

V s e b i n a

Ing. Jakob Soklič

OSNOVE NOMOGRAFIJE (DK 518.3) 1

Inž. Janez Bidovec

**NEKAJ PROBLEMОВ VALJANJA POSEBNIH JEKEL
NA TEŽKI PROGI** (DK 621.771) 28

Inž. Jože Jerala in Jakob Soklič

**IZRAČUN REZKARJEV ZA IZDELAVO ZOBNIKOV
PO DELILNEM POSTOPKU** (DK 621.914) 33

Aleksander Rjazancev

STUDOR V LUČI ANTIČNEGA ŽELEZARSTVA
(DK 669.01) 42

Slavko Tarman

**PROBLEMATIKA VODIKA V VISOKO SILICIRANIH
JEKLIH** (DK 620.19) 54

Martin Pazlar

**OSNOVE RADIOGRAFIJE IN IZDELAVA DIAGRAMA
ZA POGOJE PRESEVANJA** (DK 620.179) 64

Inž. Urban Ciril

**NOVA POTISNA PEČ V VALJARNI DEBELE
PLOČEVINE 2400 ŽELEZARNE JESENICE** (DK 621.783) 71

Inž. Stanko Čop

POJAV LUKNJIČAVOSTI NA BLOKIH (DK 620.191) 77

»ŽELEZAR«

TEHNIČNA PRILOGA

Tehnična priloga Železarja — Glasilo DIT Jesenice — Odgovorni urednik ing. Stanko Čop. Člani uredniškega odbora: ing. Franc Babšek, ing. Marin Gabrovšek, ing. Miloš Gregorčič, Anton Grošelj, ing. Jože Kramar, ing. Pavle Sešek, ing. Slavica Sešek, Bratko Škrlič, Edo Žagar.
Tisk: CP »Gorenjski tisk«, Kranj

LETO VI.

JUNIJ 1964

Št. 1

Ing. Jakob Soklič

DKDK 518.3

Osnove nomografije

1. UVOD

V naravoslovnih vedah in posebno v tehniški praksi dajejo večkrat rezultate določeni odnosi med znanimi in neznanimi količinami. Poraba časa je pri nekaterih enostavnih izračunih minimalna, vendar pa je znatna pri nekaterih kompliciranih odnosih, kot so na primer iracionalni in transcendentni izrazi.

Da bi čimbolj ekonomično izkoristili dragoceni čas, nudi praktična matematika raznovrstne pripomočke od preprostega računalu s kroglicami za učence osnovnih šol do zapletenih elektronskih računskih strojev. Vsi ti pripomočki so lahko digitalni ali analogni. Digitalni računski pripomočki dajejo točne rezultate, dočim so pri analognih računalnikih rezultati le približni. Najbolj enostaven digitalni računalnik je že omenjeno računalu s kroglicami. Princip analogije izkoriščamo pri vsakem merjenju dolžin in drugih fizikalnih količin. Zelo pomembno mesto ima v tehniki analogno-logaritemsko računalu. Brez tega pripomočka si ne moremo zamisliti hitrega reševanja tehniških problemov.

Posebna veja praktične matematike — nomografija je zasnovana na raznih grafičnih načelih. Razumljivo je, da spada zaradi tega nomografija v skupino analognih računskih pripomočkov. Uporaba nomogramov v tehniki se razlikuje od uporabe logaritemskega računalu po tem, da z logaritmičnim računalu lahko računamo posamezne računske operacije v različnih izrazih, dočim nomogram služi za računanje samo enega samega obrazca.

Izdelava nomogramov je večkrat zelo zamudna. Zaradi tega je nomogram rentabilen samo takrat, če velikokrat služi svojemu namenu.

Nomografija pa ima poleg časovnega prihranka še druge prednosti. Grobe napake, ki bi nastale zaradi napačne uporabe računskih operacij, so pri nomogramih izključene. Nomogramov se lahko poslužujejo pri reševanju raznih nalog tudi osebe z nižjo strokovno kvalifikacijo.

Seveda moramo računati, ko govorimo o grafično-analognih metodah, z napakami, ki so posledica netočnosti pri izdelavi nomograma, pri nastavljanju podatkov in pri odčitavanju rezultata. Te napake so normalno tako majhne, da jih v praksi lahko zanemarimo; saj iskani rezultat dopušča navadno odstopanja, ki so največkrat večja od dobljene napake.

Dokaz za to trditev, naj ilustriram s sledečim primerom:

Bakrena žica za električne vode ima porušilno trdnost $\sigma_p = 40 \text{ kp/mm}^2$. Zaradi varnosti računamo z manjšo dovoljeno vrednostjo. Varnostni faktor naj bo v našem slučaju $v = 2,5$. Iz teh dveh podatkov sledi največja dovoljena natezna napetost:

$$\sigma_d = \frac{\sigma_p}{v} = \frac{40}{2,5} = 16 \text{ kp/mm}^2$$

Če znaša računska napaka $\pm 1\%$, se spremeni varnostni faktor za $\pm \frac{1}{100} \cdot v = \pm 0,025$. Vrednost varnostnega faktorja je v mejah $v = 2,5 \pm 0,025$

ali $2,475 < \nu < 2,525$. Računska napaka povzroči torej le spremembo varnostnega faktorja, ki pa je tudi minimalna.

Upoštevati moramo še to, da pri dobro izdelanih nomogramih ne nastopajo napake, ki bi bile večje kakor 1 %.

Še bolj prepričljiv dokaz za uporabnost grafičnih računskih metod v tehniki daje drugi primer.

Pri računanju konzole, obremenjene na upogib, mora znašati odpornostni moment $W_x = 200 \text{ cm}^3$. Izbrani I profil je zaradi standardizacije valjan samo v nekaterih dimenzijah. Standardni dimenziji NP 19 in NP 20 imata $W_x = 196 \text{ cm}^3$ oziroma $W_x = 214 \text{ cm}^3$. Če bi izbrali NP 19, bi bila konstrukcija šibkejša, s profilom NP 20 pa močnejša. Pri izbiri večjega profila je nosilnost za $\frac{214 - 200}{200} \cdot 100 = 7\%$ večja.

Odstopanje je od izračunane vrednosti zaradi standardizacije navadno precej večje, kot pa znaša največja napaka, dobljena pri računanju z grafičnimi metodami.

C°	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
F°	-4	14	32	50	68	86	104	122	140	158	176	194	212	230

Točnost nomogramov je lahko v istem področju, kakor je točnost logaritemskega računalca. Z njim lahko dobimo rezultate z natančnostjo treh zaporednih števil.

S pravilno obliko nomograma in s skrbno izdelanimi elementi ter z uporabo na pravem mestu postane nomogram lahko zelo dragocen in koristen računski pripomoček.

Najbolj pogosti odnosi, ki nastopajo v problemih vsakdanje prakse, so relacije med dvema spremenljivkama oblik $F(xy) = 0$ ali $y = f(x)$.

Oglejmo si drugo obliko, ki pravi, da je spremenljivka »y« funkcija spremenljivke »x«. Spremenljivka »x« se imenuje neodvisna spremenljivka ali argument, spremenljivka »y« pa odvisna spremenljivka ali funkcija.

Medsebojna odvisnost $y = f(x)$ je lahko prikazana v obliki obrazca. Primer naj bo obrazec za preračunavanje Celzijeve temperature v Fahrenheitovo:

$$F^\circ = 1,8^\circ C + 32^\circ$$

Iz tega sledi, da je $F^\circ = f(C^\circ)$, kjer so identične vrednosti $F^\circ = y$ in $C^\circ = x$. Navedena odvisnost je lahko prikazana tabelarično.

V diagramu prikazana odvisnost daje grafično rešitev (slika 1.1). Na abscisi je Celzijeva temperaturna lestvica (argument), na ordinati pa Fahrenheitova temperaturna lestvica (funkcija). Diagram ima obliko ravne črte, kar je značilno za linearno odvisnost. V diagram je vnesen primer:

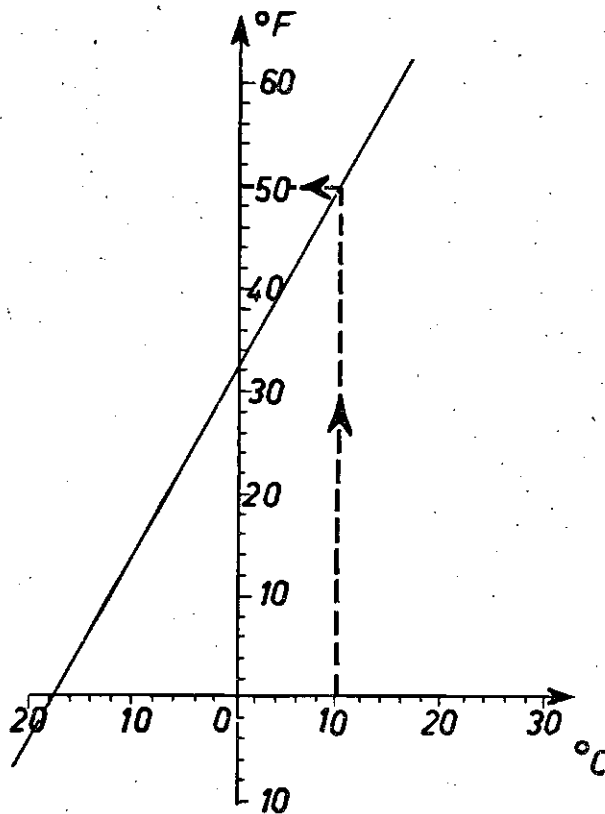
$$C^\circ = 10^\circ \\ F^\circ = 1,8 C^\circ + 32^\circ = 1,8 \cdot 10^\circ + 32 = 50^\circ$$

Za preračunavanje dveh spremenljivk služijo grafikoni — diagrami. Če so v izrazu tri spremenljivke, ali pa če jih je še več, dobimo grafični pripomoček nomogram. Nomogram ponazarja neko formulo ali obrazec (nomos = obrazec, grafikon = pisati).

