

Labuđi pjev analognih računala

Komplet od 15 analognih računala
za potrebe Tvornice parnih kotlova
Zagreb

Boris Halasz

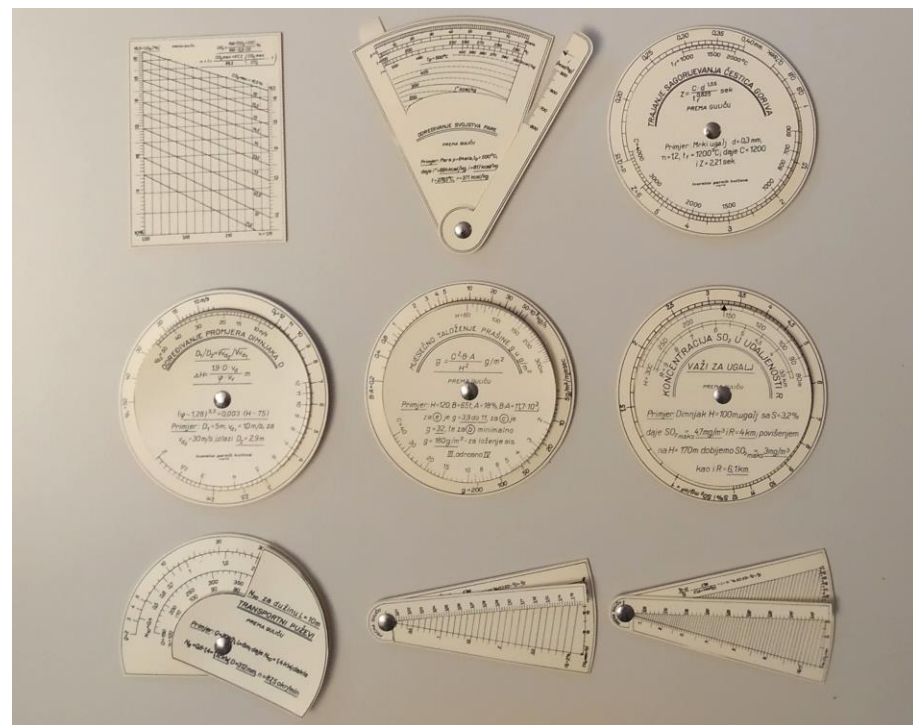


Šezdesetih godina dvadesetog stoljeća pod okriljem Tvornice parnih kotlova u Zagrebu napravljen je komplet od 15 analognih računala za izračunavanje pojedinih formula za proračun parnih kotlova.

Iako impresivan po dosjetljivosti kojom je napravljen, ubrzo je zastario jer su se pojavili elektronički kalkulatori i kompjutori koji su sva dotadašnja računska pomagala jednostavno bacili u povijest.

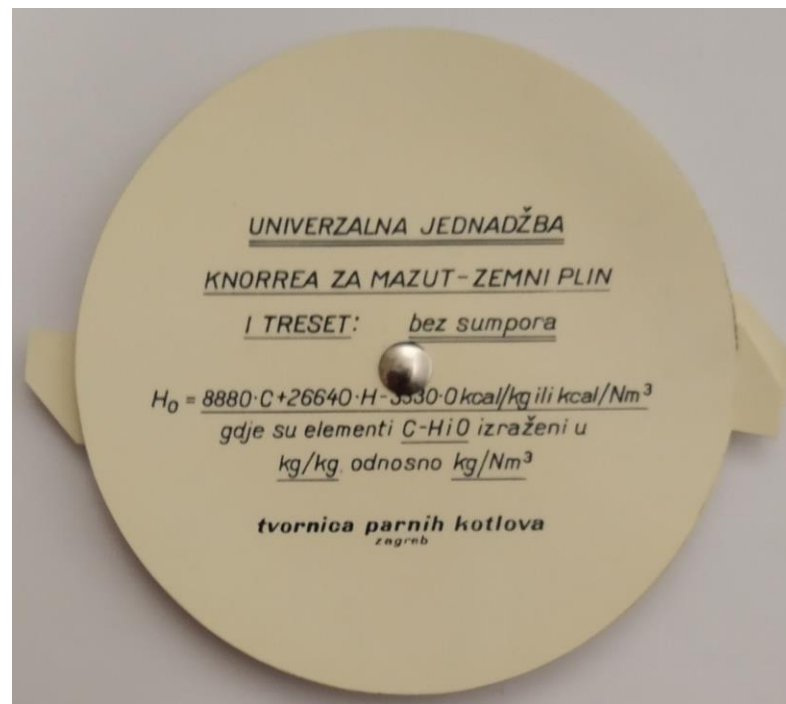
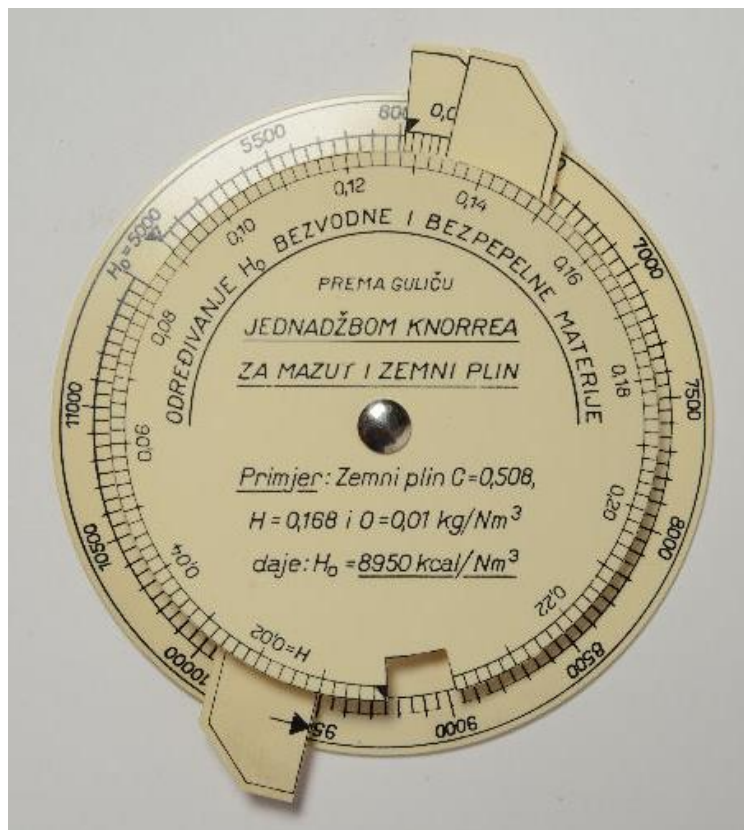
Ipak, način na koji su napravljena zaslužuje pohvalu za domišljatost i trud koji su ljudi nekad ulagali da bi riješili probleme koji se danas čine i jesu jednostavno i lako rješivi.

Komplet analognih računala i pripadajući držač



- 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.

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

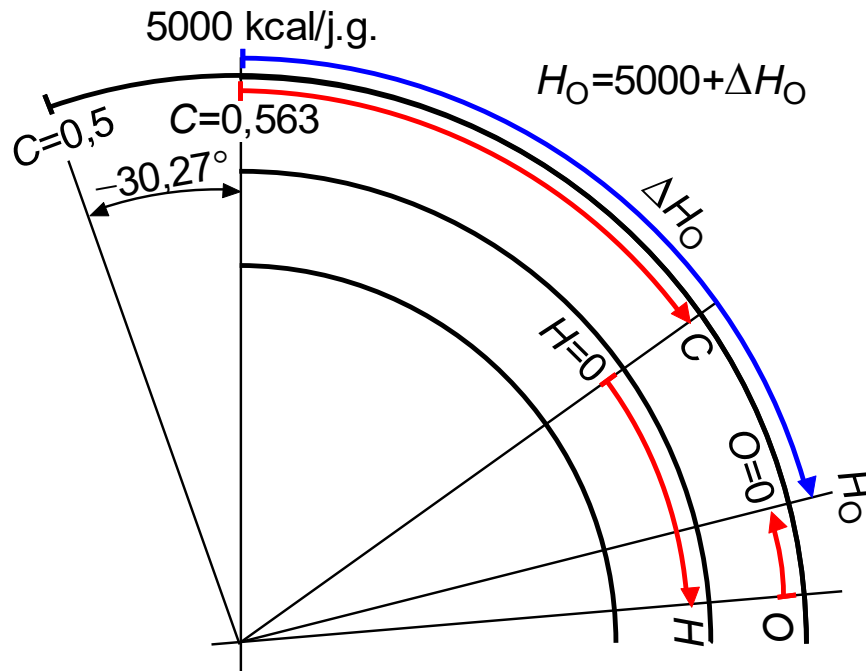


Prednja i stražnja strana računala.

- Formula za gornju ogrjevnu vrijednost H_O goriva:

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

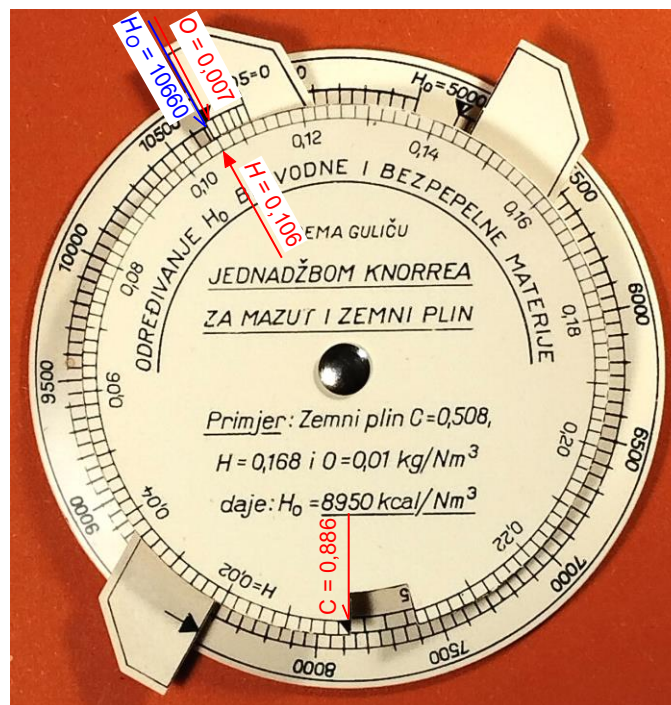
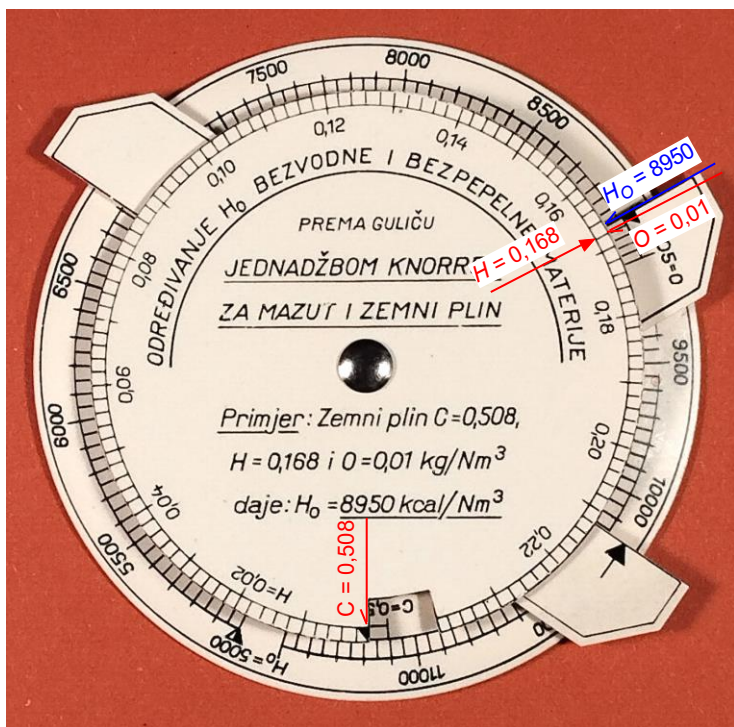
prema prijedlogu Knorrea (jednadžba 31a, citirana u Gulič: »Sagorevanje«, Beograd, 1964., str. 27).



