine kazaljke, te vrijednosti nisu mogle biti tako precizno očitane s ovog računala, vrlo vjerojatno su očitane iz tablica.



Sl. 8.2 Način očitavanja svojstava pare s računala. Crvena crta simbolizira položaj kazaljke za očitavanje svojstava pare tlaka 100 ata.

9. »TRAJANJE SAGORIJEVANJA ČESTICA GORIVA PREMA GULIČU«



Slika 9.1 Prednja (lijevo) i stražnja (desno) strana računala.

Ovo (dvostrano) analogno računalo služi za izračunavanje trajanja izgaranja čestica goriva u ložištu. Taj podatak je važan za proračun parnog kotla jer neizgorene čestice ne smiju izaći iz ložišta. Izračunati podatak se uspoređuje s vremenom prolaska čestice kroz ložište koja je određena uvjetima strujanja - radom ventilatora za dobavu zraka za izgaranje.

Problem je vrlo zamršen, a kao formula koja služi za računanje navedena je empirijska jednadžba (172) sa stranice 208 u knjizi Gulič: »Sagorevanje«, Beograd, 1964.:

$$Z = \frac{A \cdot d^{1,55} \cdot \left(\frac{0,225}{n - 0,76} + 0,063 \right)}{t_f^{0,625}} \text{ sekundi .} \quad (9.1)$$

U formuli su ulazne zadane veličine: d = promjer čestice ugljene prašine u milimetrima, n = faktor pretička zraka za izgaranje i t_f = temperatura dimnih plinova u ložištu.

Za izračunavanje na ovom računalu gornja formula je rastavljena u dva dijela:

$$Z = \frac{C \cdot d^{1,55}}{t_f^{0,625}} \text{ sekundi - računa na prednjoj strani računala} \quad (9.2)$$

i

$$C = A \cdot \left(\frac{0,225}{n - 0,76} + 0,063 \right) \text{ na stražnjoj strani računala,} \quad (9.3)$$

pri čemu cijela stražnja strana služi za računanje koeficijenta C iz jednadžbe (9.3) koji ulazi kao ulazni podatak na prednju stranu za izračunavanje vremena izgaranja Z u jednadžbi (9.2). Zbog tog redoslijeda računanja prva će se analizirati *stražnja strana računala*.

Stražnja strana: »ODREĐIVANJE VRIJEDNOSTI C «

Jednadžba (9.3) može se logaritmirati i dobije se:

$$\log C = \log A + \underbrace{\log \left(\frac{0,225}{n - 0,76} + 0,063 \right)}_B = \log A + \log B, \quad (9.4)$$

gdje je B izraz u zagradi čija se vrijednost smanjuje s porastom n tako da je za $n = 1$ iznos $B_{\max} = 1,0005 \cong 1$, a za $n = 1,5$ iznos je $B_{\min} = 0,36705$.

Prednja strana: »TRAJANJE SAGORIJEVANJA ČESTICA GORIVA«

Brojčana vrijednost C očitana na stražnjoj strani računala prenosi se (pamti, zapiše) na prednju stranu radi daljnjeg izračunavanja formule (9.2) uz nove ulazne podatke: promjer (tipičan, prosječan?) čestice ugljena d [mm] i temperature u ložištu t_f [°C]

Jednadžba (9.2) može se logaritmirati:

$$\log Z = \log C + 1,55 \cdot \log d - 0,625 \cdot \log t_f \quad (9.5)$$

što je, s logaritamskim skalama, vrlo jednostavan izraz za računanje. Slično kao u kasnijem izrazu (10.5), radi lakšeg računanja malo ga treba preurediti:

$$\log Z = 1,55 \cdot \log d - 0,625 \cdot \log t_f + \log C, \quad (9.6)$$

$$\text{ili} \quad \log Z = \log C - 0,625 \cdot \log t_f + 1,55 \cdot \log d, \quad (9.7)$$

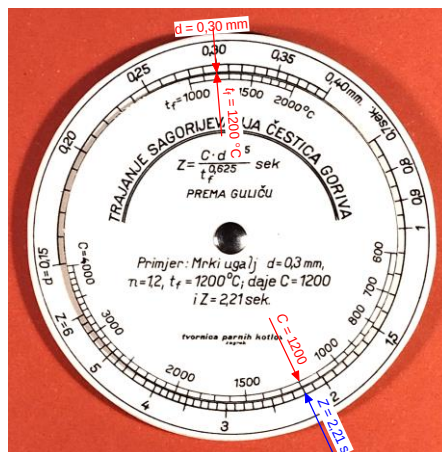
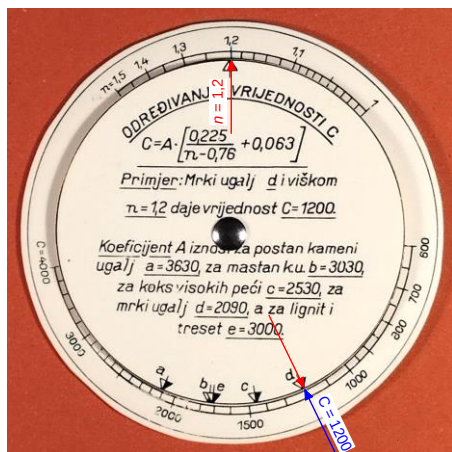
i može se riješiti jednim namještanjem prednjeg diska, bez daljnjeg pomicanja.

Način uporabe računala:

1. Prvo se na *stražnjoj strani* „usamljena“ strelica na malom disku poravna sa zadanom vrijednošću faktora pretička zraka n na većem disku, a na suprotnoj strani malog diska nađe se jedna od pet strelica koja odgovara zadanoj vrsti goriva i na skali većeg diska očita se vrijednost C ;
2. Na manjem disku *prednje strane* nađe se vrijednost temperature dimnih plinova i ona se poravna sa zadanim promjerom čestice goriva na skali većeg diska;
3. Bez pomicanja diska, na manjem disku *prednje strane* se nađe vrijednost koeficijenta C očitana u koraku #1 i uz nju se na većem disku očita vrijednost Z , vrijeme izgaranja čestice goriva.

Na manjem disku prednje strane dan je primjer proračuna vremena izgaranja za česticu mrkog ugljena, promjera $d = 0,3 \text{ mm}$, faktora pretička zraka $n = 1,2$ i temperature dimnih plinova $t_f = 1200^\circ\text{C}$. Koeficijent C izračunat je kao 1200, a trajanje izgaranja $Z = 2,21$ sekunda.

Provjera na elektroničkom kalkulatoru potvrđuje te vrijednosti.