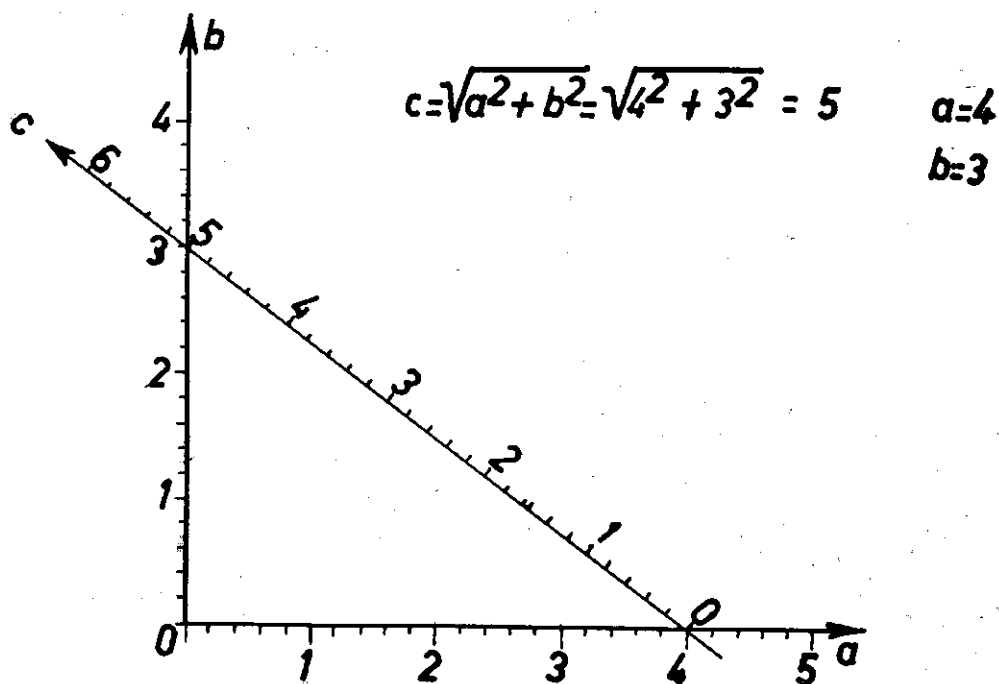
Enostaven nomogram za Pitagorov izrek prikazuje slika 1.2. Skala »c« je narisana na prozornem papirju in je premična.

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad a = 4, b = 3 \\ c = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5$$

Če želimo spoznati zgradbo zahtevnejših nomogramov, si moramo najprvo ogledati izdelavo raznih funkcijskih skal, ki so sestavni elementi nomogramov.



Slika 1.1



Slika 1.2

2. FUNKCIJSKE SKALE

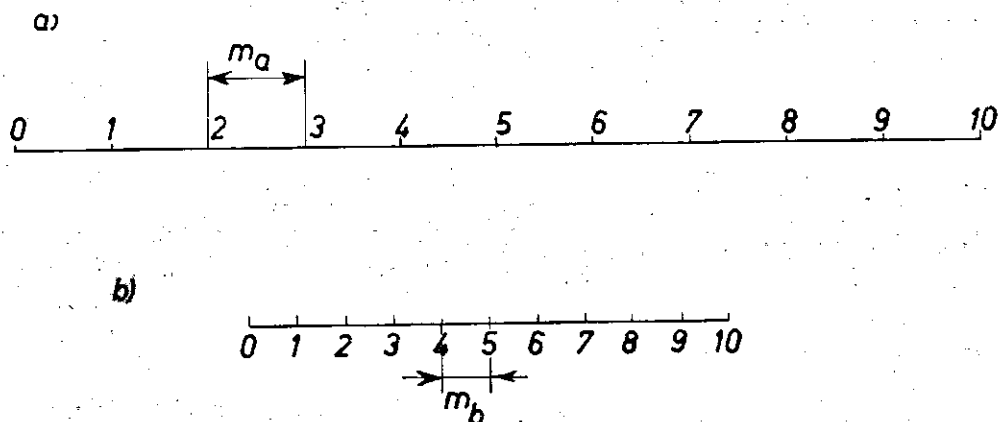
2.1 Skala je premica, na kateri je nanizano zaporedje točk, ki so označene z realnimi števili. Premica se imenuje nosilec skale.

Najbolj enostavna je linearna skala. Na sliki 2.11 sta narisani dve linearni skali s področjema

$x = 0 \div 10$. Področje skale je interval med najmanjšo in največjo vrednostjo.

$$J = x_{\max} - x_{\min}$$

Čeprav imata skali »a« in »b« isti področji, ni sta zaradi različnih dolžin enaki. Pri prvi skali je na dolžini $l = 100$ mm nanizan interval desetih enot.



Slika 2.11

V drugem primeru je isto število enot ali isto področje nanizano na dolžini $l = 50$ mm. Dolžina ene enote ali modul skale je pri skali »a« večja, kakor pri skali »b«. V prvem primeru znaša

$$m_a = \frac{l_a}{J} = \frac{1}{x_{\max} - x_{\min}} = \frac{100}{10 - 0} = 10 \text{ mm};$$

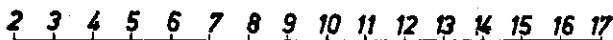
v drugem pa:

$$m_b = \frac{l_b}{J} = \frac{50}{10 - 0} = 5 \text{ mm}.$$

Seveda vrednosti »x« lahko izstopajo na skali v področjih, katerih meje so poljubne in tudi nobena nima vrednosti 0. Modul skale je zopet dolžina skale, deljena z intervalom. Narisati moramo skalo z intervalom: $2 < x < 17$. Dolžina skale naj bo $l = 75$ mm.

$$m = \frac{l}{x_{\max} - x_{\min}} = \frac{75}{17 - 2} = 5 \text{ mm (slika 2.12)}$$

Poizkusimo na dolžini $l = 100$ mm napraviti linearno skalo z intervalom: $4 < x < 10$.



Slika 2.12

$$m = \frac{l}{x_{\max} - x_{\min}} = \frac{100}{10 - 4} = 16,66 \text{ mm}$$



Slika 2.13

Priporočljivo je, da ima dolžina modula okroglo vrednost. Zato zaokrožimo modul na vrednost $m = 15$ mm. Ker je modul spremenjen, se spremeni tudi dolžina skale, ki znaša: (slika 2.13)

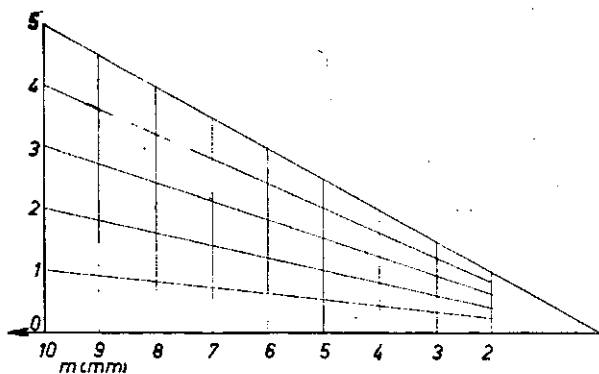
$$l = m(x_{\max} - x_{\min}) = 15(10 - 4) = 90 \text{ mm}$$

Modul moramo torej najprej določiti približno z ozirom na velikost papirja. Potem izračunano vrednost zaokrožimo na manjšo okroglo vrednost!

Za izdelavo linearnih — metričnih skal lahko napravimo enostaven pripomoček (slika 2.14):

Vertikalne črte nosijo skale z moduli od $m = 2$ mm do $m = 10$ mm. Skale so risane z intervali

$0 < x < 5$. Pripomoček lahko razširimo vertikalno in horizontalno. Potem je uporaben za večje intervale in za večje module.