$$0,5 \leq C \leq 0,9$$

$$0 \leq H \leq 0,24$$

$$0 \leq O \leq 0,05$$



Na prednjoj strani prednjeg diska dan je primjer za kontrolu računanja:
Za zemni plin sastava:

$$C = 0,508 \text{ kg}/\text{Nm}^3; \quad H = 0,168 \text{ kg}/\text{Nm}^3 \quad \text{i} \quad O = 0,01 \text{ kg}/\text{Nm}^3$$

gore opisanim postupkom dobije se: $H_0 = 8950 \text{ kcal}/\text{Nm}^3$.

Izračun elektroničkim kalkulatorom: $H_0 = 8953,3 \text{ kcal}/\text{Nm}^3$.

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

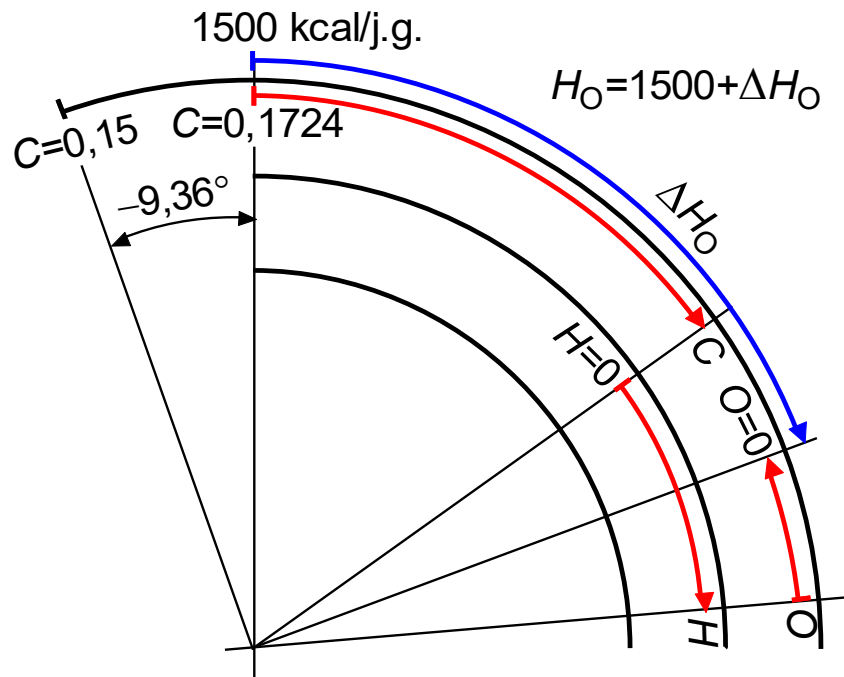


Prednja i stražnja strana računala.

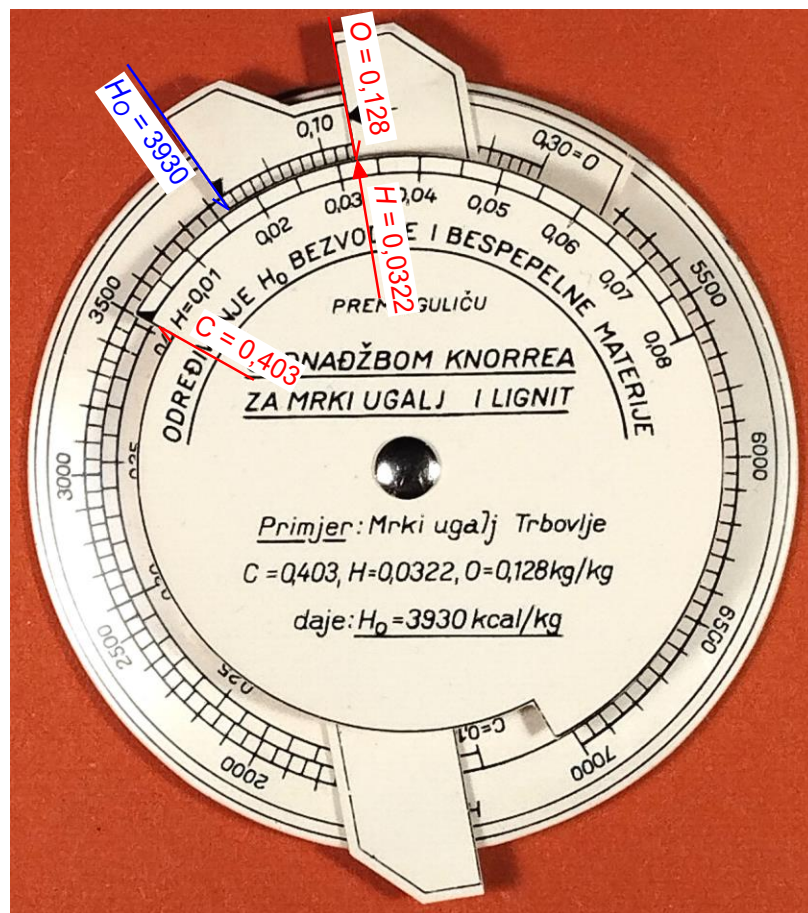
- Formula za gornju ogrjevnu vrijednost H_O goriva:

$$H_O = 8700 \cdot C + 26100 \cdot H - 3260 \cdot O \quad \text{kcal/kg}$$

prema prijedlogu Knorrea (jednadžba 31a, citirana u Gulič: »Sagorevanje«, Beograd, 1964., str. 27).



$$\begin{aligned} 0,15 &\leq C \leq 0,80; \\ 0 &\leq H \leq 0,08; \\ 0 &\leq O \leq 0,30 \end{aligned}$$



Primjer za kontrolu računanja s tim računalom kao rezultat dobiven za jedan set podataka:

Za mrki ugljen Trbovlje sastava:

$C = 0,403 \text{ kg/kg};$

$H = 0,0322 \text{ kg/kg i}$

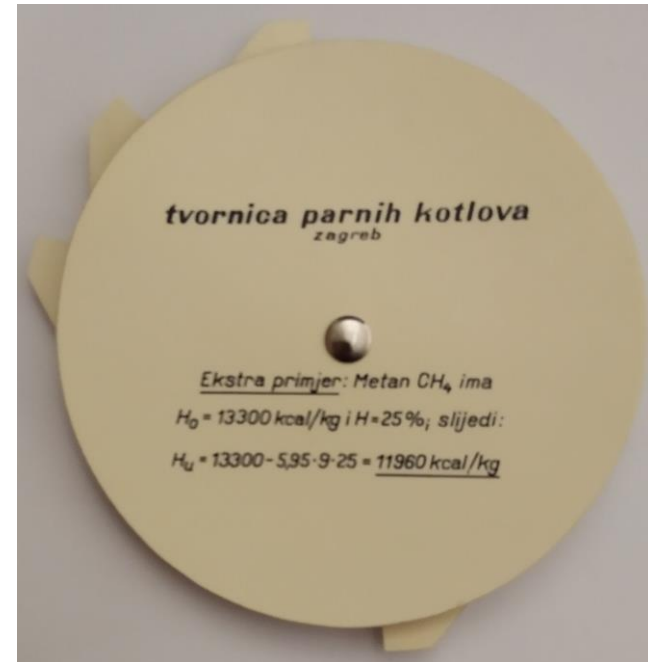
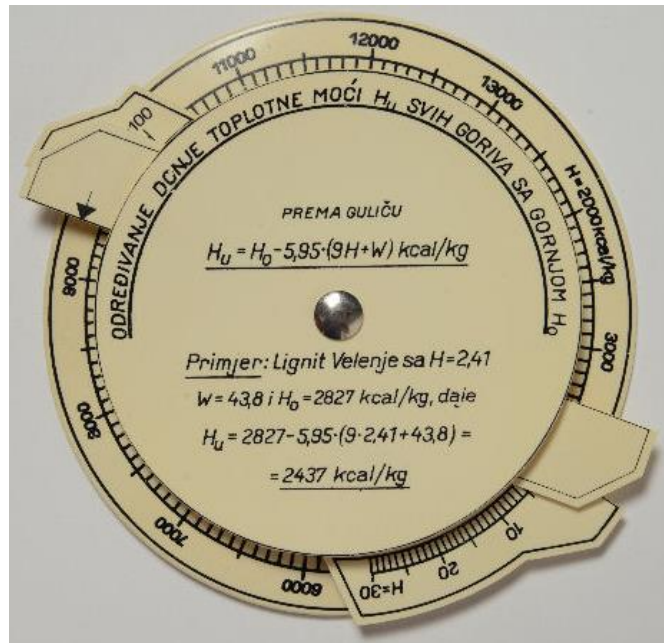
$O = 0,128 \text{ kg/kg}$ gore
dobije se:

$H_O = 3930 \text{ kcal/kg.}$

Izračun s pomoću elektroničkog kalkulatora daje izravan rezultat:

$H_O = 3929,2 \text{ kcal/kg.}$

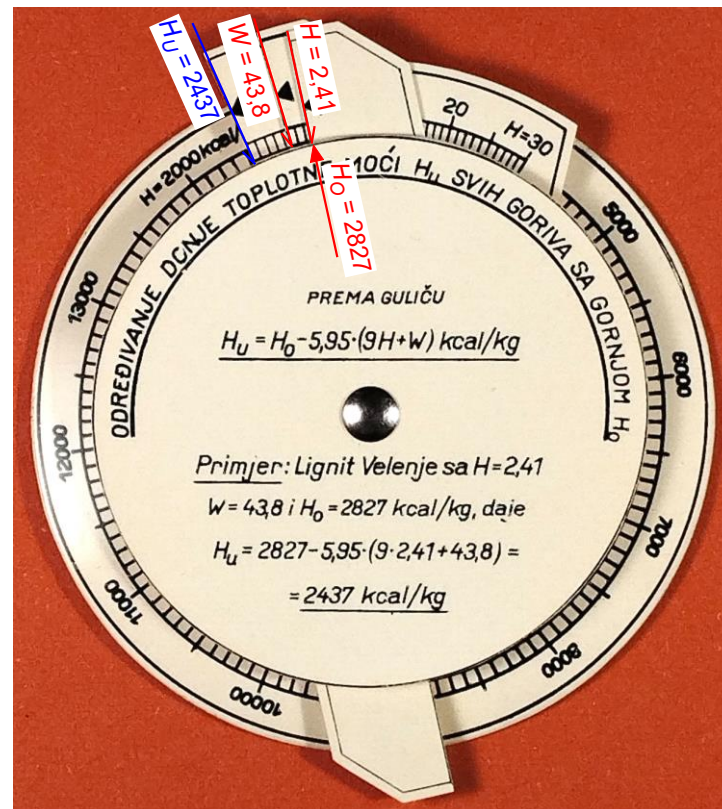
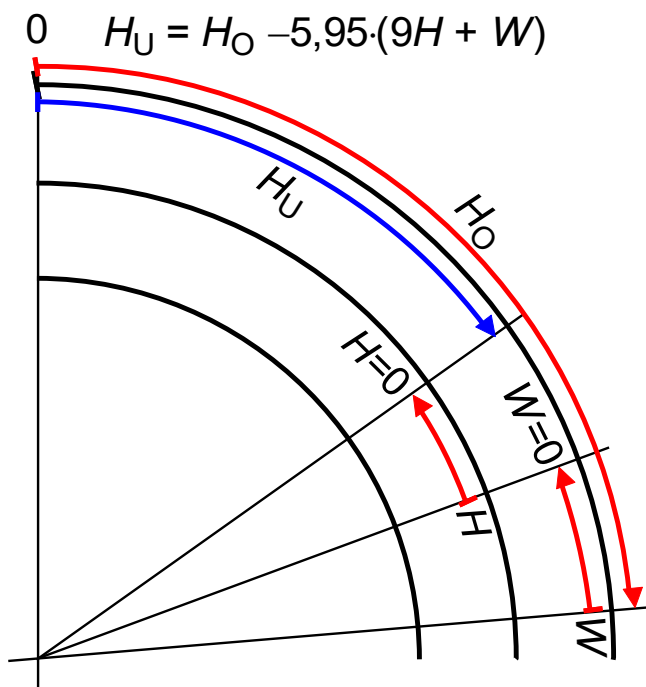
3. »ODREĐIVANJE DONJE TOPLLOTNE MOĆI H_U SVIH GORIVA SA GORNJOM H_O PREMA GULIČU «



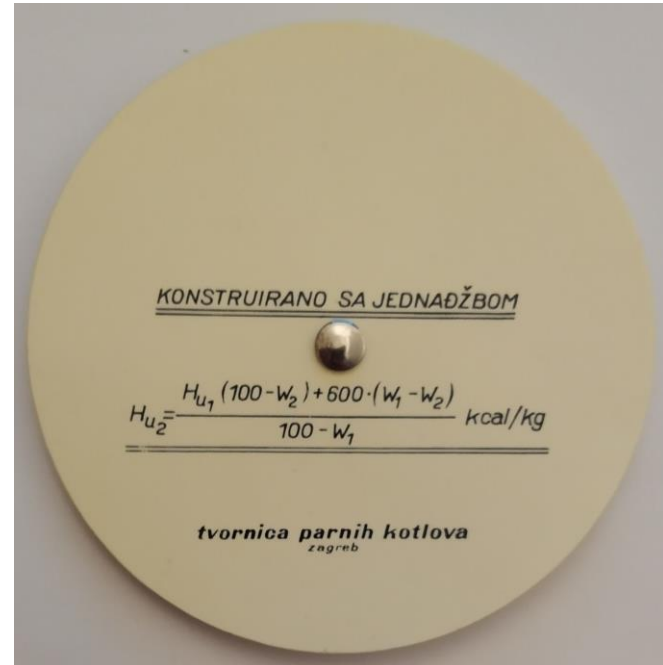
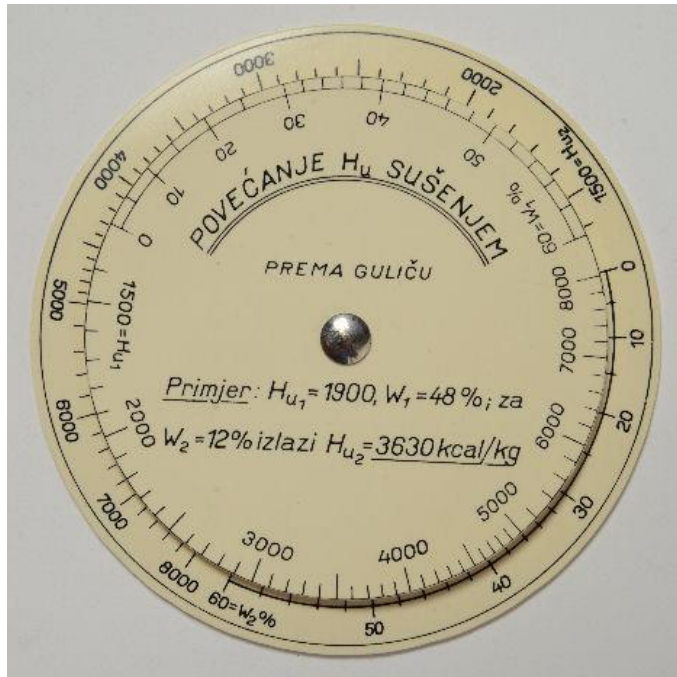
Ovo računalo određuje donju ogrjevnu vrijednost bilo kojeg goriva čija je gornja ogrjevna vrijednost poznata te čiji su poznati maseni udjeli vodika i vlage.

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

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



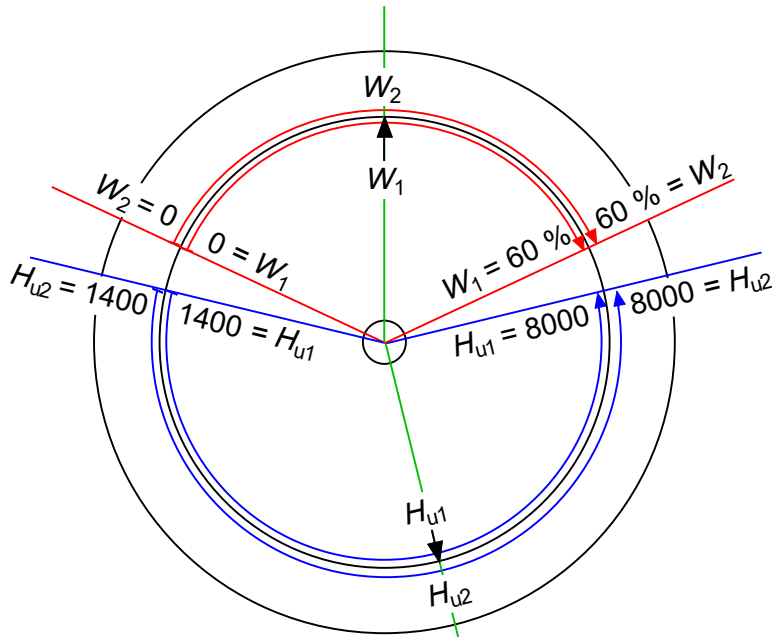
4. »POVEĆANJE H_u SUŠENJEM PREMA GULIČU«



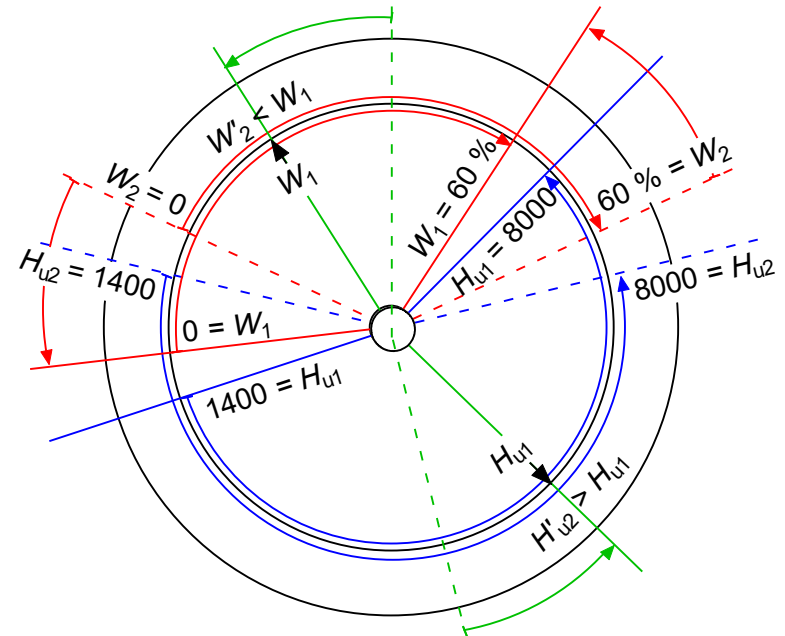
Ovo analogno računalo određuje povećanje donje ogrjevnice vrijednosti goriva sušenjem, tj. sa smanjenjem sadržaja vlage u gorivu. Zamjetan sadržaj vlage imaju samo čvrsta goriva.

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

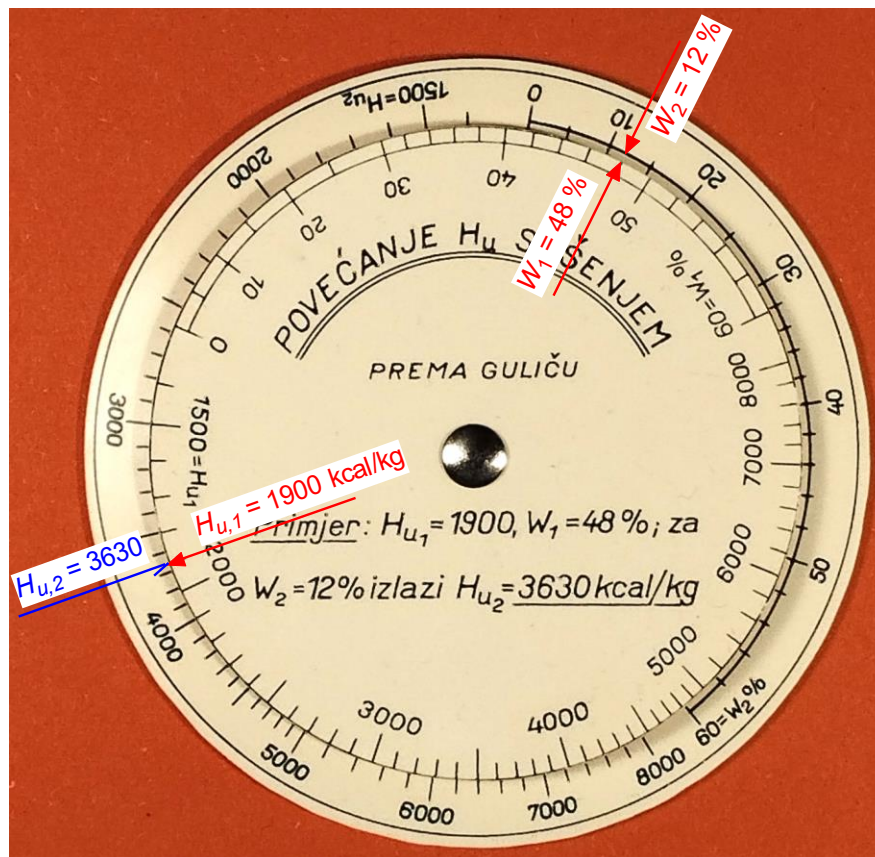
$$\frac{H_{U2} + 600}{100 - W_2} = \frac{H_{U1} + 600}{100 - W_1} \quad \text{kcal/kg}$$