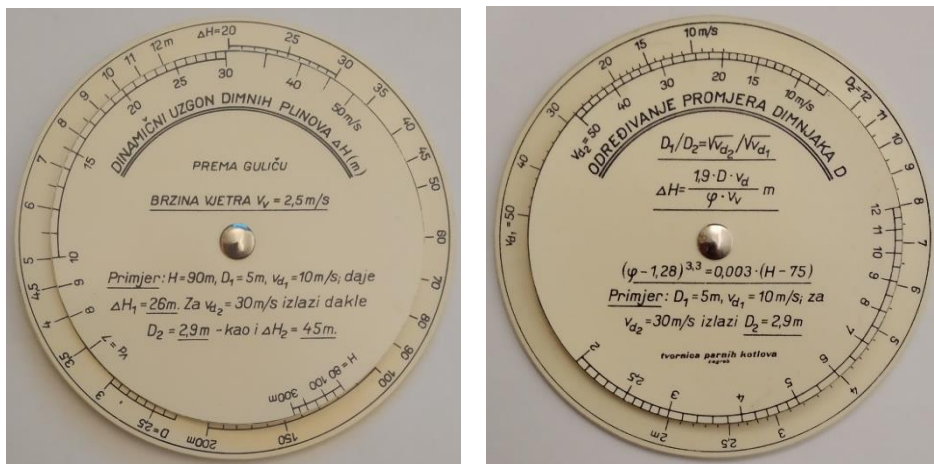


Sl. 9.2 Primjer očitavanja trajanja izgaranja za zadane vrijednosti.

Lijevo: određivanje C na stražnjoj strani

Desno: izračunavanje trajanja izgaranja na prednjoj strani računala

10. »DINAMIČNI UZGON DIMNIH PLINOVA ΔH (m) PREMA GULIČU«



Sl. 10.1 Prednja (lijevo) i stražnja (desno) strana računala.

Ovo dvostrano analogno računalo namijenjeno je za izračunavanje *dinamičkog uzgona dimnih plinova* te za izračunavanje veze između promjera dimnjaka i brzine strujanja dimnih plinova.

Formule koje se rješavaju ovim računalom naznačene su na stražnjem manjem disku:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{\sqrt{v_{d2}}}{\sqrt{v_{d1}}} \quad \text{na stražnjem disku;} \quad (10.1)$$

$$\Delta H = \frac{1.9 \cdot D \cdot v_d}{\varphi \cdot v_v} \quad \text{m} \quad \text{računa se na prednjem disku;} \quad (10.2)$$

$$(\varphi - 1.28)^{3.3} = 0.003 \cdot (H - 75) \quad (\text{implicitno na prednjem}). \quad (10.3)$$

Formule (10.2) i (10.3) nisu pronađene u literaturi nabrojanoj na početku pa je nejasno potpuno i točno značenje veličina ΔH , φ i v_v , ali se prema opisu na samom računalu daje zaključiti da je:

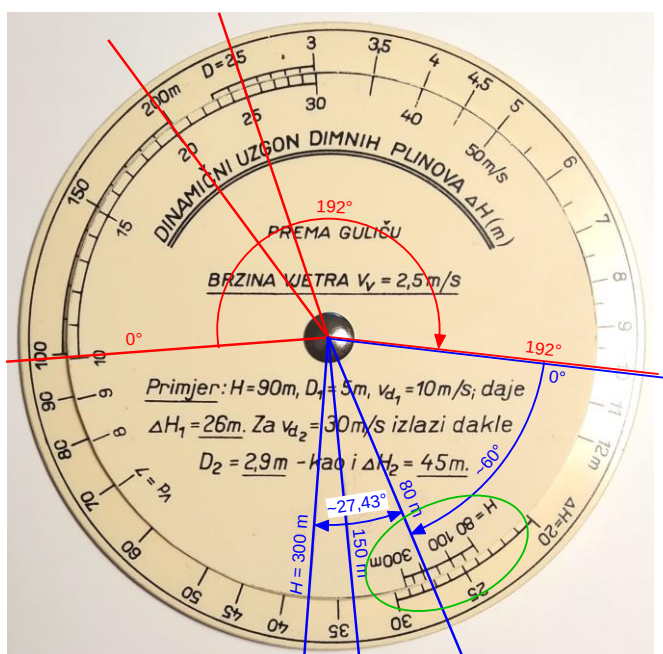
- D [m] – promjer dimnjaka u metrima
- v_d [m/s] – brzina strujanja dimnih plinova u dimnjaku
- ΔH [m] – u metrima, tzv. »dinamički uzgon dimnih plinova«,
- φ – neki faktor povezan s visinom dimnjaka
- i v_v [m/s] – brzina vjetra (pretpostavljena je stalna vrijednost 2,5 m/s).

Formula (10.1) je jednadžba kontinuiteta za strujanje nestlačivog fluida kroz okruglu cijev, poznata iz mehanike fluida.

Ni pretraživanje literature ni konzultacije nisu dale pouzdano objašnjenje pojma 'dinamički uzgon dimnih plinova', a nije nađena ni gornja formula za ΔH pa je nejasna njihova uloga u proračunu 'vatrene strane' parnih kotlova.

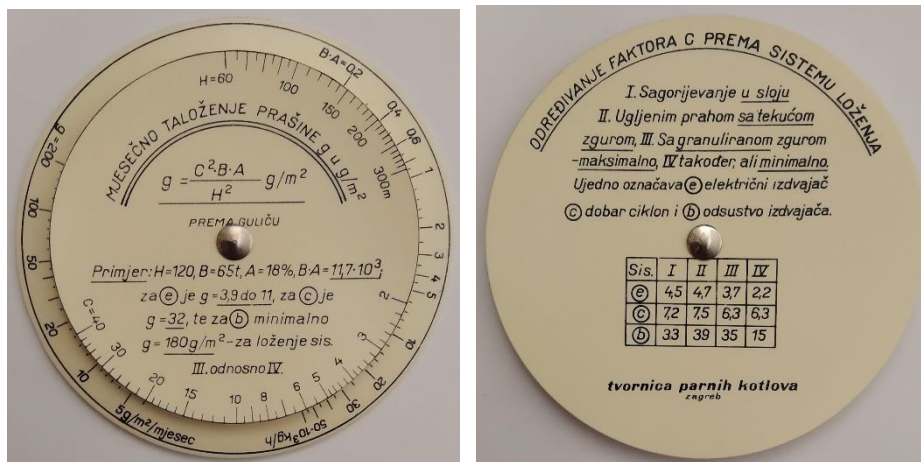
Nažalost, čini se da je kod tog računa došlo do nekoliko pogrešaka koje ga čine neupotrebljivim:

- možda jednadžbe (10.2) i (10.3) nisu ispravne jer podaci, navedeni u primjeru na prednjoj strani, s pomoću elektroničkog kalkulatora ne daju deklarirane rezultate;
- Jednadžba (10.1) je *ispravna*, ali *skale na stražnjoj strani nisu ispravne!* Primjer dan na stražnjoj strani slučajno je (igrom brojeva) naoko točan.
- ni *sve* *skale na prednjoj strani nisu ispravne*, one za ΔH , D i za v_d jesu usklađene, ali četvrta skala (za φ , ali označena kao H) potpuno odstupa, s posljedicom da je cijeli račun na prednjoj strani netočan!