Slika 2.14

Ker je človeško oko precej netočno, moramo dovoliti pri odčitavanju napako $\pm 0,1$ mm. Na sliki 2.15 je narisana del skale, ki ima modul $m = 10$ mm. V slučaju »a« znaša odčitana vrednost $x = 1,45$, v slučaju »b« pa $x = 7,56$. Absolutna vrednost napake v obeh primerih je: $\Delta l = \pm 0,1$ mm

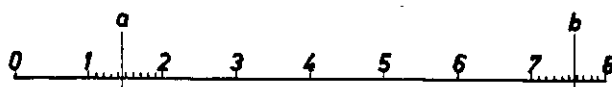
$$\text{ali } \Delta x = \frac{\Delta l}{m} = \frac{\pm 0,1}{10} = \pm 0,01.$$

Pravi vrednosti rezultatov sta $x_a = 1,45 \pm 0,01$ in $x_b = 7,56 \pm 0,01$.

Slika postane bolj nazorna, če izračunamo relativne napake obeh vrednosti:

$$a) \dots \Delta x_r = \frac{\Delta x}{x_a} = \frac{0,01}{1,45} = 0,0069 \approx 0,7 \%$$

$$b) \dots \Delta x_r = \frac{\Delta x}{x_b} = \frac{0,01}{7,56} = 0,00132 \approx 0,13 \%$$



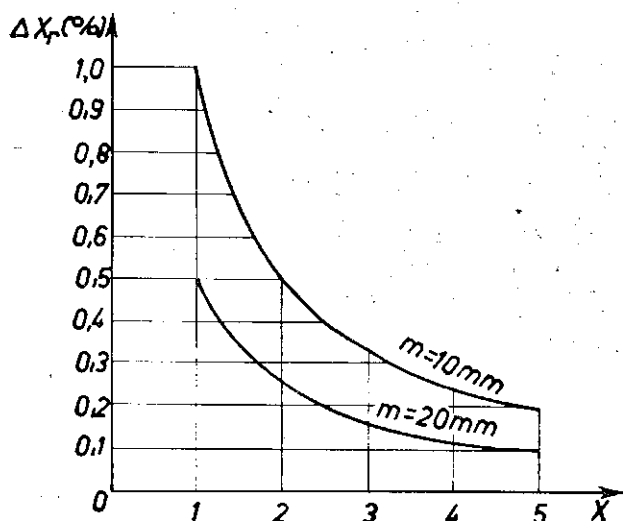
Slika 2.15

Linearna skala je torej v področjih večjih vrednosti »x« bolj točna, kakor pa v področjih z manjšimi vrednostmi. Če vrednosti relativnih napak vnesemo v diagram, dobimo krivuljo, ki ima obliko hiperbole.

Velikost relativne napake pa ni odvisna samo od odčitane vrednosti, ampak tudi od velikosti modula.

$$\Delta x = \frac{\Delta l}{m} \rightarrow \Delta x_r = \frac{\Delta x}{x} = \frac{m}{x} = \frac{\Delta l}{m \cdot x} = 0,1$$

Čim večji je modul, tem manjša je relativna napaka. Zato so skale z velikimi moduli točnejše, kakor skale z manjšimi moduli. Na sliki 2.16 je prikazana v diagramu vrednost relativne napake za različne velikosti »x«. Diagram ima dve krivulji. Zgornja z večjimi vrednostmi velja za manjši modul ($m = 10 \text{ mm}$); spodnja z manjšimi vrednostmi pa za večji modul ($m = 20 \text{ mm}$).

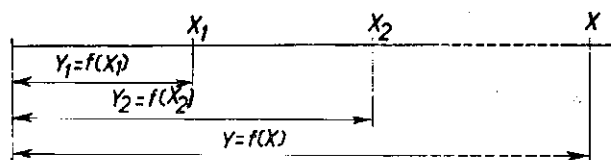


Slika 2.16

2.2 Funkcijska skala predstavlja funkcijo $y = f(x)$. Zaporodje števil na skali so razne vrednosti argumenta »x«, dolžine skale pa so funkcije teh argumentov (slika 2.21)

Modul skale je: $m = \frac{1}{y_{\max} - y_{\min}}$ ali

$$m = \frac{1}{f(x)_{\max} - f(x)_{\min}}$$



Slika 2.21

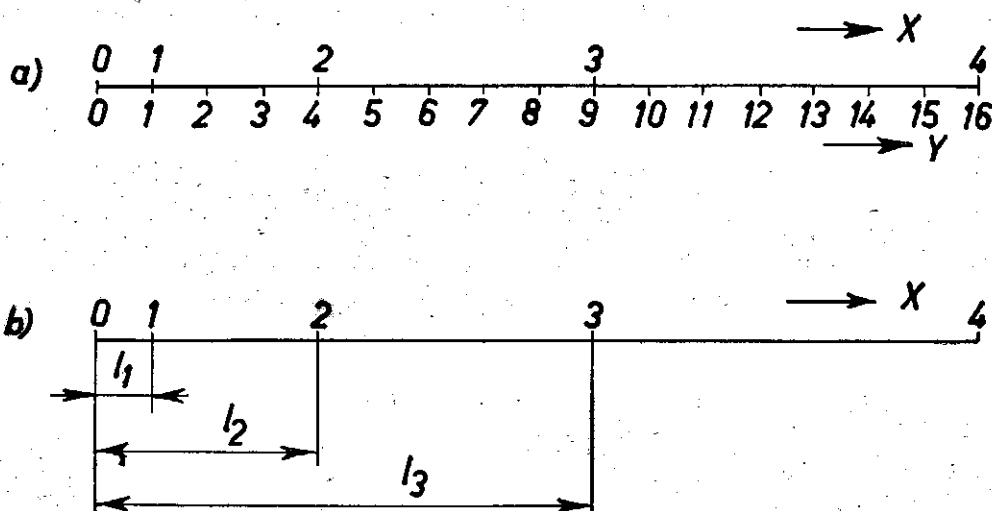
Izdelavo funkcijske skale bo najbolje objasn timer.

Na skali, dolgi $l = 80 \text{ mm}$, naj bo prikazana kvadratna funkcija $y = x^2$. Vrednosti »x« so v intervalu $0 < x < 4$.

$$m = \frac{1}{f(x)_{\max} - f(x)_{\min}} = \frac{1}{x_{\max}^2 - x_{\min}^2}$$

$$m = \frac{80}{4^2 - 0^2} = 5 \text{ mm}$$

Posamezne dolžine znašajo: $l_1 = mf(x_1)$, $l_2 = mf(x_2) \dots l_x = mf(x)$. Na sliki 2.22 je na skali »a« poleg argumenta »x« tudi funkcija »y«. Skala »b« ima samo kote »x«.



Slika 2.22

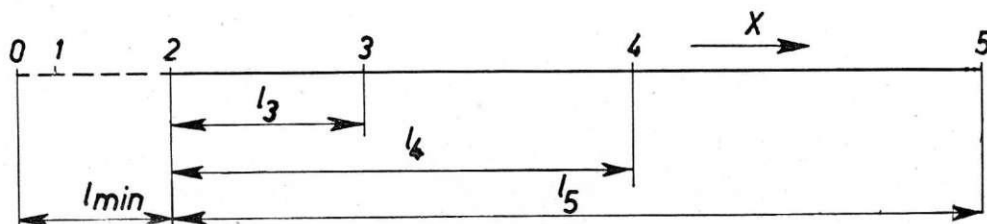
Kvadratna skala s področjem $2 < x < 5$ je samo del kvadratne skale funkcije $y = x^2$. Vse dolžine so pri tej skali zmanjšane za $l_{\min} = m f(x)_{\min}$. Dolžina skale naj bo $l = 100$ mm.

$$m = \frac{l}{y_{\max} - y_{\min}} = \frac{100}{5^2 - 2^2} = \frac{100}{25 - 4} = 4,76 \text{ mm}$$

Velikost modula izberemo $m = 4$ mm, kar povzroči krajšo skalo:

$l = m(y_{\max} - y_{\min}) = 4(25 - 4) = 84$ mm
Vse vrednosti l_x so za $l_{\min} = m y_{\min} = 4 \cdot 4 = 16$ mm krajše (slika 2.23)

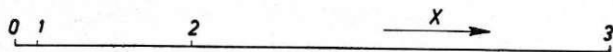
$$\begin{aligned} l_2 &= m \cdot y_2 - l_{\min} = 4 \cdot 4 - 16 = 0 \\ l_3 &= m \cdot y_3 - l_{\min} = 4 \cdot 9 - 16 = 20 \text{ mm} \\ l_4 &= m \cdot y_4 - l_{\min} = 4 \cdot 16 - 16 = 48 \text{ mm} \\ l_5 &= m \cdot y_5 - l_{\min} = 4 \cdot 25 - 16 = 84 \text{ mm} \end{aligned}$$