Diskovi u osnovnom položaju



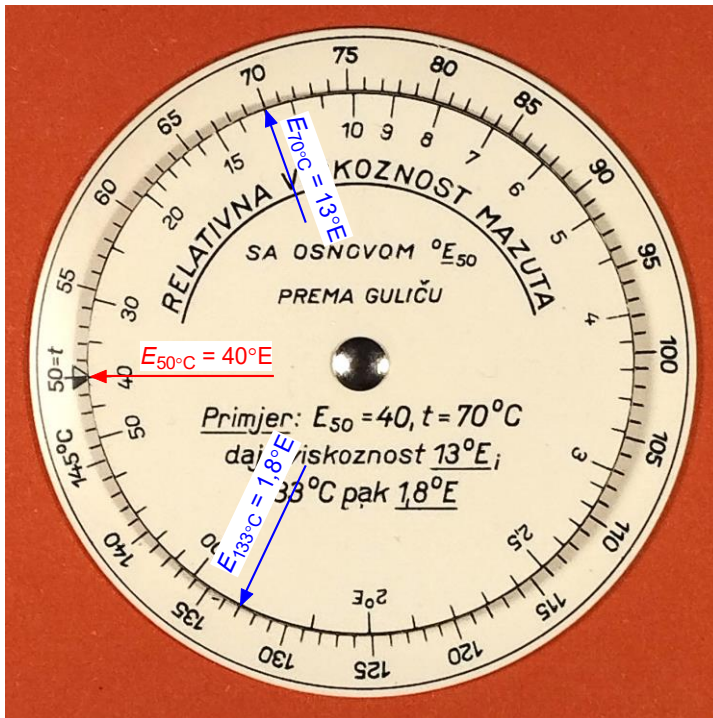
Namješteni za očitavanje



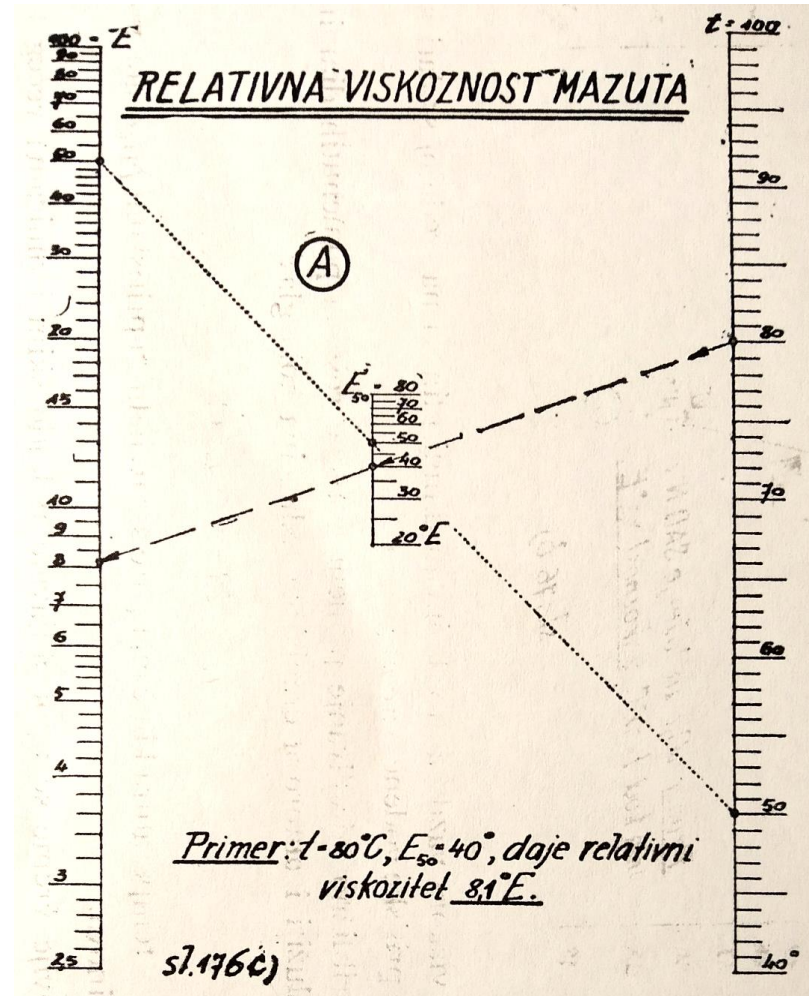
5. »RELATIVNA VISKOZNOST MAZUTA SA OSNOVOM E_{50} PREMA GULIČU«



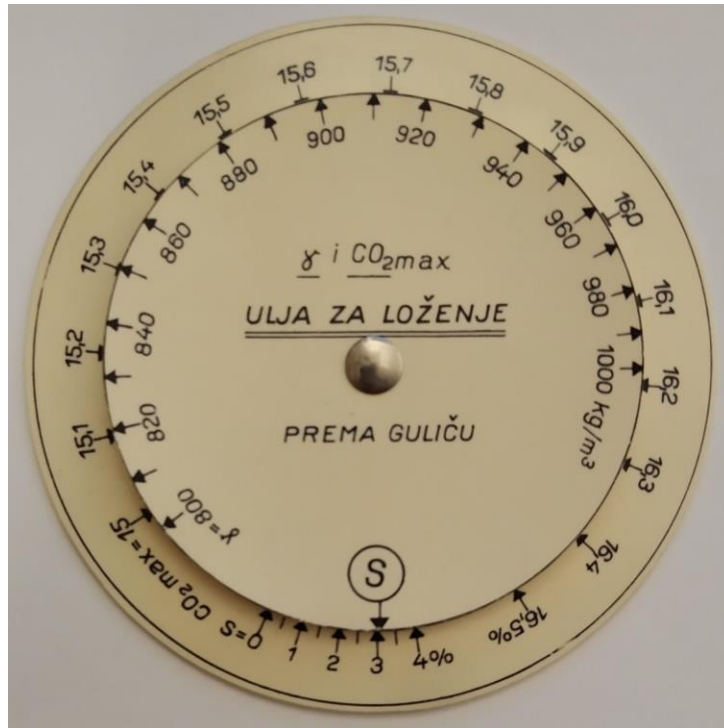
Ovo analogno računalo određuje relativnu viskoznost mazuta u stupnjevima Englera na nekoj temperaturi ako je poznat njen iznos u stupnjevima Englera pri temperaturi 50 °C.



U knjizi »Sagorevanje« iz 1964. na str. 250 prikazan je nomogram za računanje istog zadatka.

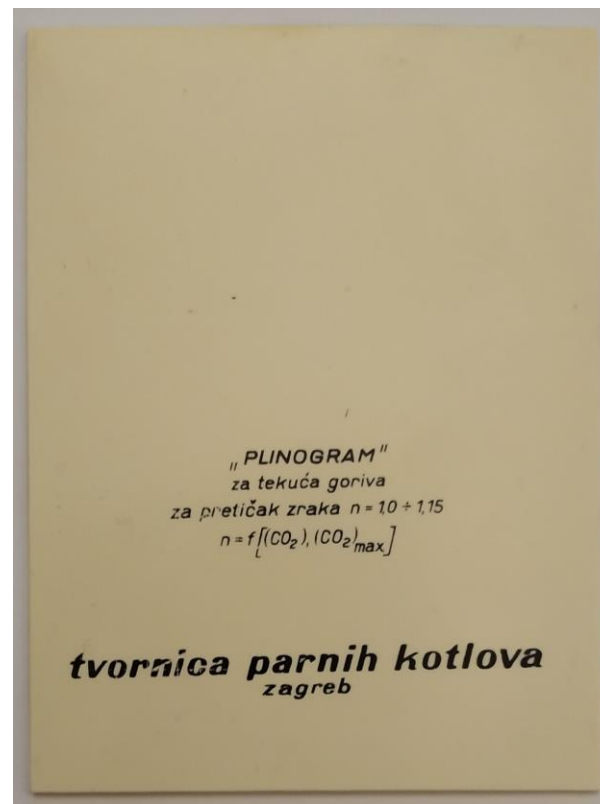
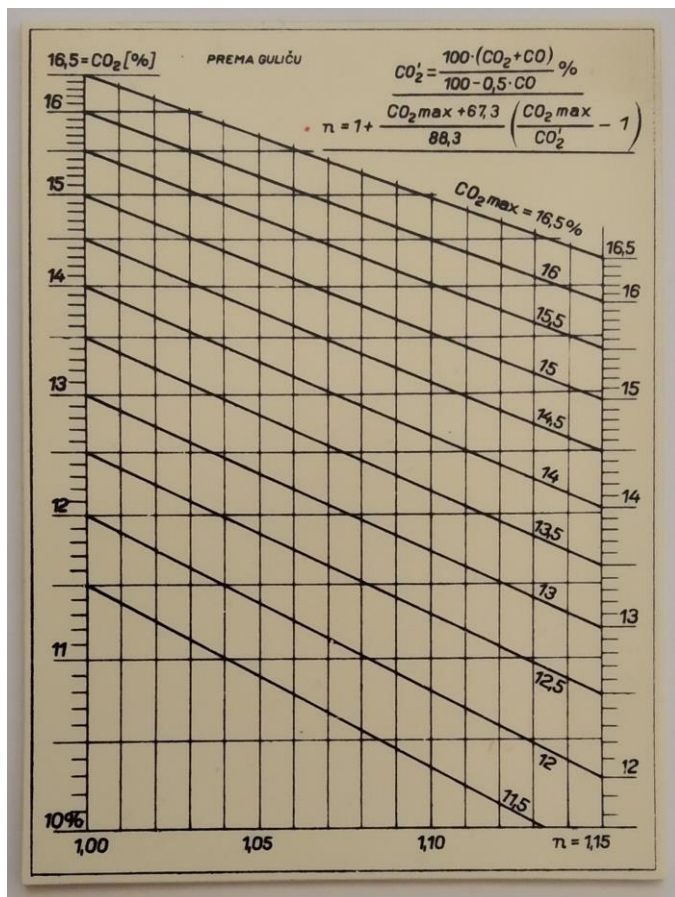


6. »CARBOGRAM« γ i $(CO_2)_{\max}$ ULJA ZA LOŽENJE PREMA GULIČU«



Ovo analogno računalo određuje maksimalni udio (postotak) ugljikovog dioksida u dimnim plinovima za ulja za loženje ovisno o njihovoj gustoći (izvorno: specifičnoj težini γ kp/m^3) i masenom udjelu (postotku) sumpora u gorivu.