Sl. 10.2 Crvenim zrakama označeni su kutovi preklapanja pojedinih segmenata triju skala: one za ΔH , D i za v_d . Uočljiva je mala nepreciznost crtanja, ali očito sve tri skale imaju ishodište na kutu 0° i kraj na 192° . Plave zrake označavaju mjesto gdje bi se trebala nalaziti skala za φ (označena kao H). S obzirom na to da je »H« ulazni podatak za račun, rezultat ne može biti ispravan!

11. »MJESEČNO TALOŽENJE PRAŠINE g u g/m^2 PREMA GULIČU«



Sl. 11.1 Prednja i stražnja strana računala.

Ovo analogno računalo služi za računanje mase mjesečno istaložene prašine iz dimnjaka (u gramima po kvadratnom metru površine tla mjesečno) u okolini dimnjaka. Bez ulaženja u njeno porijeklo i pouzdanost, jer radi se o vrlo zamršenom i nepredvidljivom procesu, formula po kojoj se računa glasi:

$$g = \frac{C^2 B A}{H^2} \text{ g/m}^2, \quad (11.1)$$

a navedena je u knjizi »Goriva-izgoretine«, Beograd, 1964. kao jednadžba 67 na stranici 157.

Ulazne veličine su:

- H [m] visina dimnjaka,
- B [kg/h] satni potrošak goriva (ugljena),
- A [kg/kg] masa pepela koja nastaje iz kilograma goriva, a
- C je koeficijent čiji se brojevi iznosi očitava s poledine većeg diska za navedene načine loženja i navedene vrste odvajanja prašine.

Manji prednji disk također sadrži dvije skale: jednu za zadanu visinu dimnjaka H od 60 do 300 metara i drugu za iznos koeficijenta C očitano na poledini u rasponu od 2 do 40.

Jednadžba (11.1) može se logaritmirati i preurediti za računalo u oblik:

$$\log g = \log(B \cdot A) - 2 \cdot \log H + 2 \cdot \log C. \quad (11.2)$$

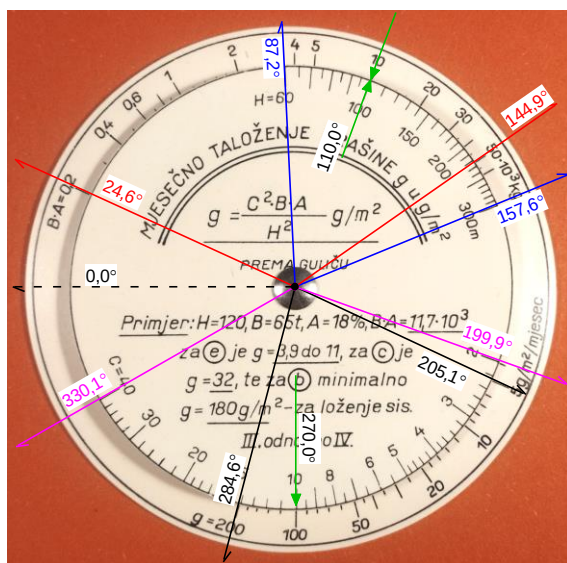
Iako su veličine B i A neovisne, kao ulazni podatak u računalu zadržan je njihov umnožak ($B \cdot A$) koji treba izračunati odvojeno prije uporabe ovog računala jer bi inače konstrukcija računala i postupak računanja bili bitno složeniji. S obzirom na to da su u nekom konkretnom računu i potrošak ugljena i njegov sastav konstantni, to i nije neki problem.

Jednadžba (11.2) kaže da sve četiri skale moraju imati jednak modul tj. kut koji pripada jednoj logaritamskoj jedinici, ali da se od $\log(B \cdot A)$ oduzima $2 \cdot \log H$ i dodaje $2 \cdot \log C$ pa skale za $\log H$ i $\log C$ moraju biti dvostruko rastegnute! Doista, iz izmjerenih kutova izračunato je da sve četiri skale imaju modul 50° .

Drugo je pitanje kako moraju biti skale raspoređene po obodu diskova. Prema jednadžbi (11.2) skale za g i za $(B \cdot A)$ moraju biti na jednom (npr. većem) disku, a skale za H i za C na drugom (npr. manjem) disku.

No, još uvijek ostaje pitanje na kojem mjestu oboda svakog diska smjestiti skale jednu u odnosu na drugu.

Ovdje se čini da je za razmještanje skala odabrano da sve osnovne logaritamske "jedinice" ($\gg 10 \ll$ i $\gg 100 \ll$) za skale budu poravnate ($\gg g \ll$ i $\gg C \ll$ pod kutom 270° , dotično $\gg B \cdot A \ll$ i $\gg H \ll$ pod kutom 110° u odnosu na lijevo usmjerenu apscisu označenu s $\gg 0,0^\circ \ll$, u smjeru kazaljke na satu, zelene zrake) prema slici 11.2. Izbor nekog drugog referentnog pravca mijenjao bi kutove na slici i izraze (11.3) do (11.6), ali ne bi mijenjao raspodjelu crtica na skalama!