Slika 2.23

Kvadratni skali je podobna kubična funkcijska skala $y = x^3$. Na sliki 2.24 je narisana kubična skala z modulom $m = 4$ mm in intervalom $0 < x < 3$.

$$\begin{aligned} l_0 &= m \cdot y_0 = 4 \cdot 0^3 = 0 \\ l_1 &= m \cdot y_1 = 4 \cdot 1^3 = 4 \text{ mm} \\ l_2 &= m \cdot y_2 = 4 \cdot 2^3 = 32 \text{ mm} \\ l_3 &= m \cdot y_3 = 4 \cdot 3^3 = 108 \text{ mm} \end{aligned}$$



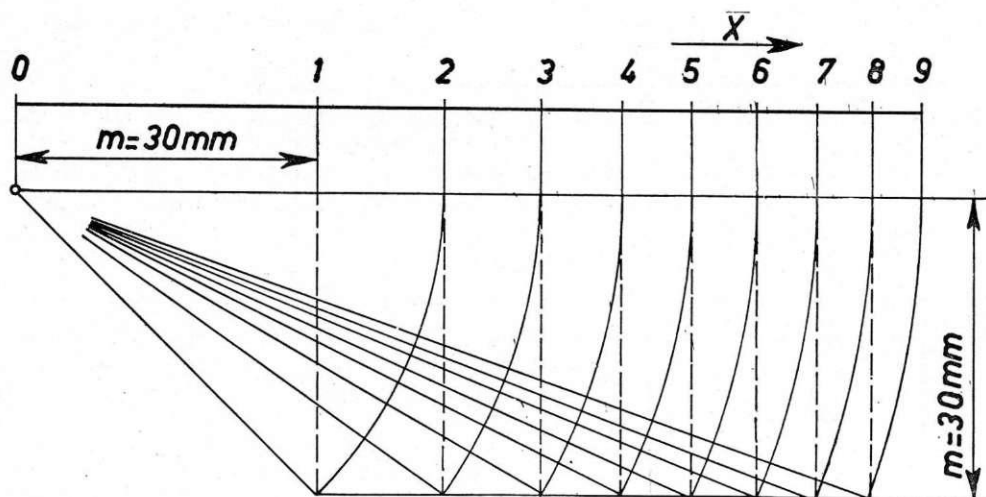
Slika 2.24

Tudi skalo oblike $y = \sqrt{x}$ lahko napravimo na že znan način. Primer na sliki 2.25 ima na dolžini $l = 100$ mm interval $0 < x < 9$.

$$m = \frac{l}{y_{\max} - y_{\min}} = \frac{100}{\sqrt{9} - \sqrt{0}} = \frac{100}{3} = 33,33 \text{ mm}$$

Izberemo $m = 30$ mm

Prava dolžina skale je: $l = m(y_{\max} - y_{\min}) = 30(\sqrt{9} - \sqrt{0}) = 90$ mm. Pod sliko je narisano postopek za konstruiranje korenske skale.



Slika 2.25

2.3 Najbolj pogosta skala v nomografiji je logaritemska skala funkcije $y = \log x$. Na sliki 2.31 je narisana logaritemska skala z intervalom $1 < x < 10$. Če je dolžina skale $l = 100$ mm, znaša modul:

$$m = \frac{1}{y_{\max} - y_{\min}} = \frac{100}{\log 10 - \log 1} = \frac{100}{1 - 0} = 100 \text{ mm}$$

Posamezne dolžine so:

$$\begin{aligned} l_1 &= m \cdot y_1 = m \cdot \log 1 = 100 \cdot 0 = 0 \\ l_2 &= m \cdot y_2 = m \cdot \log 2 = 100 \cdot 0,30103 = 30,103 \text{ mm} \\ l_3 &= m \cdot y_3 = m \cdot \log 3 = 100 \cdot 0,47712 = 47,712 \text{ mm} \\ l_4 &= m \cdot y_4 = m \cdot \log 4 = 100 \cdot 0,60206 = 60,206 \text{ mm} \\ l_5 &= m \cdot y_5 = m \cdot \log 5 = 100 \cdot 0,69897 = 69,897 \text{ mm} \\ l_6 &= m \cdot y_6 = m \cdot \log 6 = 100 \cdot 0,77815 = 77,815 \text{ mm} \\ l_7 &= m \cdot y_7 = m \cdot \log 7 = 100 \cdot 0,84510 = 84,510 \text{ mm} \\ l_8 &= m \cdot y_8 = m \cdot \log 8 = 100 \cdot 0,90309 = 90,309 \text{ mm} \\ l_9 &= m \cdot y_9 = m \cdot \log 9 = 100 \cdot 0,95425 = 95,425 \text{ mm} \\ l_{10} &= m \cdot y_{10} = m \cdot \log 10 = 100 \cdot 1 = 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

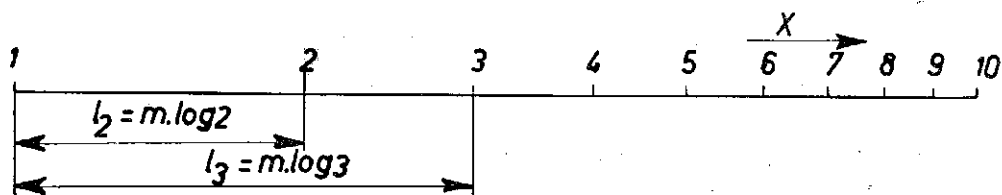
$$\begin{aligned} \text{Ker je } \log a \cdot b &= \log a + \log b \text{ in } \log \frac{a}{b} = \\ &= \log a - \log b \end{aligned}$$

lahko služi logaritemska skala množenju in deljenju. S prenašanjem dolžin sta napravljena oba primera na sliki 2.32, ki predstavljata množenje in deljenje ($2 \cdot 3 = 6$ in $8 : 4 = 2$).

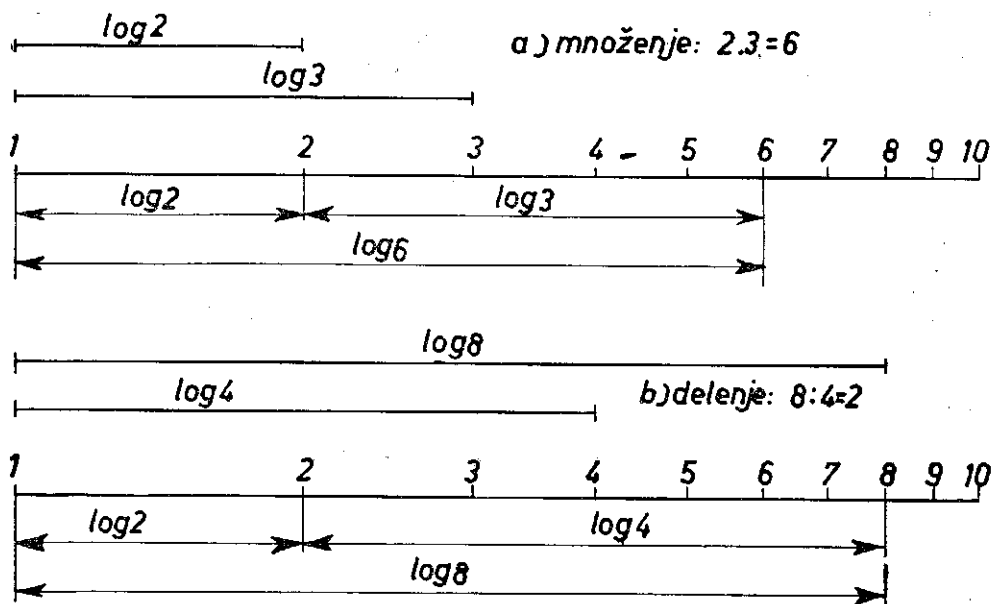
Tudi logaritemsko računalno je opremljeno z logaritemskimi skalami. Deluje tako, da pri množenju sešteva dolžine skal, pri deljenju pa jih odšteva!

Če logaritemsko skalo razširimo v desno za m , potem so vse vrednosti argumentov desetkrat večje: $1 = m \cdot \log 10 x = m(\log 10 + \log x) = m(1 + \log x) = m + m \log x$. Podobno je pri razširitvi skale v levo. V tem slučaju so vse vrednosti argumentov desetkrat manjše (sl. 2.33): $1 = m \log \frac{x}{10} =$

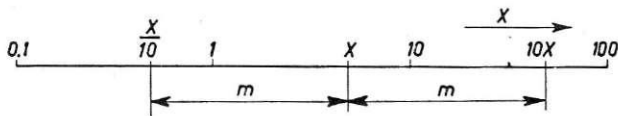
$$\begin{aligned} &= m(\log x - \log 10) = m(\log x - 1) = \\ &= m \cdot \log x - m \end{aligned}$$



Slika 2.31



Slika 2.32

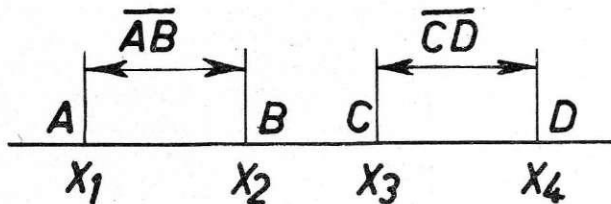


Slika 2.33

Če vzamemo na logaritemski skali enaka odseka $\overline{AB}$ in $\overline{CD}$ z oznakami x_1, x_2 in x_3, x_4 , ti odseki v resnici predstavljajo razlike logaritmov (slika 2.34).

$$AB = \overline{CD} \text{ ali } \log x_2 - \log x_1 = \log x_4 - \log x_3, \text{ iz česar sledi: } \log \frac{x_2}{x_1} = \log \frac{x_4}{x_3} \text{ in: } \frac{x_2}{x_1} = \frac{x_4}{x_3} = q$$

Enaki odseki na logaritemski skali predstavljajo enake kvociente argumentov.