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



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

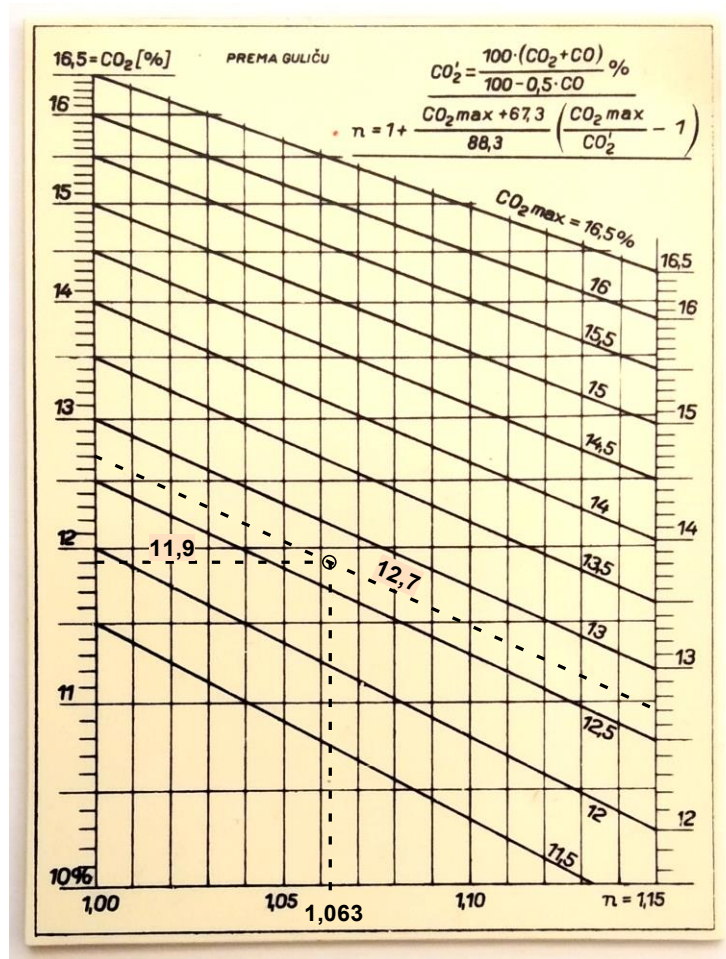
$$CO'_2 = \frac{100 - (CO_2 + CO)}{100 - 0,5 CO} \%$$

$$n = 1 + \frac{(CO_2)_{\max} + 67,3}{88,3} \left(\frac{(CO_2)_{\max}}{CO'_2} - 1 \right)$$

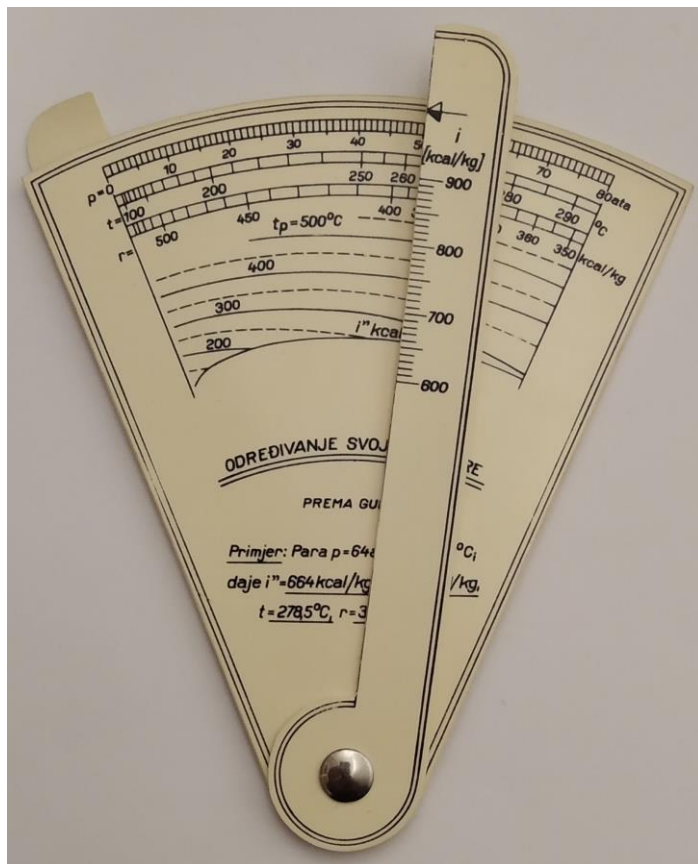
Uzet je raspon veličina $1 \leq n \leq 1,15$ i $11,5 \% \leq (CO_2)_{\max} \leq 16,5 \%$ i $10 \% \leq CO'_2 \leq 16,5 \%$ koje su tipične za "tekuća" goriva.

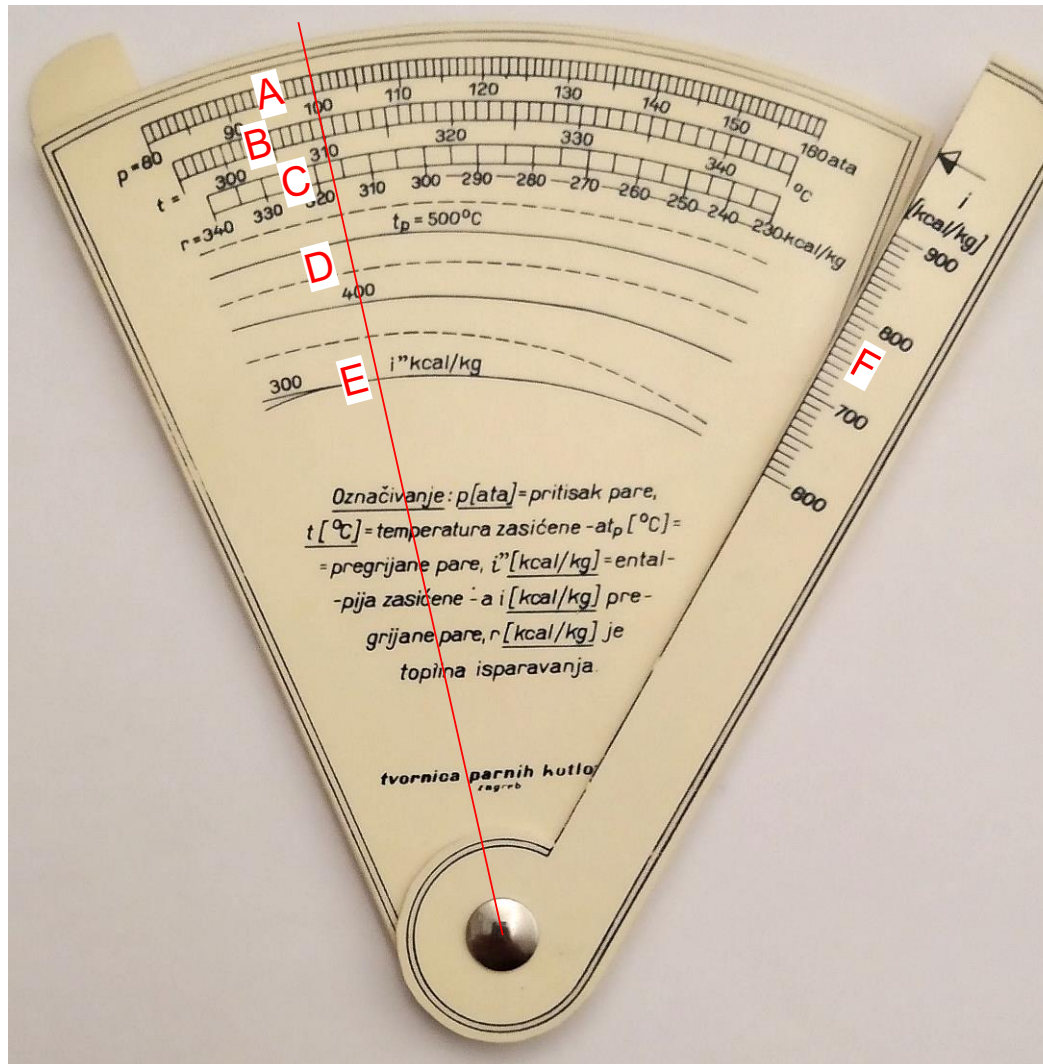
Jednadžba pravca:

$$\frac{1}{CO'_2} = \frac{1}{(CO_2)_{\max}} + \frac{(n-1) \cdot 88,3}{(CO_2)_{\max} ((CO_2)_{\max} + 67,3)} = a + b(n-1)$$

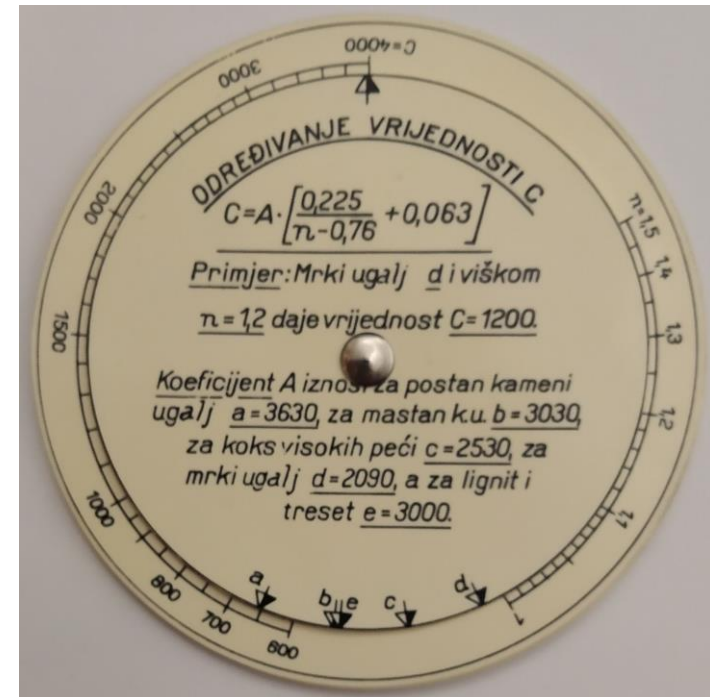
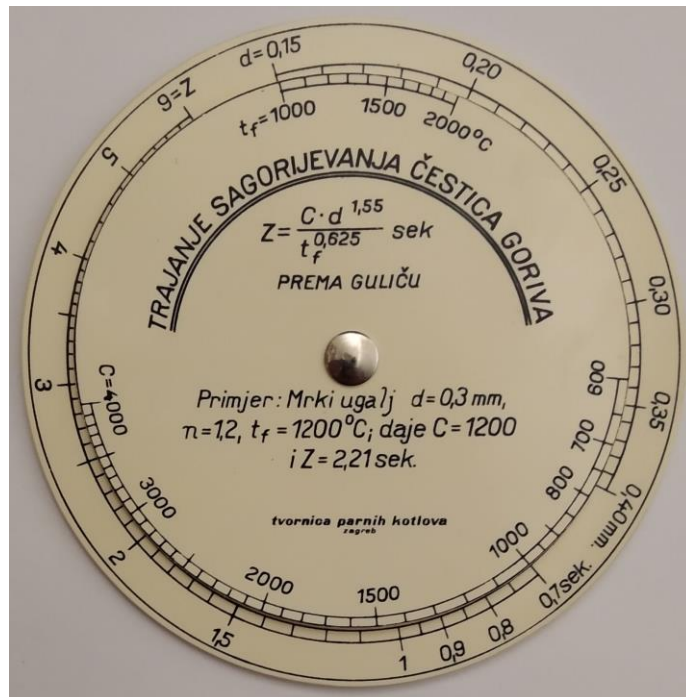


8. »ODREĐIVANJE SVOJSTVA PARE PREMA GULIČU«





9. »TRAJANJE SAGORIJEVANJA ČESTICA GORIVA PREMA GULIČU«



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.