Sl. 11.2 Kutovi koje početne i konačne oznake na skalama zatvaraju s "osnovnom crtom" označenom s $\gg 0,0^\circ \ll$

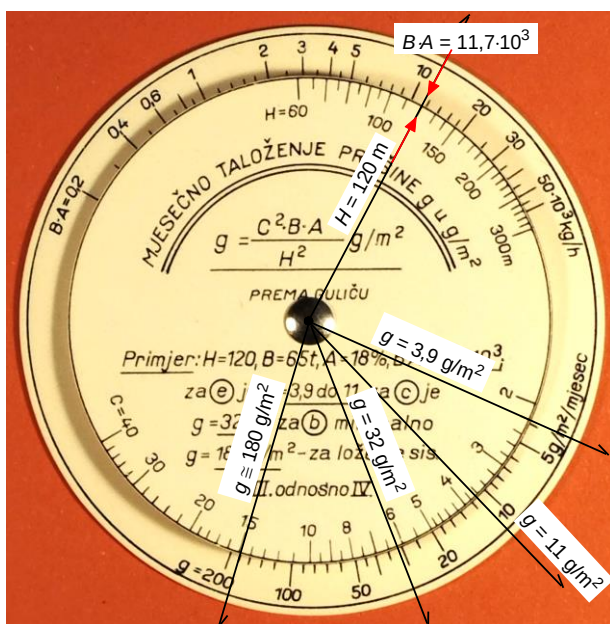
Način uporabe računala:

1. Prvo se na poledini očitava iznos koeficijenta C ;
2. Ako su zadane zasebne vrijednosti za A i B , izračuna se umnožak (BA) ;
3. Na prednjoj strani manjeg diska nađe se vrijednost H i namjesti se na izračunatu vrijednost (BA) na skali većeg diska;
4. Bez pomicanja diskova, na prednjoj strani malog diska na skali za C nađe se u koraku #1 očitana vrijednost C i ispod nje se očitava na skali većeg diska tražena vrijednost g izražena u g/m^2 mjesečno.

Na prednjoj strani manjeg diska navedeno je i nekoliko primjera koje prikazujemo u tablici zajedno s na ovom uzorku računala provjerenim rezultatima i rezultatima izračunatim s pomoću elektroničkog kalkulatora. Zadani su *ulazni podaci*: $H = 120 \text{ m}$; $B = 65\,000 \text{ kg/h}$; $A = 0,18$; $(BA) = 11,7 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$.

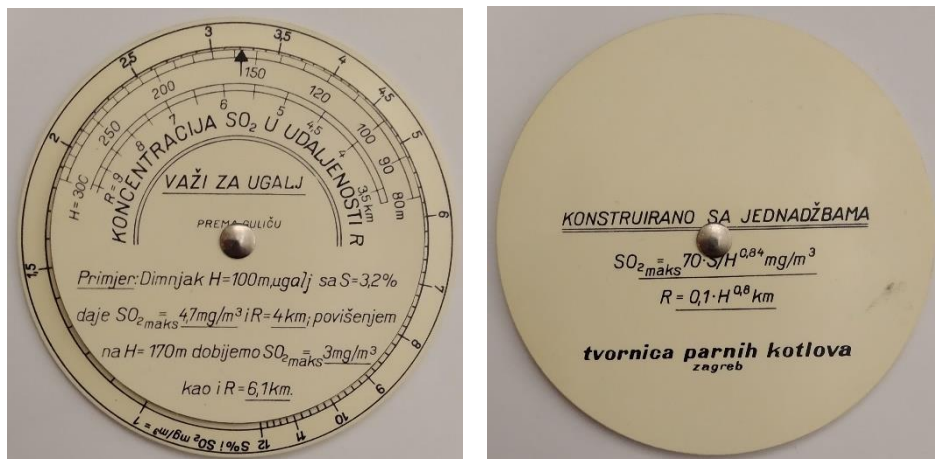
Provjera s pomoću elektroničkog kalkulatora potvrđuje te rezultate.

Na ovom računalu jako nedostaje radijalna kazaljka koja bi znatno olakšala namještanje brojeva i očitavanje rezultata.



Sl. 11.3 Vrijednosti očitane s analognog računala i prikazane u Tablici 11.2

12. »KONCENTRACIJA SO₂ U UDALJENOSTI R – VAŽI ZA UGLJEN – PREMA GULIČU«



Slika 12.1 Prednja i stražnja strana računala.

Ovo analogno računalo određuje koncentraciju sumporovog dioksida iz dima na udaljenosti R [km] od dimnjaka i samu udaljenost R u ovisnosti o visini dimnjaka H [m] i o masenom postotku sumpora u gorivu S [%].

Jednadžbe koje se koriste za taj račun napisane su na poledini računala:

$$R = 0,1 \cdot H^{0,8} \text{ [km]}, \quad (12.1)$$

pri čemu se visina dimnjaka H uvrštava u metrima, i

$$(\text{SO}_2)_{\text{maks}} = (\text{SO}_2)_R = \frac{70 \cdot S}{H^{0,84}} \text{ mg/m}^3, \quad (12.2)$$

pri čemu se visina dimnjaka H uvrštava u metrima, a S [%] je maseni postotak sumpora u gorivu. Visina dimnjaka predviđena je u rasponu od 80 m do 300 m.

Te jednadžbe nisu pronađene u knjigama nabrojanim na početku pa je njihovo porijeklo nepoznato. Obje te jednadžbe mogu se logaritmirati pa će sve skale na ovom računalu biti logaritamskog karaktera.

Stražnji disk ima na obodu samo jednu skalu koja predstavlja i postotak sumpora u gorivu i masu sumporovog dioksida u mg/m^3 i to u rasponu brojčanih vrijednosti od 1 do 12! Obje te veličine, $(\text{SO}_2)_R$ i S za potrebe crtanja skala označit ćemo malim slovom s . Ta je skala logaritamskog karaktera i obuhvaća kut od 324° (očitan na kutomjeru).

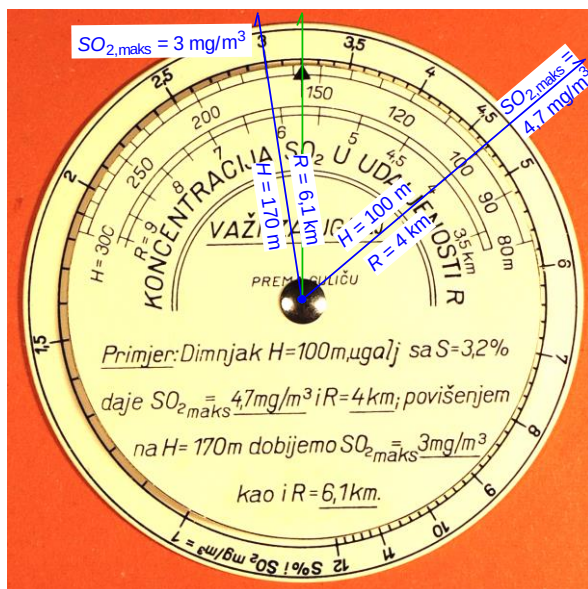
Način uporabe računala:

Ulazni podatak je visina dimnjaka H u metrima, očitava se udaljenost R u kilometrima i koncentracija sumporovog dioksida u mg/m^3 .