Slika 2.34

Tudi pri odčitavanju rezultatov na logaritemski skali nastane lahko napaka $\Delta l = 0,1 \text{ mm}$. Ta napaka je po celi dolžini skale enaka in zaradi tega je tudi kvocient med odčitano in pravo vrednostjo konstanten.

$$\frac{\text{Odčitana vrednost}}{\text{Prava vrednost}} = \frac{x + \Delta x}{x} = q = \text{konst}$$

$$\text{ali dalje: } \frac{x + \Delta x}{x} = 1 + \frac{\Delta x}{x} = 1 + \Delta x_r = \text{konst}$$

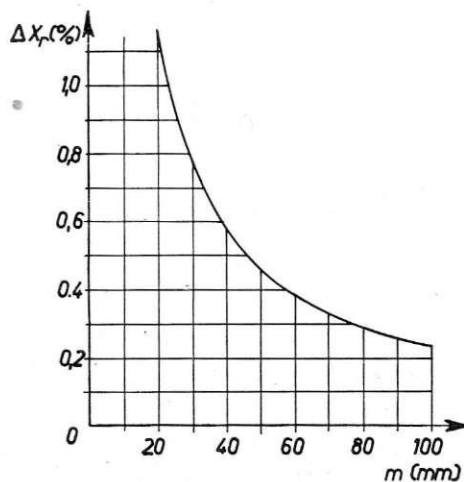
Razumljivo je, da je tudi relativna napaka po vsej skali konstantna.

$$\Delta x_r = \text{konst}$$

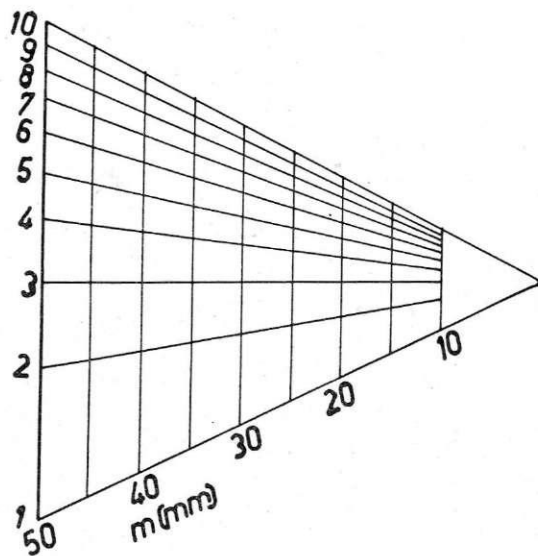
Velikost relativne napake na logaritemski skali je odvisna samo od velikosti modula. Skale z večjim modulom imajo manjšo relativno napako in narobe.

$$\Delta l = m \cdot \log(\Delta x_r + 1) \rightarrow \log(\Delta x_r + 1) = \frac{\Delta l}{m} = \frac{0,1}{m}$$

Odvisnost relativne napake od velikosti modula prikazuje diagram 2.35.



Slika 2.35



Slika 2.36

Za konstruiranje logaritemskih skal različnih modulov služi mreža na sliki 2.36. Podobe mreže lahko napravimo za različne vrste funkcijskih skal (kvadratne, kubične, korenske itd.).

Na logaritmičnih računalih so funkcijske skale

$$\text{z moduli: } 250, \frac{250}{2} \text{ in } \frac{250}{3} \text{ ter } 125, \frac{125}{2}, \frac{125}{3} \text{ mm.}$$

2.4 Homografska ali projektivna skala

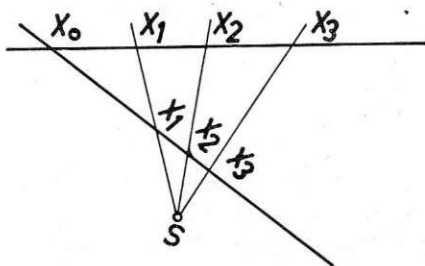
Projektivna skala nastane tako, da iz neke skupne točke projiciramo točke linearne ali funkcijske skale na drugo premico. Znana funk-

cijska skala in projektivna skala se sekata pod nekim kotom (slika 2.41). Točka, iz katere projeciramo funkcijsko skalo, se imenuje pol »S«.

Če je skala x linearna in če izberemo kot med skalama $\alpha = 90^\circ$, dobimo pravokotni koordinatni sistem (slika 2.42).

Pol projektivne skale je določen s koordinatama $S(v, -w)$. Za začetek skale y ni rečeno, da je ravno v presečišču skal x in $y = f(x)$, ampak neke višje ali nižje. Premik je odvisen od vrednosti funkcije $y = f(x_0)$, to je od začetne vrednosti »x«.

Ker imamo podani dve točki in sicer pol projektivne skale $S(v, -w)$ ter presečišče premice z absciso, lahko določimo enačbo premice:



Slika 2.41

Ker nas zanima segment na y osi, smo vstavili $X = 0$. Če upoštevamo še različne module m_x in m_y ter kot $\alpha \neq 0$, predstavlja homografska skala splošno funkcijo: $y = \frac{ax + b}{cx + d}$

Skala »x« je lahko opremljena z neko funkcijsko skalo tako, da nudi celo vrsto variant.

$$y = \frac{af(x) + b}{cf(x) + d}$$

Primer: Na dolžini $l = 60$ mm se nahaja funkcijska skala $y = \frac{3x + 1}{x - 4}$. Argument »x« nastopa v intervalu $5 < x < 14$. Če vstavimo mejne vrednosti argumenta »x«, dobimo interval funkcije »y«.

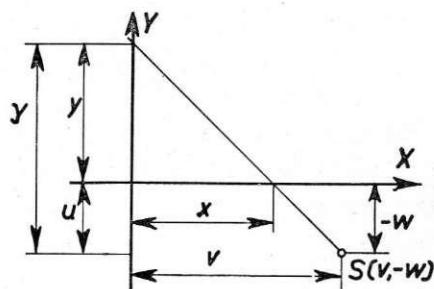
$$y = \frac{3 \cdot 5 + 1}{5 - 4} = 16$$

$$y = \frac{3 \cdot 14 + 1}{14 - 4} = 4,3$$

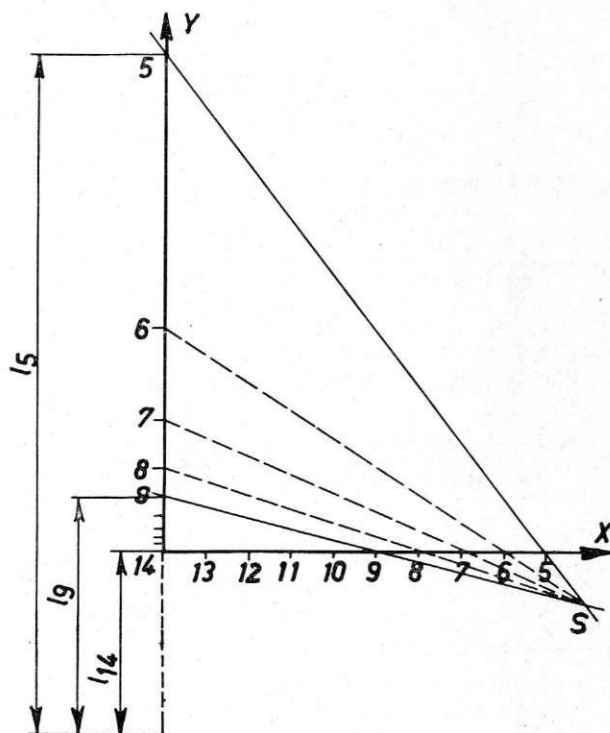
$$Y - o = \frac{o + w}{x - v} (X - x) \rightarrow$$

$$Y - u - o = \frac{x - v}{o + w} (X - x)$$

$$y = \frac{-w \cdot x}{x - v} + u \rightarrow y = \frac{-wx + ux - u \cdot v}{x - v} = \frac{x(u - w) - u \cdot v}{x - v}$$



Slika 2.42



Slika 2.43

$$m_y = \frac{1}{y_{\max} - y_{\min}} = \frac{60}{16 - 4,3} = 5,1 \text{ mm} \rightarrow m_y = 5 \text{ mm}$$

Znana skala »x« ima poljuben modul. Na homografski skali določimo položaj treh točk. Položaj začetne točke je znan. To je točka $x = 14$ in $y = 4,3$, ki je v presečišču obeh skal. To je obenem tudi začetek obeh skal.