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

$$Z = \frac{C \cdot d^{1,55}}{t_f^{0,625}} \text{ sekundi}$$

$$C = A \cdot \left(\frac{0,225}{n - 0,76} + 0,063 \right)$$

Stražnja strana: »ODREĐIVANJE VRIJEDNOSTI C«

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

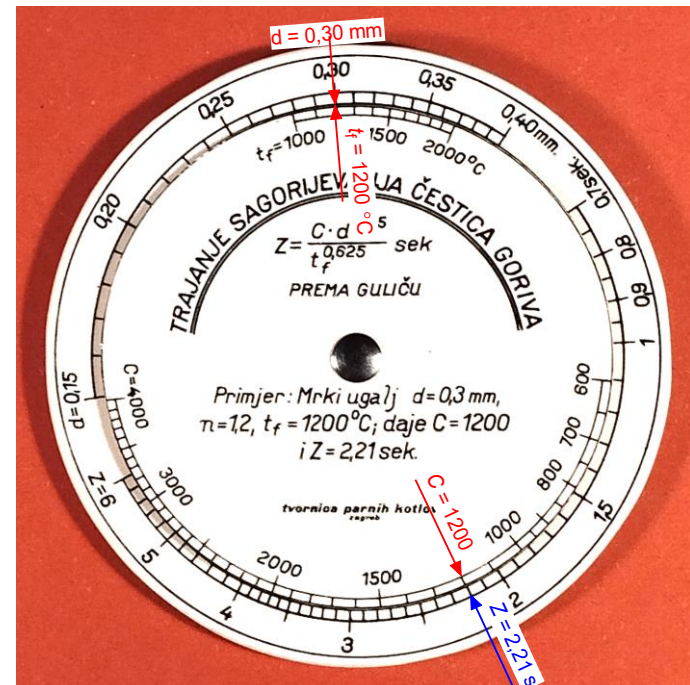
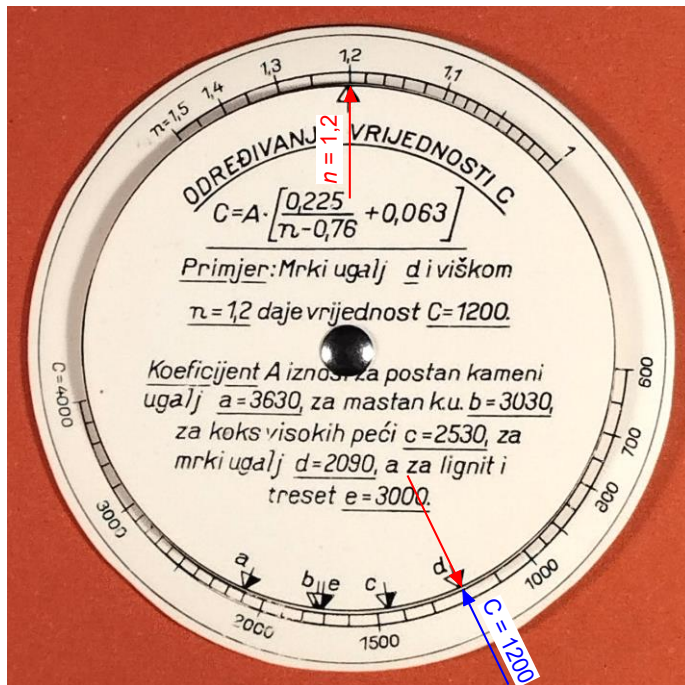
Prednja strana: »TRAJANJE SAGORIJEVANJA ČESTICA GORIVA«

$$Z = \frac{C \cdot d^{1,55}}{t_f^{0,625}} \text{ sekundi}$$

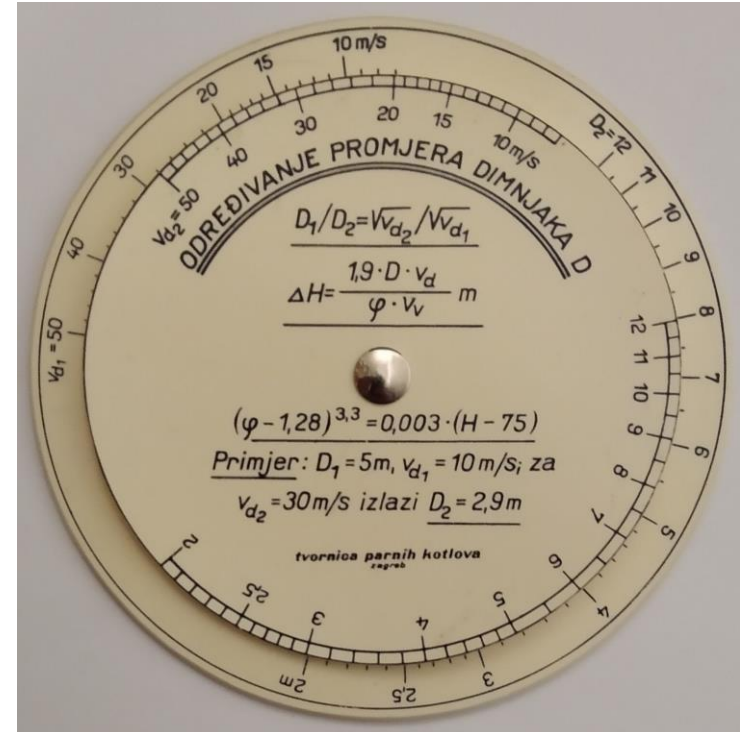
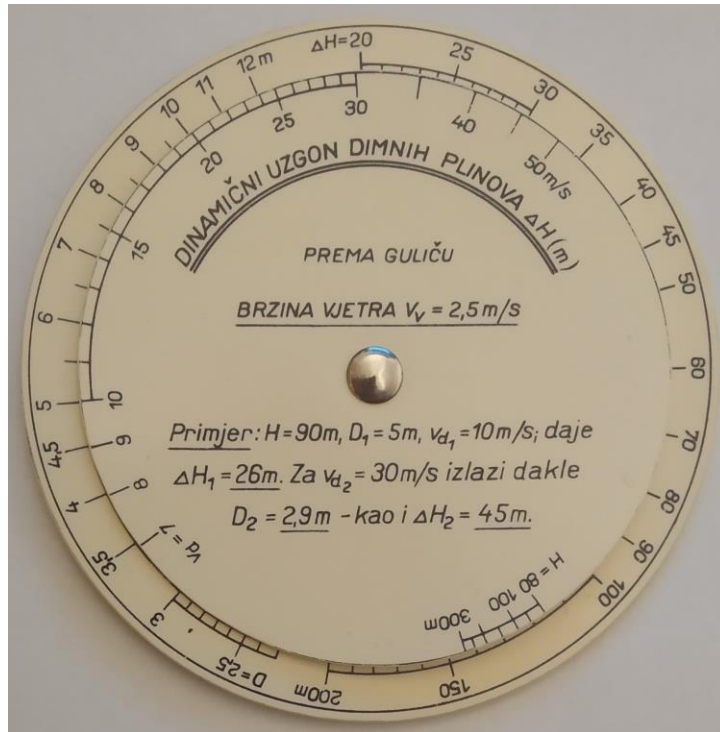
$$\log Z = \log C + 1,55 \cdot \log d - 0,625 \cdot \log t_f$$

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

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



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



Jednadžba kontinuiteta za strujanje nestlačivog fluida kroz okruglu cijev:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{\sqrt{v_{d2}}}{\sqrt{v_{d1}}}$$

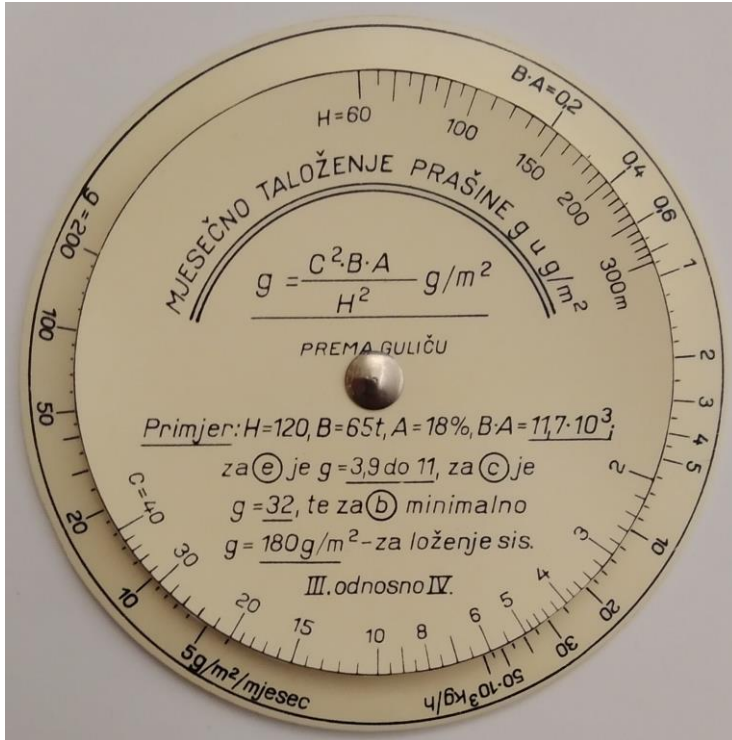
$$\Delta H = \frac{1,9 \cdot D \cdot v_d}{\varphi \cdot v_v} \quad \text{m}$$

$$\Delta H = \frac{1,9 \cdot D \cdot v_d}{\varphi \cdot v_v} \quad \text{m}$$

$$(\varphi - 1,28)^{3,3} = 0,003 \cdot (H - 75)$$



11. MJESEČNO TALOŽENJE PRAŠINE g u g/m² PREMA GULIČU»



Ovo analogno računalo služi za računanje mase mjesečno istaložene prašine iz dimnjaka (u gramima po kvadratnom metru površine tla mjesečno) u okolini dimnjaka.