1. Na prednjem disku prvo se na vanjskoj skali pronade visina dimnjaka u metrima;
2. Zamišljajući (ili crtajući olovkom) radijalnu crtu kroz zadanu vrijednost H , na unutarnjoj skali očitava se udaljenost R u kilometrima.
3. Vrh strelice namjesti se na zadani postotak sumpora u gorivu, i na skali za H nađe se visina dimnjaka, a onda se na skali stražnjeg diska na tom mjestu očitava koncentracija sumporovog dioksida u mg/m^3 .

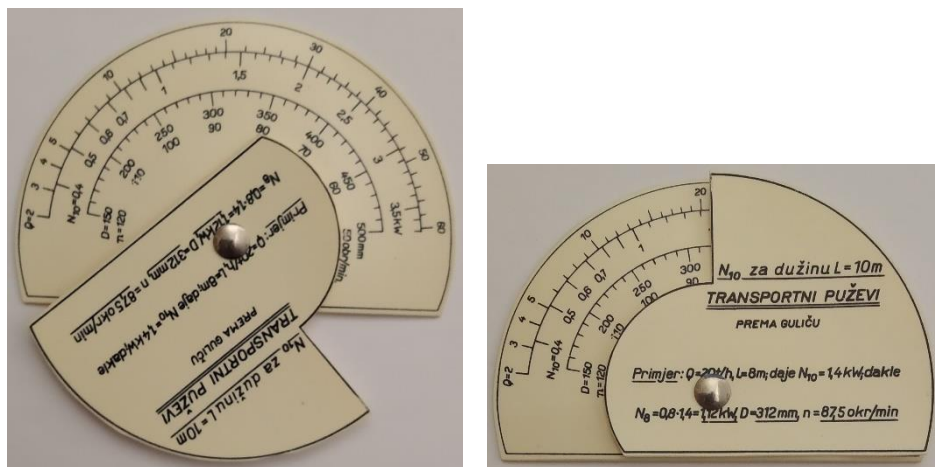
Navedena su dva primjera izračuna:

- a) za visinu dimnjaka $H = 100 \text{ m}$ i ugljen s $3,2 \%$ sumpora očitava se udaljenost $R = 4 \text{ km}$ i $(\text{SO}_2)_{\text{max}} = 4,7 \text{ mg/m}^3$; (kalkulator daje: $R = 3,98 \text{ km}$ i $(\text{SO}_2)_{\text{max}} = 4,68 \text{ mg/m}^3$)
- b) za povećanu visinu dimnjaka $H = 170 \text{ m}$ i isti ugljen očitava se udaljenost $R = 6,1 \text{ km}$ i $(\text{SO}_2)_{\text{max}} = 3 \text{ mg/m}^3$ (kalkulator daje: $R = 6,09 \text{ km}$ i $(\text{SO}_2)_{\text{max}} = 3,0 \text{ mg/m}^3$).



Sl. 12.2 Primjer očitavanja na računalu broj12

13. »TRANSPORTNI PUŽEVI PREMA GULIČU«



Sl. 13.1 Prednja strana računala. Kazaljka je izmknuta radi preglednosti.

Ovo analogno računalo treba poslužiti za proračun transportnih puževa za ugljen u parnim kotlovima. Puževi imaju oblik zavojnice i smješteni su u cijevi. Zakretanjem puža ugljen se pomiče uzduž cijevi prema ložištu.

Oblik računala neobičan je, na dijelu kruga (stražnji dio) nalazi se prednji dio neobičnog oblika koji je ustvari samo radijalna kazaljka, a njen prošireni oblik napravljen je da se na njemu ispiše naslov i primjer očitavanja.

Činjenica da su sve skale na jednom „disku“ znači da su sve veličine međusobno jednoznačno povezane, tj. da se izborom jedne veličine sve ostale odmah određene. Očitavanje na kazaljci stoga i nije »računanje«, nego samo očitavanje već ranije izračunatih odnosa.

O transportnim puževima napisano je nešto u knjizi »Goriva-izgoretine«, Beograd, 1964. na stranicama 45 do 50, s nizom praktičnih podataka o dimenzijama, broju okretaja i kapacitetu puža, ali nema izraza za potrebnu snagu za pogon rotora puža. Ipak, ta se snaga navodi na ovom računalu, kao i na nomogramu na slici 41 na stranici 47.

Na disku se nalaze četiri skale. Vodeća je vanjska skala, kapacitet puža Q u tonama ugljena na sat, s rasponom od 2 do 60 t/h. Uz nju je, na unutarnjoj strani iste crte skala za snagu N_{10} za pogon puža (duljine 10 metara) s rasponom od 0,4 do 3,7 kW, a još bliže središtu je jedna dvostruko označena skala – rastuća za promjer puža D s rasponom od 150 do 500 mm i padajuća za broj okretaja n od 120 do 50 okretaja u minuti.

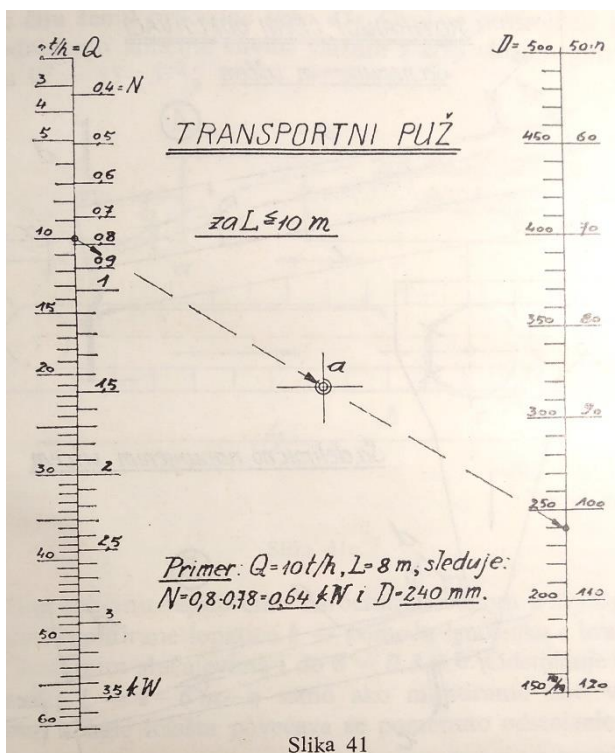
Odabirom jedne veličine (pretpostavljeno: kapaciteta puža Q u tonama ugljena na sat) i namještanjem kazaljke na odabranu vrijednost, svi su ostali podaci određeni.