Vstavimo še dve točki $x = 5$ in $x = 9$, da dobimo $y_5 = 16$ in $y_9 = 5,6$.

Dolžine posameznih funkcij so:

$$l_5 = m_y \cdot y_5 = 5 \cdot 16 = 80 \text{ mm}$$

$$l_9 = m_y \cdot y_9 = 5 \cdot 5,6 = 28 \text{ mm}$$

$$l_{14} = m_y \cdot y_{14} = 5 \cdot 4,3 = 21,5 \text{ mm}$$

Točka $x = 14$ je za obe skali skupna. Točki $x = 5$ in $x = 9$ zvežemo in dobimo presečišče »s«. Iz tega presečišča dobimo še vse ostale položaje kot na projektivni skali (slika 2.43).

Podoben je tudi drugi primer: $y = \frac{4x^2 - 10}{x^2 + 5}$, le da je skala »x« funkcijska (kvadratna). Če je interval argumenta $0 < x < 10$ in dolžina skale »x« $l_x = 100 \text{ mm}$, potem je modul:

$$m_x = \frac{l_x}{x_{\max}^2 - x_{\min}^2} = \frac{100}{10^2 - 0^2} = 1 \text{ mm}$$

Mejni vrednosti funkcije y sta:

$$y = \frac{4 \cdot 0^2 - 10}{0^2 + 5} = -2 \text{ in } y = \frac{4 \cdot 10^2 - 10}{10^2 + 5} = 3,72$$

Pri dolžini $l_y = 60 \text{ mm}$ znaša modul m_y :

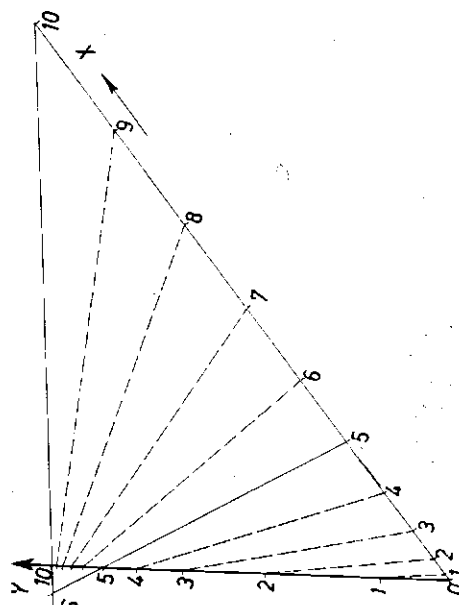
$$m_y = \frac{l_y}{y_{\max} - y_{\min}} = \frac{60}{3,72 + 2} = 10,5 \text{ mm} \rightarrow m_y = 10$$

Pomožni točki sta $x = 5$ in $x = 10$ z $y_5 = 3$ in $y_{10} = 3,72$

$$l_5 = y_5 \cdot m_y = 3 \cdot 10 = 30 \text{ mm}$$

$$l_{10} = y_{10} \cdot m_y = 3,72 \cdot 10 = 37,2 \text{ mm}$$

Funkcijsko skalo prikazuje slika 2.44.



Slika 2.44

2.5 TRIGONOMETRIJSKE SKALE

Trigonometrijska skala funkcije $y = \sin x$ nastane tako, da projiciramo na ordinato polmer trigonometričnega kroga v različnih položajih. Modul skale je določen s polmerom kroga: $m = r$ (slika 2.51).

Na sliki je prikazana trigonometrična skala $y = \sin x$ s polmerom $r = m = 25 \text{ mm}$.

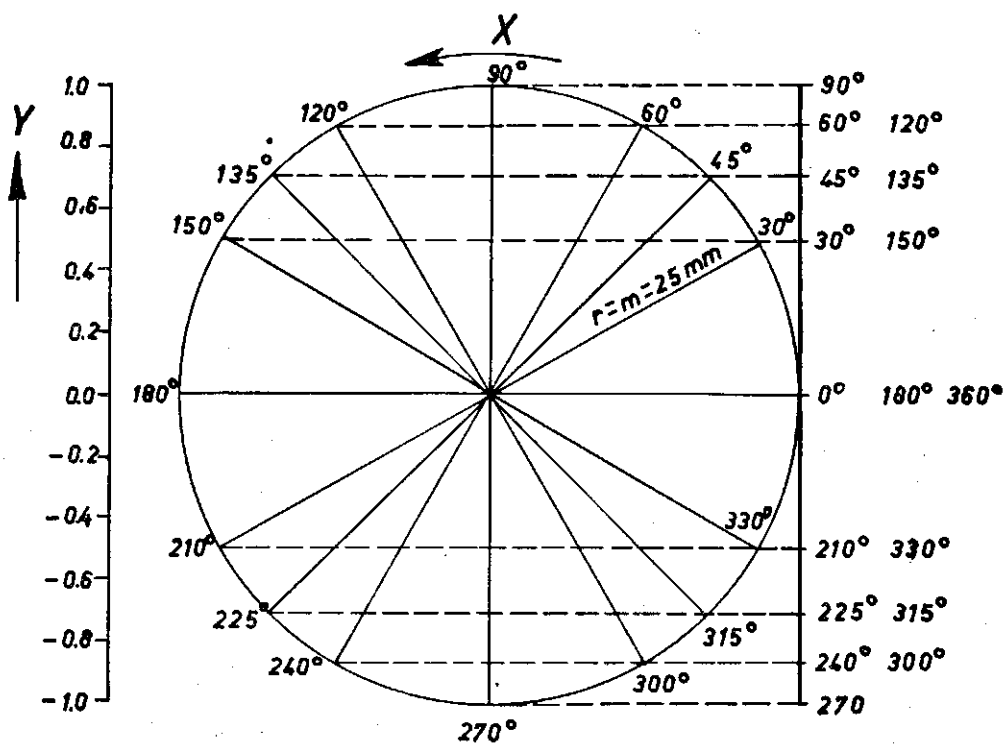
Na isti način je napravljena trigonometrijska skala funkcije $y = \cos x$, le da je polmer projiciran na absciso (slika 2.52).

Sliki 2.53 in 2.54 prikazujeta nastanek trigonometrijskih skal $y = \tan x$ oziroma $y = \cot x$. Modula teh dveh skal sta enaka in ravnotako znašata $m = 25 \text{ mm}$, kakor v prejšnjih dveh primerih.

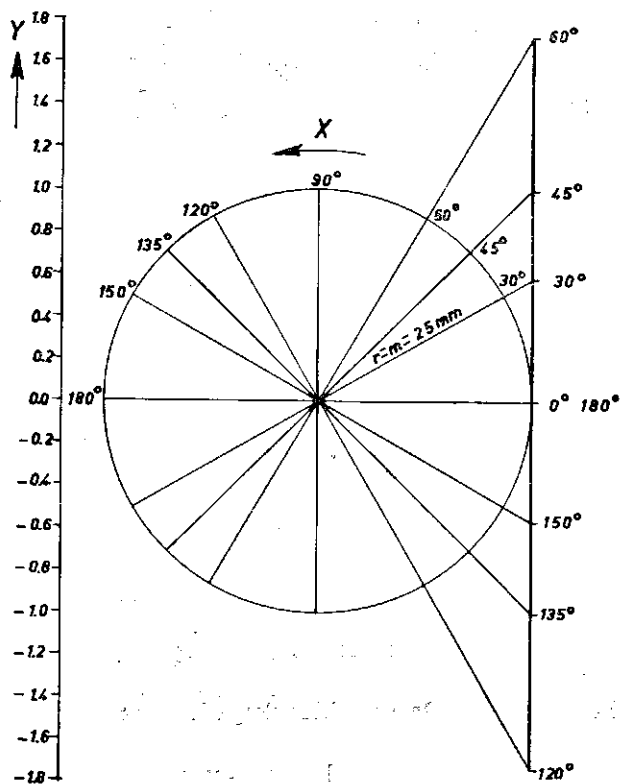
Ker imata funkciji $y = \tan x$ in $y = \cot x$ periodo $P = 180^\circ (\pi)$, sta označeni skali samo v področju $0^\circ < x < 180^\circ$. Poleg funkcijskih skal, so narisane v vseh štirih slučajih še linearne skale »y«.