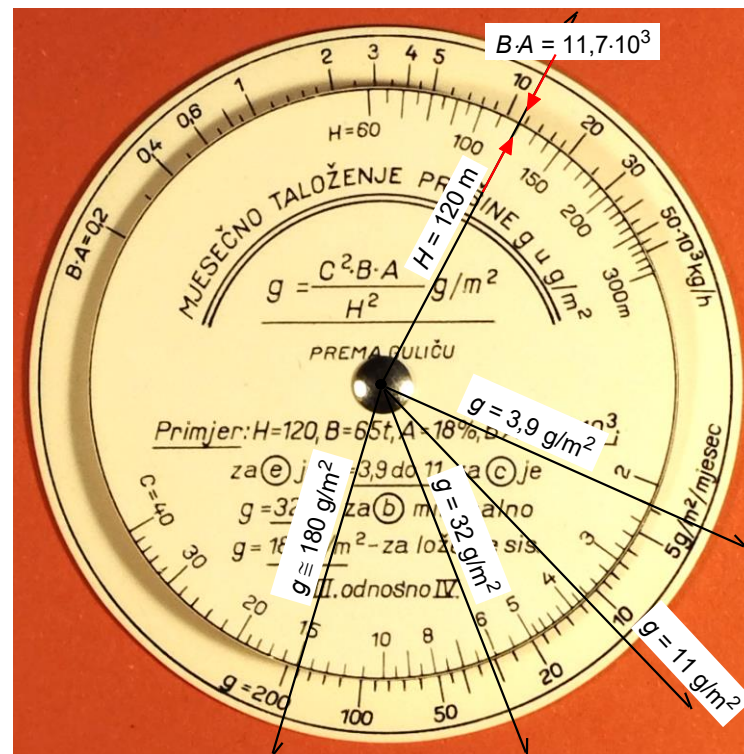
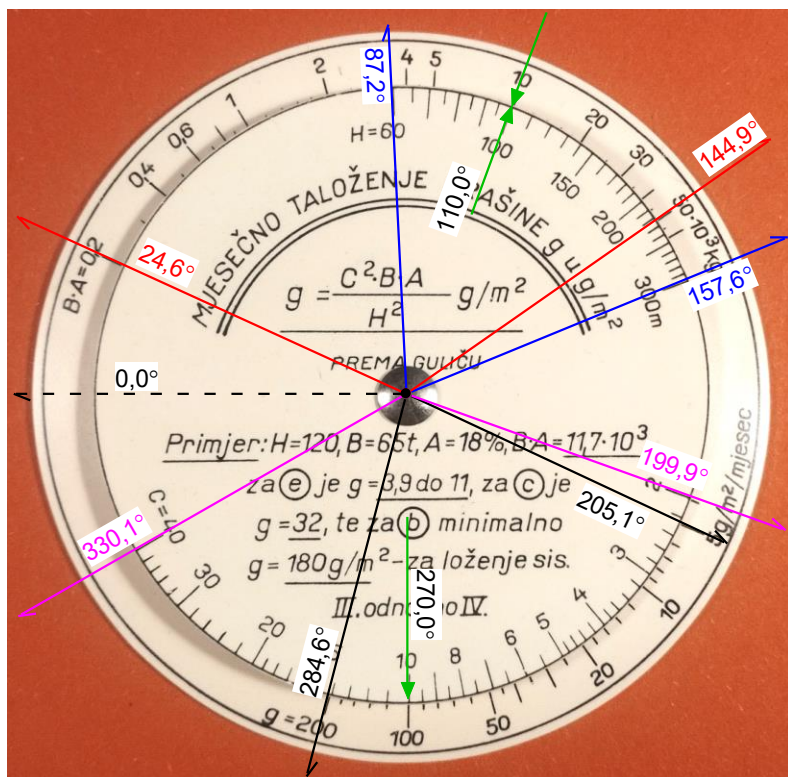
$$g = \frac{C^2 B A}{H^2} \text{ g/m}^2$$

a navedena je u knjizi
»Goriva-izgoretine«, Beograd, 1964.
kao jednađžba 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 brožčani iznos očitava s poledine većeg diska za navedene načine loženja i navedene vrste odvajača prašine.

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



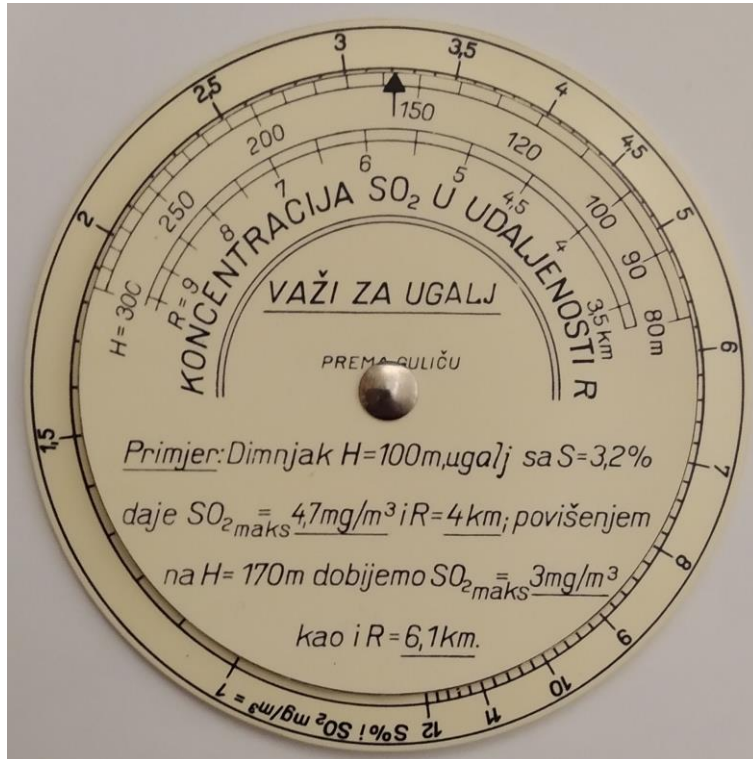
Diskovi i skale poravnati u osnovnom položaju

Zadani su *ulazni podaci*:

$H = 120 \text{ m}$; $B = 65 000 \text{ kg/h}$;

$A = 0,18$; $(B A) = 11,7 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$.

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

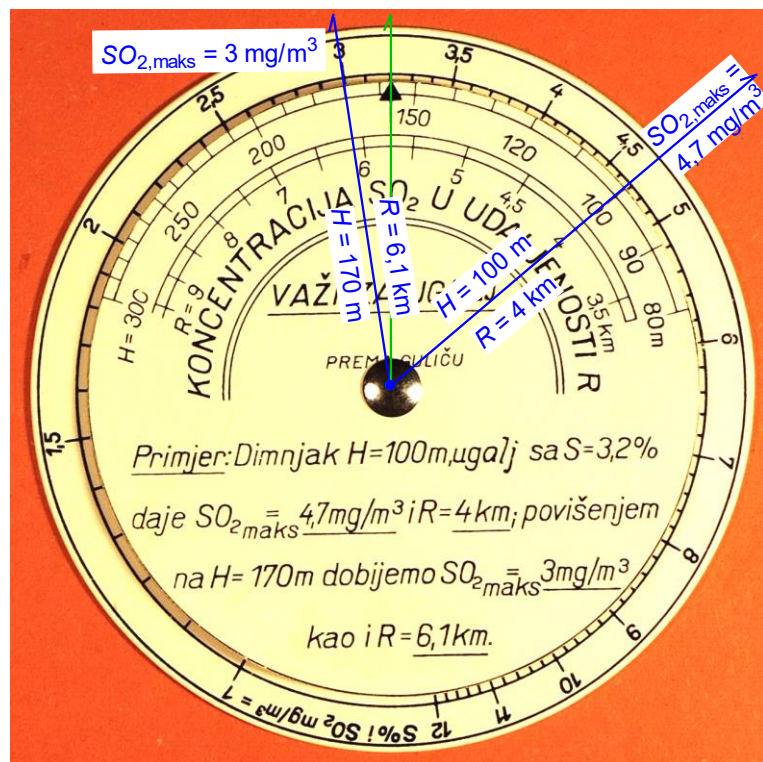


Ovo analogno računalo određuje koncentraciju sumporovog dioksida iz dima na udaljenosti R [km] od dimnjaka i samu udaljenost R u ovisnosti o visini dimnjaka H [m] i o masenom postotku sumpora u gorivu S [%] .

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

Nije ustanovljeno porijeklo ovih jednažbi

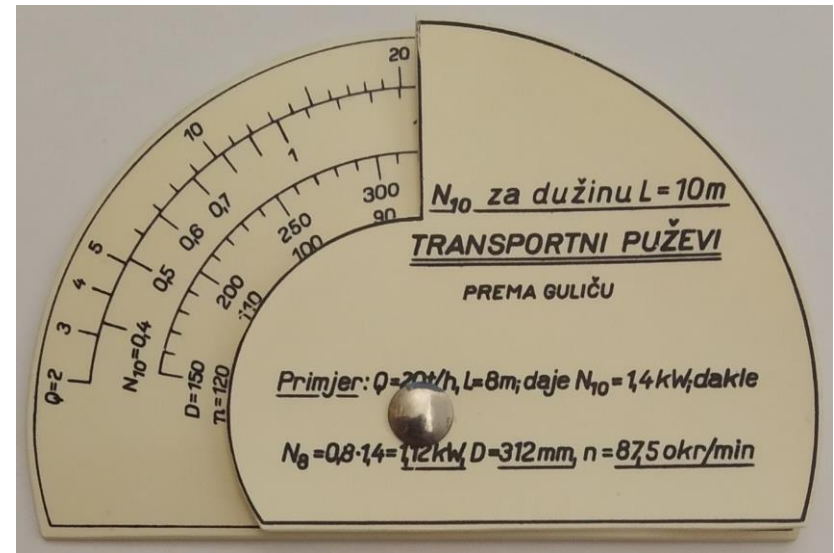
$$(\text{SO}_2)_{\text{maks}} = (\text{SO}_2)_R = \frac{70 \cdot S}{H^{0,84}} \text{ mg/m}^3$$



Navedena su dva primjera računa:

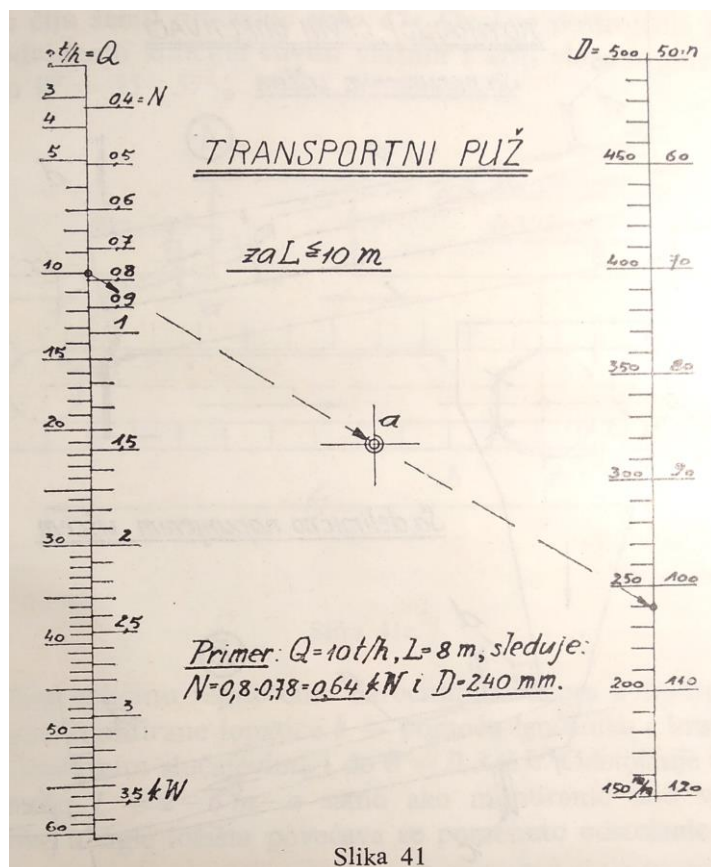
- za visinu dimnjaka $H = 100 \text{ m}$ i ugljen s 3,2 % sumpora očita se udaljenost $R = 4 \text{ km}$ i $(\text{SO}_2)_{\text{max}} = 4,7 \text{ mg/m}^3$;
(kalkulator daje: $R = 3,98 \text{ km}$ i $(\text{SO}_2)_{\text{max}} = 4,68 \text{ mg/m}^3$)
- za povećanu visinu dimnjaka $H = 170 \text{ m}$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

13. »TRANSPORTNI PUŽEVI PREMA GULIČU«



Ovo analogno računalo treba poslužiti za proračun transportnih puževa za ugljen u parnim kotlovima.