Snaga za pogon puža prikazana je za puž duljine 10 metara. Za kraći puž (duljine L metara) snaga se dobije množenjem očitane vrijednosti N_{10} faktorom $(L/10)$.

Način uporabe računala:

Radijalni rub kazaljke namjesti se na zadani kapacitet puža Q na vanjskoj skali i na ostalim skalama očitaju se vrijednosti; snaga N_{10} , promjer puža D i broj okretaja n .

U knjizi »Goriva-izgoretine«, Beograd, 1964. na slici 41 na stranici 47. navodi se nomogram za određivanje potrebne snage za pogon puža (u kW), potrebnog promjera puža u milimetrima i potrebnog broja okretaja u minuti, sve ovisno o potrebnoj dobavi ugljena u tonama na sat.



Slika 41

Sl. 13.2 Nomogram za određivanje potrebne pogonske snage te promjera i broja okretaja transportnog puža za dobavu ugljena

14. »PLINOGRAM za tekuća (i plinovita) goriva za pretičak zraka $n = 1,0 \div 1,16$ PREMA GULIČU«



Sl. 14.1 Prednja i stražnja strana računala. Kazaljka je izmknuta radi preglednosti.

Ovo analogno računalo obavlja isti zadatak kao i *dijagram* broj 7 naziva »"PLINOGRAM" za tekuća goriva za pretičak zraka $n = 1,0 \div 1,15$ PREMA GULIČU«, tj. računa faktor pretička zraka za tekuća goriva poznate vrijednosti $(CO_2)_{\max}$ izračunate iz zadanog sastava goriva, ali ne na temelju izmjerenih postotaka molnih udjela *ugljikovog dioksida i ugljikovog monoksida* u suhim dimnim plinovima kao tamo:

$$n = f[(CO'_2), (CO_2)_{\max}], \quad \text{gdje je} \quad CO'_2 = \frac{100 - (CO_2 + CO)}{100 - 0,5 CO} \%,$$

nego na temelju izmjerenih postotaka molnih udjela *kisika* i vrijednosti $(CO_2)_{\max}$:

$$n = f[(O'_2), (CO_2)_{\max}]$$

kako je to opisano jednačbama 122f, 122m, 122n i 122o na stranicama 22 do 24 knjige Gulič: »I dodatak II izdanju Sagorevanje«, Beograd, 1970.:

$$n = 1 + \frac{CO_{2,\max} + 67,3}{88,3} \left(\frac{CO_{2,\max}}{CO'_2} - 1 \right) \quad (122f)$$

$$\frac{CO_{2,\max}}{CO'_2} = \frac{21}{21 - O'_2} \quad (122m)$$

$$O'_2 = O_2 - 0,5 \text{ CO \%} \quad (122n)$$

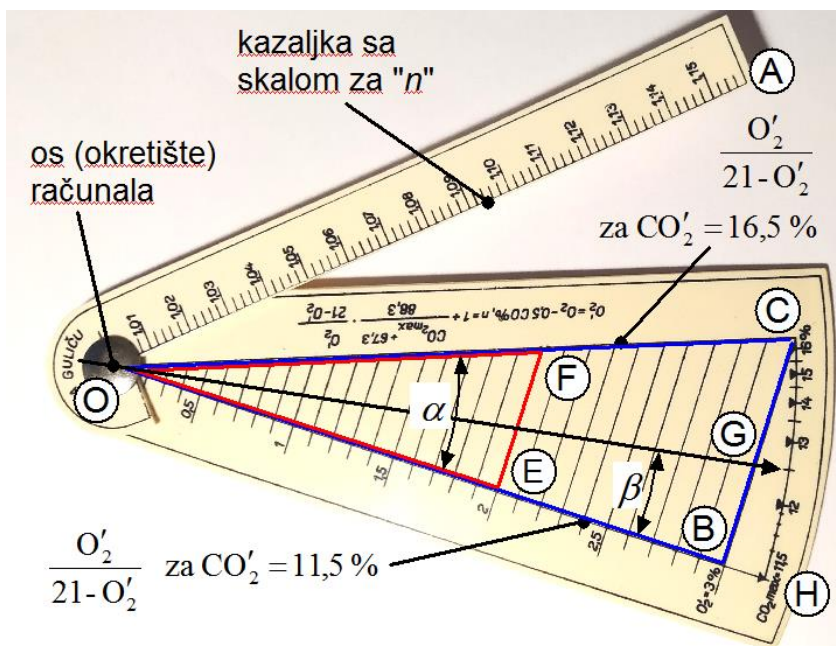
$$n = 1 + \frac{\text{CO}_{2,\text{max}} + 67,3}{88,3} \frac{O'_2}{21 - O'_2} \quad (122o)$$

koje služe za kontrolu izgaranja u ložištima parnih kotlova. Podaci $(\text{CO}_2)_{\text{max}}$ i O'_2 izraženi su u postocima. Postotak $(\text{CO}_2)_{\text{max}}$ ovisi o sastavu goriva, a postotak O'_2 mjeri se u dimnim plinovima pri izgaranju. Jednadžbe (122n) i (122o) napisane su i na samom računalu.

Za ovo pomagalo odabran je raspon $11,5 \% \leq (\text{CO}_2)_{\text{max}} \leq 16,5 \%$, $0 \% \leq O'_2 \leq 3 \%$ i $1 \leq n \leq 1,16$ (zapravo: 1,158) koje su tipične za kapljevita („tekuća“) goriva.

Iako služi za praktički jednak zadatak kao i gore spomenuti *dijagram_#7*, ovo je *računalo* koncipirano na sasvim drukčiji način. Množenje naznačeno u jednadžbi (14.1) obavlja se ovdje iskorištavanjem značajki *sličnosti trokuta*.

Osnovu računala čini ploča oblika kružnog isječka kuta oko 20° , ukupne radijalne duljine 120 mm i ima radijalnu kazaljku.



Sl. 14.2 Sličnost trokuta kao osnova konstrukcije računala

Jednadžba (122o) može se preinačiti u oblik:

$$n - 1 = \frac{CO_{2,max} + 67,3}{88,3} \cdot \frac{O'_2}{21 - O'_2}, \quad (14.1)$$

pri čemu je vrijednost prvog razlomka na desnoj strani uvijek manja od jedinice jer je odabrano $11,5 \% \leq (CO_2)_{max} \leq 16,5 \%$ (a i inače $(CO_2)_{max}$ nikako ne može biti veći od 21!). Očito je da *porast* obiju veličina, $(CO_2)_{max}$ i O'_2 , *povećava* faktor pretička zraka n .