3. DIAGRAMI

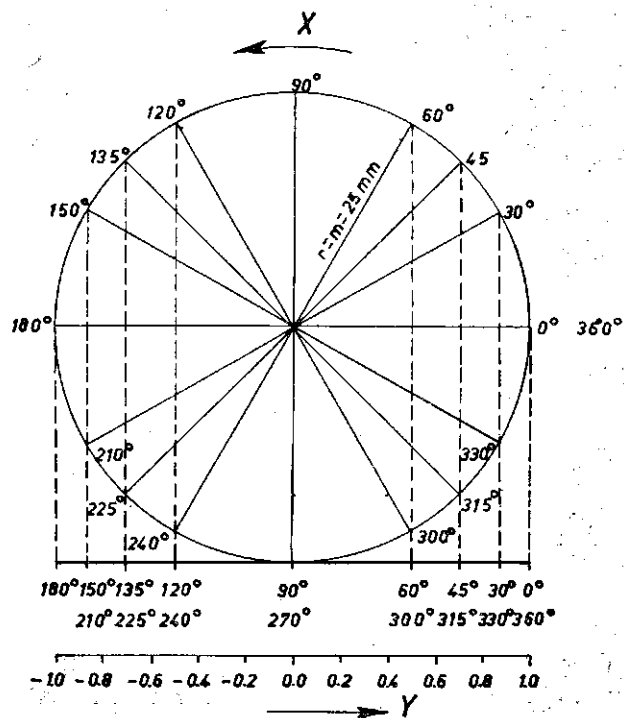
Zaradi nazornosti je potrebno včasih prikazati funkcijo $y = f(x)$ grafično v diagramu. Diagramsko prikazovanje linearnih funkcij v koordinatnem Kartezijevem sistemu prikazuje slika 3.1. Začetka skal »x« in »y« sta v središču koordinatnega sistema. Iz diagrama je razvidno, da je tangens kota, ki ga oklepata abscisa (os »x«) in premica:



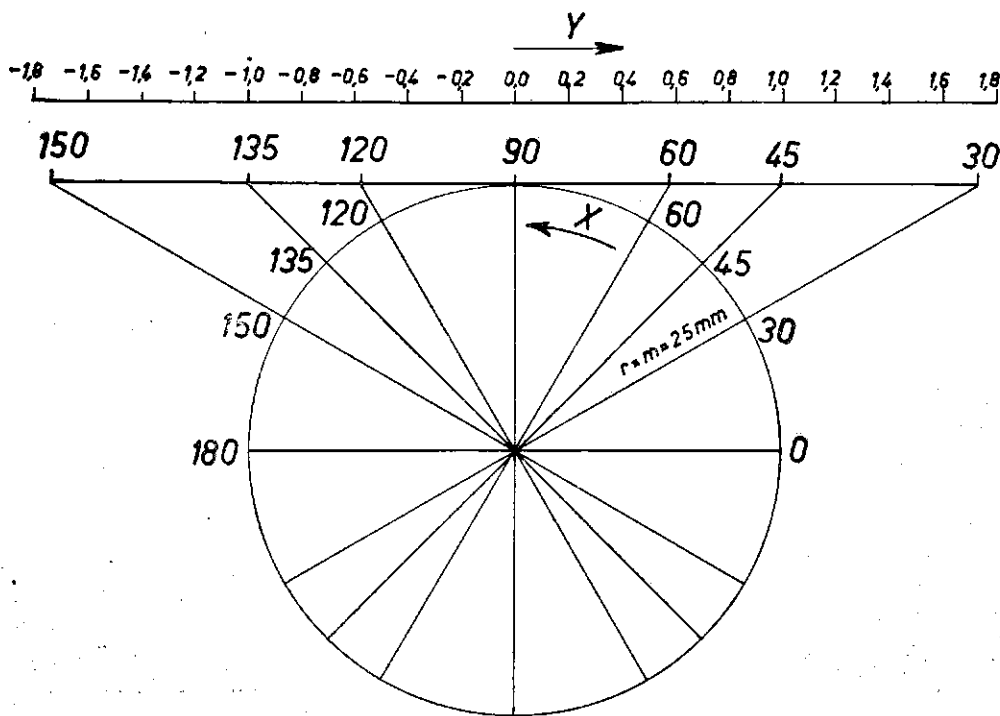
Slika 2.51



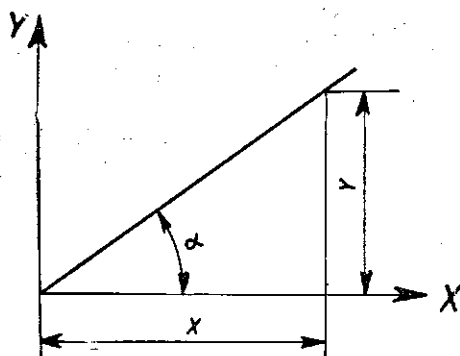
Slika 2.52



Slika 2.53



Slika 2.54



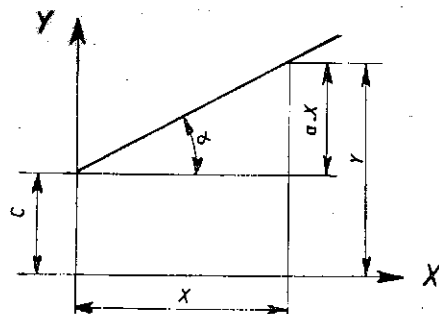
Slika 3.1

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{x}$$

Zato predstavlja diagram funkcijo: $y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha$. Če pišemo namesto tangensa naklonskega kota $\operatorname{tg} \alpha = a$, predstavlja premica v diagramu funkcijo:

$$y = ax$$

Podobno funkcijo dobimo, če ima pri $x = 0$ funkcija že neko vrednost $y_0 = c$. V tem slučaju so vse vrednosti funkcije povečane za vrednost konstante »c«.



Slika 3.2

$$y = ax + c \quad (\text{slika 3.2})$$

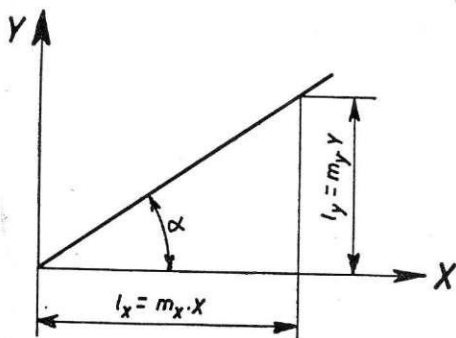
Če imata osi koordinatnega sistema različna modula ($m_x \neq m_y$), potem se $\operatorname{tg} \alpha$ in multiplikatívna konstanta »a« razlikujeta ($\operatorname{tg} \alpha \neq a$).

Dolžini » l_x « in » l_y « na abscisi in na ordinati znašata:

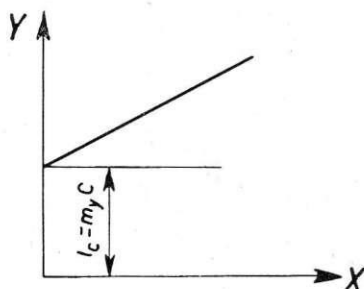
$$l_x = m_x \cdot x \text{ in } l_y = m_y \cdot y$$

Po sliki 3.3 znaša tg naklonskega kota α :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l_y}{l_x} = \frac{m_y \cdot y}{m_x \cdot x}$$



Slika 3.3

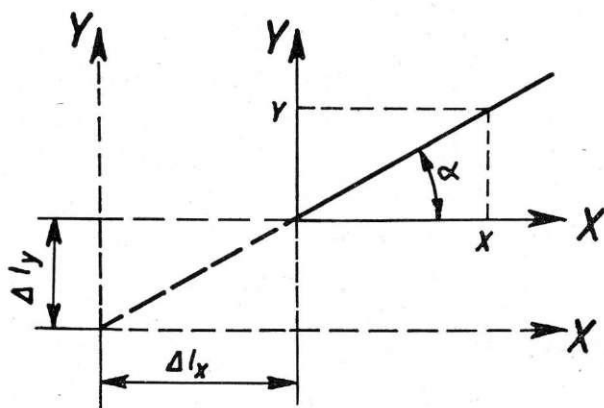


Slika 3.4

Ker tudi ta diagram ponazarja funkcijo: $y = ax$; dobimo, če vnesemo $\frac{y}{x} = a$:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m_y}{m_x} a \text{ ali } k = \frac{m_y}{m_x} a \quad (\text{če je } k = \operatorname{tg} \alpha)$$

Kadar je $x = 0$ znaša pri funkciji $y = ax + c$ vrednost $y_0 = c$ ali $l_c = l_y = m_y \cdot c$ (slika 3.4). Nekateri diagrami so narisani v določenih področjih. Zaradi tega začetek skal ni v izhodišču koordinatnega sistema (slika 3.5). Premaknjen je za $l_{x_{\min}}$ v levo in za $l_{y_{\min}}$ navzdol.