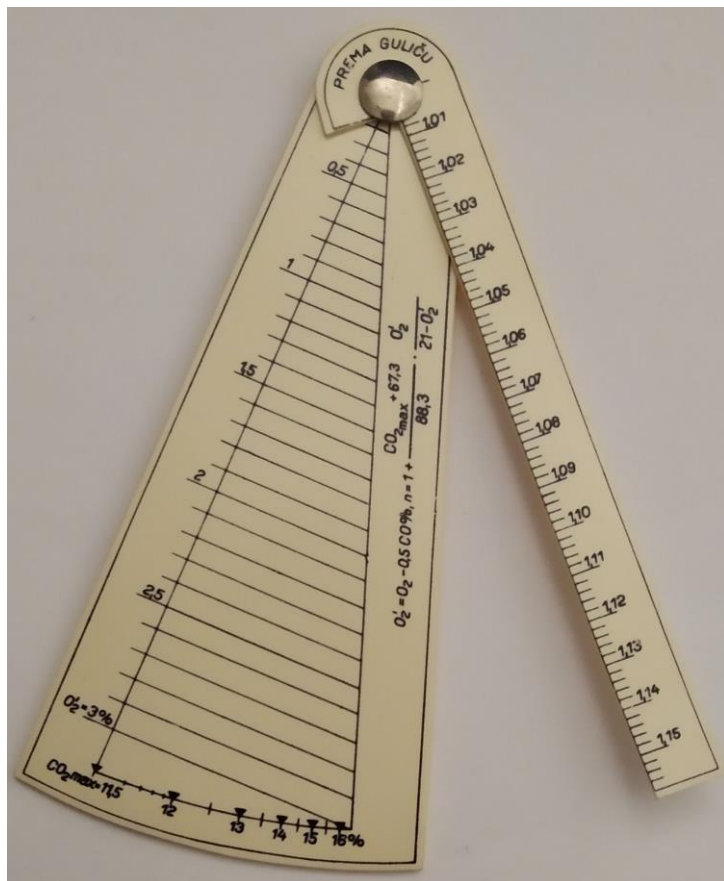
Činjenica da su sve skale na jednom „disku“ znači da su sve veličine međusobno jednoznačno povezane, tj. da se izborom jedne veličine sve ostale odmah određene. Očitanje na kazaljci nije *računanje*, nego samo *očitanje* već ranije izračunatih odnosa.



Slika 41

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.

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



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«, ali na temelju izmjerenih postotaka molnih udjela *kisika* O'_2 i vrijednosti $(CO_2)_{\max}$:

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

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

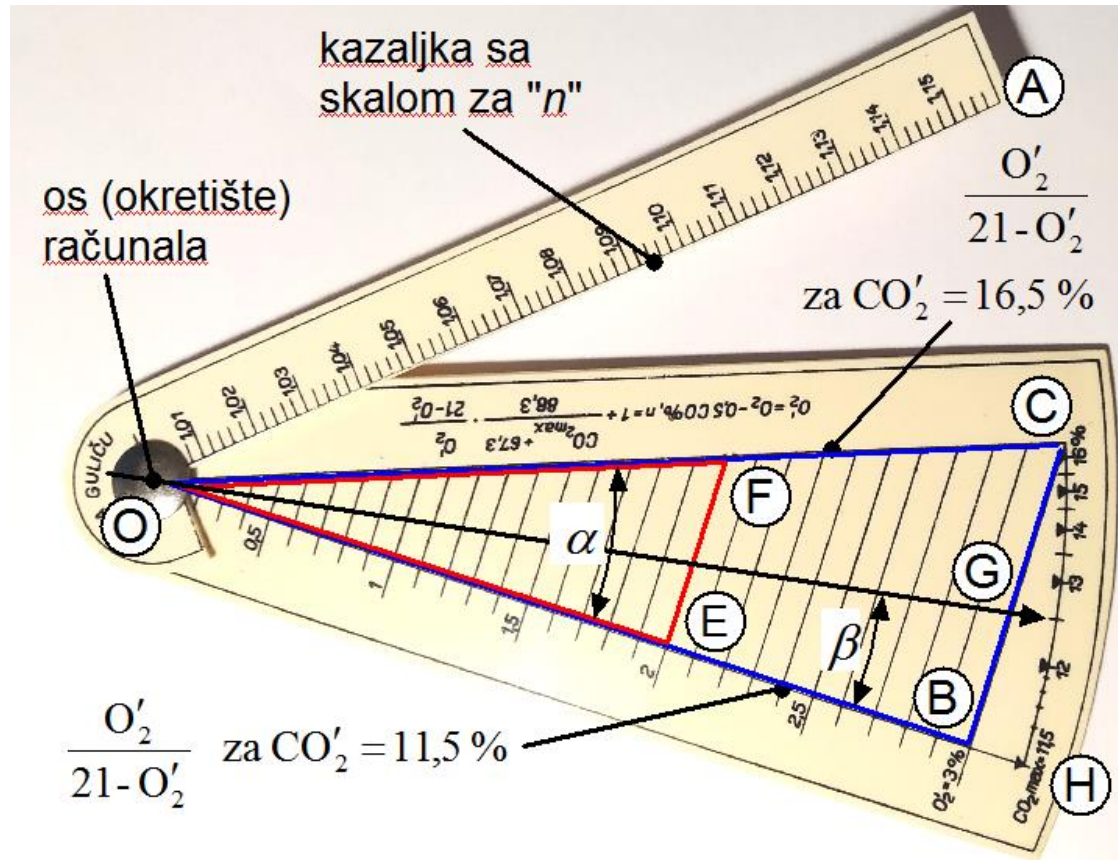
$$n = 1 + \frac{(CO_2)_{\max} + 67,3}{88,3} \left(\frac{(CO_2)_{\max}}{CO'_2} - 1 \right)$$

$$\frac{(CO_2)_{\max}}{CO'_2} = \frac{21}{21 - O'_2}$$

$$O'_2 = O_2 - 0,5 \text{ CO } \%$$

$$n = 1 + \frac{(CO_2)_{\max} + 67,3}{88,3} \frac{O'_2}{21 - O'_2}$$

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



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



Ovo analogno računalo obavlja isti zadatak kao i *računalo* broj 14, ali za drugu vrstu goriva, tj. računa faktor pretička zraka za *kruta (i plinovita) goriva* poznate vrijednosti $(\text{CO}_2)_{\max}$ izračunate iz zadanog sastava goriva, na temelju izmjerenih postotaka molnih udjela *kisika* i vrijednosti $(\text{CO}_2)_{\max}$:

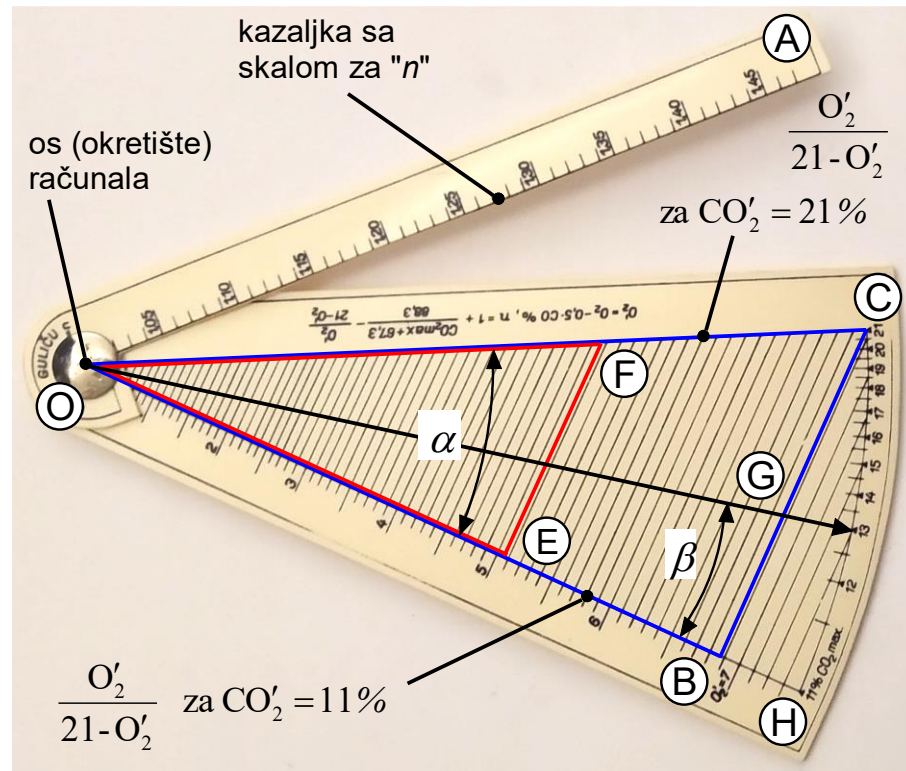
$$n = f[(\text{O}'_2), (\text{CO}_2)_{\max}]$$

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

Uvidom u samo računalo, čini se da je autor odabrao maksimalnu vrijednost za O'_2 pri minimalnih $(\text{CO}_2)_{\max} = 11 \%$:

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

i zato je na kazaljci uzet raspon skale za n od 1 do ~1,4825.



Uporaba računala je jednostavna.

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

Zaključak:

Proračun parnih kotlova iznimno je složen i sastoji se, osim od proračuna „vatrene strane“ (dobave i pripreme goriva, izgaranja i zbrinjavanja produkata izgaranja), još i od proračuna „parne strane“ (termodinamički proračun 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 računski 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.

U trenutku ozbiljne pojave elektroničkih kalkulatora, poglavito s bar malo programiranja, a ubrzo i stolnih kompjutora praktički je prestala potreba za ovakvim računskim pomagalicama.

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.

Hvala na pozornosti!