Gornju jednadžbu možemo za odabranu vrijednost O'_2 pisati kao linearnu funkciju od $(CO_2)_{max}$, tj. kao jednadžbu pravca:

$$n - 1 = \frac{O'_2}{21 - O'_2} \cdot \frac{1}{88,3} [CO_{2,max} + 67,3] = a \cdot (CO_{2,max} + b), \quad (14.2)$$

Maksimalnu vrijednost $(n - 1)$ postiže kad su $(CO_2)_{max}$ i O'_2 najveći, tj. kad je $(CO_2)_{max} = 16,5 \%$ i $O'_2 = 3 \%$:

$$n - 1 = \frac{(CO_{2,max})_{max} + 67,3}{88,3} \cdot \frac{O'_2}{21 - O'_2} = 0,1582 \quad (14.3)$$

i zato je na kazaljci uzet raspon skale za n do 1,158.

No, kad je, za isti $O'_2 = 3 \%$, $(CO_2)_{max} = 11,5 \%$ *manji*, i $(n - 1)$ je manji:

$$n - 1 = \frac{(CO_{2,max})_{min} + 67,3}{88,3} \cdot \frac{O'_2}{21 - O'_2} = 0,1487. \quad (14.4)$$

Početak zasnivanja računala je na radijalnoj kazaljci. Od njene osi (točke okretanja »O« na slici 14.3) do kraja (oznaka »A«) ravnomjerno (linearno) su nanesene vrijednosti od $(n - 1) = 0,0$ do $(n - 1) = 0,158$ (iako na kazaljci *piše* »n« od 1,0 do 1,158!).

Pripadajuće iznose $O'_2 / (21 - O'_2)$ za vrijednosti O'_2 od 0 % do 3 % možemo nanijeti na skalu (**O-B**) na slici dolje i ona je *malo kraća* od skale za n na kazaljci (**O-A**). Parametarske crte $O'_2 = \text{konst.}$ ucrtane su tako da budu *okomite na skalu* (**O-B**). (Iako se tako može učiniti na prvi pogled, snop tih crta okomitih na dužinu **O-B** *nije jednoliko razmaknut*, razmak se vrlo malo povećava s udaljenošću od točke **O**!)

Time se stvara *pravokutni trokut* **O-B-C** (plavo) i za stranice (**O-B**) i (**O-C**) vrijedi odnos:

$$\alpha = \arccos \left(\frac{|\overline{O-B}|}{|\overline{O-C}|} \right) = \arccos \left(\frac{0,1487}{0,1582} \right) = 19,892^\circ. \quad (14.5)$$

Plavim pravokutnim trokutom **O-B-C** i njemu sličnim crvenim pravokutnim trokutom **O-E-F** određene su vrijednosti n za sve O_2 od 0 % do 3 % , ali samo za dvije krajnje vrijednosti $(CO_2)_{\max} = 11,5 \%$ i $16,5 \%$.

Da bismo uzeli u obzir i međuvrijednosti $11,5 \% < (CO_2)_{\max} < 16,5 \%$, poslužiti ćemo se trigonometrijom. Zamislimo zraku **O-G** koja „cilja“ na zadanu vrijednost $(CO_2)_{\max}$ i koja omeđuje trokut **O-B-G** . Zadatak je naći kut β pri vrhu tog trokuta **O** koji odgovara zadanoj vrijednosti $(CO_2)_{\max}$ da se dobije traženi iznos $(n-1)_{CO_2, \max}$.

$$\text{iz } \frac{\overline{O-B}}{\overline{O-C}} = \cos(\alpha) = \frac{(n-1)_{11,5\%}}{(n-1)_{16,5\%}} \quad (14.6)$$

$$\text{i } \frac{\overline{O-B}}{\overline{O-G}} = \cos(\beta) = \frac{(n-1)_{11,5\%}}{(n-1)_{CO_2, \max}} \quad \text{slijedi:} \quad (14.7)$$

$$\overline{O-G} = \overline{O-C} \frac{\cos(\alpha)}{\cos(\beta)} \quad (14.8)$$

$$\text{i } \frac{\cos(\alpha)}{\cos(\beta)} = \frac{(n-1)_{CO_2, \max}}{(n-1)_{16,5\%}} = \frac{CO_{2, \max} + 67,3}{16,5 + 67,3} \quad (14.9)$$

$$\cos(\beta) = \cos(\alpha) \cdot \frac{16,5 + 67,3}{CO_{2, \max} + 67,3} \quad (14.10)$$

$$\begin{aligned} \beta &= \arccos \left[\cos(\alpha) \cdot \frac{16,5 + 67,3}{CO_{2, \max} + 67,3} \right] = \\ &= \arccos \left[\frac{0,1487}{0,1582} \cdot \frac{16,5 + 67,3}{CO_{2, \max} + 67,3} \right]. \end{aligned} \quad (14.11)$$

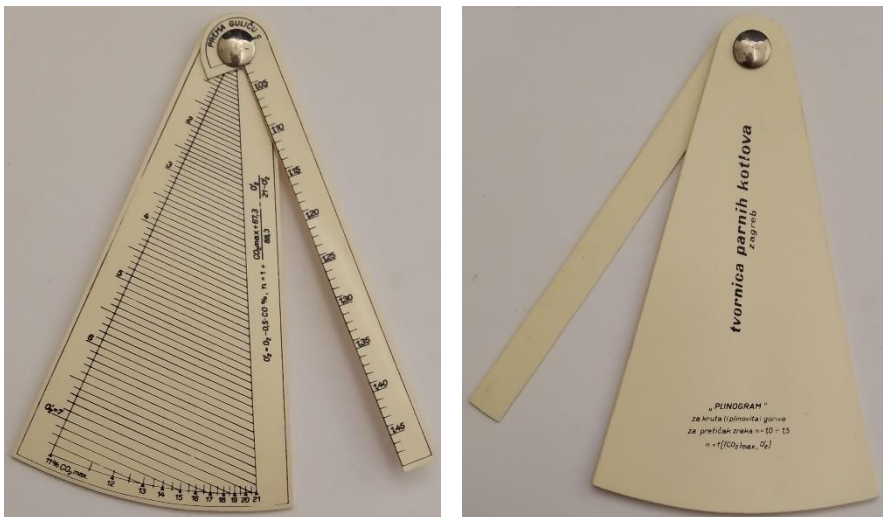
Način uporabe računala:

Iako konstrukcija izgleda komplicirano, uporaba računala je jednostavna:

1. Prvo se kazaljka svojim rubom (skalom **O-A**) namjesti na zadanu vrijednost $(CO_2)_{\max}$ na desnom kružnom luku **B-C** ;
2. Na skali **O-B** nađe se zadana vrijednost O_2 i, služeći se ucrtanim paralelama očita se na kazaljci na skali **O-A** tražena vrijednost n .

Time je postupak gotov.

15. »PLINOGRAM za kruta (i plinovita) goriva za pretičak zraka $n = 1,0 \div 1,5$ PREMA GULIČU«



Sl. 15.1 Prednja i stražnja strana računala. Kazaljka je izmaknuta radi preglednosti.

Ovo analogno računalo obavlja isti zadatak kao i *računalo*#14, ali za drugu vrstu goriva, tj. računa faktor pretička zraka za *kruta (i plinovita) goriva* poznate vrijednosti $(CO_2)_{\max}$ izračunate iz zadanog sastava goriva, na temelju izmjerenih postotaka molnih udjela *kisika* i vrijednosti $(CO_2)_{\max}$:

$$n = f[(O'_2), (CO_2)_{\max}]$$

kako je to opisano jednadžbama 122f i 122m na stranicama 22 do 24 knjige Gulič: »I dodatak II izdanju Sagorevanje«, Beograd, 1970.:

Računalo je koncipirano na *potpuno jednak način* kao i prethodno *računalo broj14*: »PLINOGRAM za tekuća (i plinovita) goriva za pretičak zraka $n = 1,0 \div 1,16$ PREMA GULIČU«. Razlika je samo u vrsti goriva na koje se odnosi i iz toga proizlazećih brojčanih vrijednosti pojedinih parametara. Zato i analiza ovog računala može biti skraćena.

Iako je koncepcija osnivanja računala broj 14 i 15 načelno potpuno jednaka, drukčije odabrane brojčane vrijednosti zbog drukčijih karakteristika izgaranja različitih goriva imaju za posljedicu malo drukčiji redoslijed određivanja rubnih parametara. Uvidom u samo računalo, čini se da je autor odabrao maksimalnu vrijednost za $O'_2 = 7,4\%$ pri minimalnih $(CO_2)_{\max} = 11\%$:

$$n - 1 = \frac{(CO_{2,\max})_{\min} + 67,3}{88,3} \cdot \frac{O'_2}{21 - O'_2} = 0,48250 \quad (15.1)$$

Zaključak:

Proračun parnih kotlova iznimno je složen i sastoji se, osim od proračuna 'vatrene strane' odnosno dobave i pripreme goriva, izgaranja i zbrinjavanja produkata izgaranja, još i od proračuna 'parne strane' tj. termodinamičkog proračuna proizvodnje pare, zatim od 'dimenzioniranja' pojedinih sastavnih dijelova parnog kotla sa stanovišta izmjene topline, mehaničke čvrstoće svih dijelova, karakteristika strujanja svih radnih tvari i još niza proračuna: građevinski objekti, eksploatacija...

Prikazani komplet od petnaest analognih računala za proračun 'vatrene strane' zadivljujući je primjer pokušaja olakšavanja provedbe računskog postupka u doba kad su računska pomagala bila 'primitivna' i spora, a sastojala su se od logaritamskih tablica ili logaritamskog računala (»šibera«) za množenje i dijeljenje i izračunavanje transcendentnih funkcija, papira i olovke ili eventualno mehaničkih računskih strojeva za četiri računske operacije.

Naravno da tih petnaestak formula čije se rješavanje ubrzava ili olakšava spomenutim pomagalima nipošto nisu cijeli proračun 'vatrene strane', dakle, to je samo razmjerno mala pomoć proračunu u to doba, ali je zadivljujuće kako su se u to doba ljudi snalazili i da se našao netko spreman uložiti puno truda da bi nekolicini projektanata olakšao posao. Malo je vjerojatno da je populacija zainteresirana za ta pomagala bila brojna, možda čak samo ekipa inženjera unutar Tvornice parnih kotlova, i sasvim je sigurno da motiv njihove izrade nije bio komercijalan.

U vrijeme njihova nastanka, ako je točna procjena da se radilo o sredini šezdesetih godina dvadesetog stoljeća, pojavili su se prvi elektronički stolni kalkulatori npr. 1964. Friden 130 i još nekoliko modela s četirima računskim operacijama, ali je razvoj elektroničkih kalkulatora bio nevjerojatno brz, tako da je već nekoliko godina kasnije, krajem šezdesetih, bilo nekoliko modela sa svim mogućim računskim operacijama i izračunavanjem transcendentnih funkcija pa čak i sa skromnom mogućnošću programiranja, da bi već do sredine sedamdesetih bili široko dostupni *džepni* kalkulatori s jednakim mogućnostima i pristupačnim cijenama. Usporedo s tim razvijali su se i kompjutori s još većim mogućnostima.

U tom trenutku praktički je prestala potreba za ovakvim računskim pomagalima. Je li njihov autor, u doba kad ih je osmišljavao i realizirao, mogao pretpostaviti tako brzi razvoj i dostupnost modernih elektroničkih pomagala i da će njegova pomagala za koju godinu postati nepotrebna? Jer, kako god bio vješt i brz njihov korisnik, nije se ni izbliza mogao nositi s prednostima elektroničkih kalkulatora ili kompjutora.

To će ostati tajna, a ovaj komplet analognih računskih pomagala svjedočit će o domišljatosti i spremnosti nekoga da uloži nemali trud ne bi li bar nekolicini drugih olakšao i ubrzao posao.

Literatura

- [1] G.Gulič: *Sagorevanje*, Beograd, 1964.,
- [2] G.Gulič: *Sagorevanje I dodatak II izdanju*, Beograd, 1970.,
- [3] G.Gulič: *Goriva-izgoretine*, Beograd, 1964.
- [4] <https://www.slovenska-biografija.si/oseba/sbi1011570/> ; pristupljeno 22.10.2021.,

THE SWAN SONG OF ANALOG COMPUTERS

Summary: In the 1960-s, with the support of the Steam boilers Factory Zagreb - *Tvornica parnih kotlova Zagreb*, a set of fifteen analog calculators was made for the purpose of calculating some formulas in the process of rating the combustion in the steam boilers. Although impressive for the design ingenuity, they were soon obsolete because electronic calculators and computers appeared on the market, simply making all the up to then available calculating aids a history. However, the way these analog calculators were conceived deserves the praise for effort which some people made to solve the problems which today seem to be simple and are simple and easy to solve using today's calculating aids.

Key words: analog calculators, Gvidon Gulič, rating of combustion, Steam boilers Factory Zagreb (*Tvornica parnih kotlova Zagreb*)

Boris Halasz