Slika 3.5

$$\Delta l_x = -m_x \cdot x_{\min}$$

$$\Delta l_y = -m_y \cdot y_{\min}$$

Razumljivo je, da je premik Δl_x lahko tudi pozitiven ($x_{\min} < 0$). Isti slučaj je tudi, če je $y_{\min} < 0$. Podobno imata tudi »c« in l_c lahko negativne vrednosti.

Za zgled si oglejmo diagram, ki predstavlja odvisnost temperature po Fahrenheitovi lestvici in temperature po Celziji lestvici.

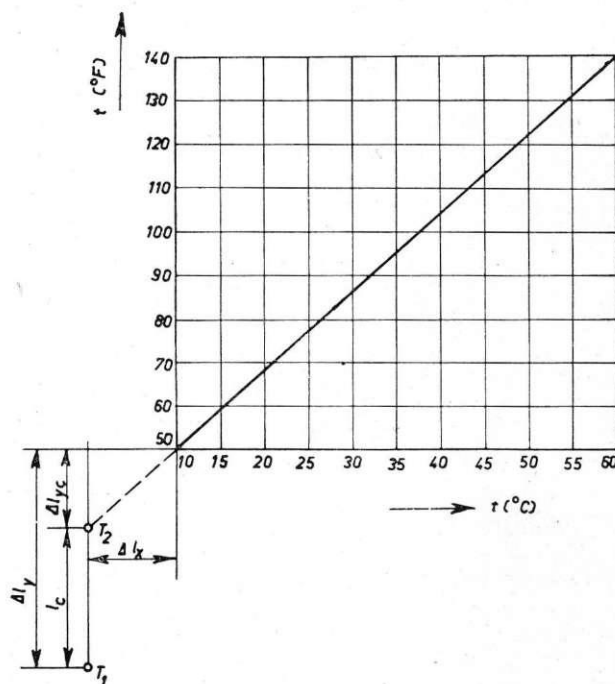
$$^{\circ}\text{F} = 1,8^{\circ}\text{C} + 32$$

Dolžini skal naj znašata: $l_x = 50 \text{ mm}$ in $l_y = 50 \text{ mm}$.

Če je $^{\circ}\text{F} \equiv y$ in $^{\circ}\text{C} \equiv x$, potem je: $t (^{\circ}\text{F})$

$$y = 1,8x + 32$$

Za območje $10^{\circ} < x < 60^{\circ}$ velja območje $50^{\circ} < y < 140^{\circ}$ in modula skal znašata:



Slika 3.6

$$m_x = \frac{l_x}{x_{\max} - x_{\min}} = \frac{50}{60 - 10} = 1 \text{ mm}$$

$$m_y = \frac{l_y}{y_{\max} - y_{\min}} = \frac{50}{140 - 50} = 0,555 \text{ mm}$$

Zaradi zaokrožitve modula »y« na vrednost $m_y = 0,5 \text{ mm}$ znaša prava dolžina skale »y«:

$$l_y = m_y (y_{\max} - y_{\min}) = 0,5 (140 - 50) = 45 \text{ mm}.$$

Skali imata začetek v točki T_1 , ki je premaknjena za:

$$\Delta l_x = -m_x \cdot x_{\min} = -1 \cdot 10 = -10 \text{ mm (v levo)}$$

in za

$$\Delta l_y = -m_y \cdot y_{\min} = -0,5 \cdot 50 = -25 \text{ mm (navzdol)}$$

Premica s smernim koeficientom

$$k = \frac{m_y}{m_x} a = \frac{0,5}{1} \cdot 1,8 = 0,9 \text{ teži v točki } T_2, \text{ ki se}$$

nahaja za $l_c = m_y \cdot c = 0,5 \cdot 32 = 16 \text{ mm}$ nad točko T_1 (slika 3.6).

Diagrami imajo lahko tudi funkcijske skale. V takem primeru predstavljajo odvisnost:

$$F(y) = af(x) + c$$

Diagram za izračun ploščine kroga $p = \frac{\pi d^2}{4}$

ima na primer na abscisi kvadratno skalo, na ordinati pa linearno (slika 3.7). Področje, v katerem nastopa premer, je $0 < d < 6 \text{ cm}$. Tomu področju odgovarja področje ploščine $0 < p < 28,26 \text{ cm}^2$. Če je diagram narisani tako, da so njegove dolžine: $l_x = 75 \text{ mm}$ in $l_y = 60 \text{ mm}$, znašata modula na abscisi in na ordinati:

$$d = x \text{ m.} = \frac{l_x}{f(x)_{\max} - f(x)_{\min}} = \frac{75}{6^2 - 0^2} = 2,08 \text{ mm}$$

$$p = y \text{ m.} = \frac{l_y}{y_{\max} - y_{\min}} = \frac{60}{28,26 - 0} = 2,12 \text{ mm}$$

Zaradi zaokrožitve obeh modulov na vrednosti: $m_x = 2 \text{ mm}$ in $m_y = 2 \text{ mm}$ je nova dolžina skale »x«. $l_x = m_x (x^2_{\max} - x^2_{\min}) = 2(6^2 - 0^2) = 72 \text{ mm}$

Skala »y« ima dolžino nespremenjeno. Zato pa je novo področje večje $y_{\max} - y_{\min} = \frac{l_y}{m_y} = \frac{60}{2} = 30$

$$y_{\max} = 30 \text{ ali } p_{\max} = 30 \text{ cm}^2$$

Izhodišče koordinatnega sistema zaradi začetnih vrednosti $f(x)_{\min} = 0$ in $y_{\min} = 0$ ni premaknjeno.

Smerni koeficient premice je:

$$a = \frac{\pi}{4} \quad k = a \frac{m_y}{m_x} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{2}{2} = 0,785$$

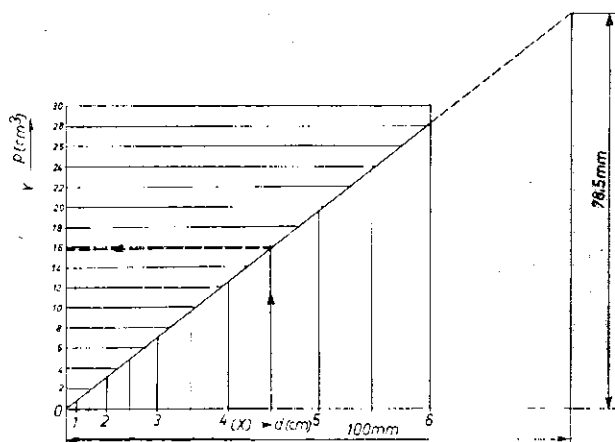
Na diagramu je prikazana tudi konstrukcija kota s smernim koeficientom $k = 0,785$. To je pravokotni trikotnik s priležno kateto, dolgo 100 mm in nasproti ležečo kateto, dolgo 78,5 mm. Zato znaša »k«:

$$k = \frac{78,5}{100} = 0,785$$

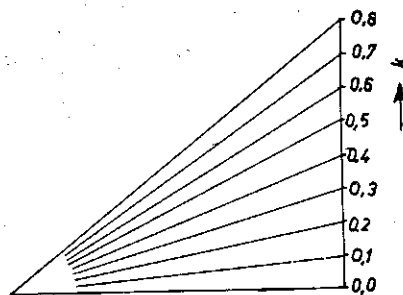
Za risanje premic z različnimi koeficienti »k« je primerna mreža na sliki 3.7 a

V digramu je vrisan primer: $d = 4,5 \text{ cm}$ in

$$p = \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{4,5^2 \pi}{4} = 15,8 \text{ cm}^2$$



Slika 3.7



Slika 3.7a

Naslednji primer je diagram za izračunavanje vrednosti enega dinarja, ki se obrestuje letno po 4 %.

$$v = 1 \left(1 + \frac{4}{100} \right)^n \rightarrow v = 1,04^n \text{ ali } v = q^n$$

Če logaritmiramo enačbo, dobimo:

$$\log v = n \log q \text{ ali če je } v = y \text{ in } n = x \text{ ter } \log q = a \text{ } \log y = a \cdot x.$$

Skala »y« je logaritmčna in skala »x« linearna. Vzemimo $m_x = 1 \text{ mm}$ in $m_y = 100 \text{ mm}$ (slika 3.8). Smerni koeficient je:

$$k = a \frac{m_y}{m_x} = \log 1,04 \cdot \frac{100}{1} = 0,017033 \cdot \frac{100}{1} = 1,7033$$

Ker je $x_{\min} = 0$ in $F(v)_{\min} = \log 1 = 0$, izhodišče diagrama ni premaknjeno. V diagramu je vrisan primer: $n = 30$ let in $v = 1,04^{30} = 3,24$

Podoben je diagram za izračunavanje kubičnega korena:

$$y = \sqrt[3]{x} \rightarrow y = x^{\frac{1}{3}}$$

V tem primeru sta lahko dve možnosti in sicer, da je na abscisi korenska skala, na ordinati pa linearna ali pa da logaritmiramo enačbo, pa dobimo obe skali logaritmski.

$$\log y = \frac{1}{3} \log x$$

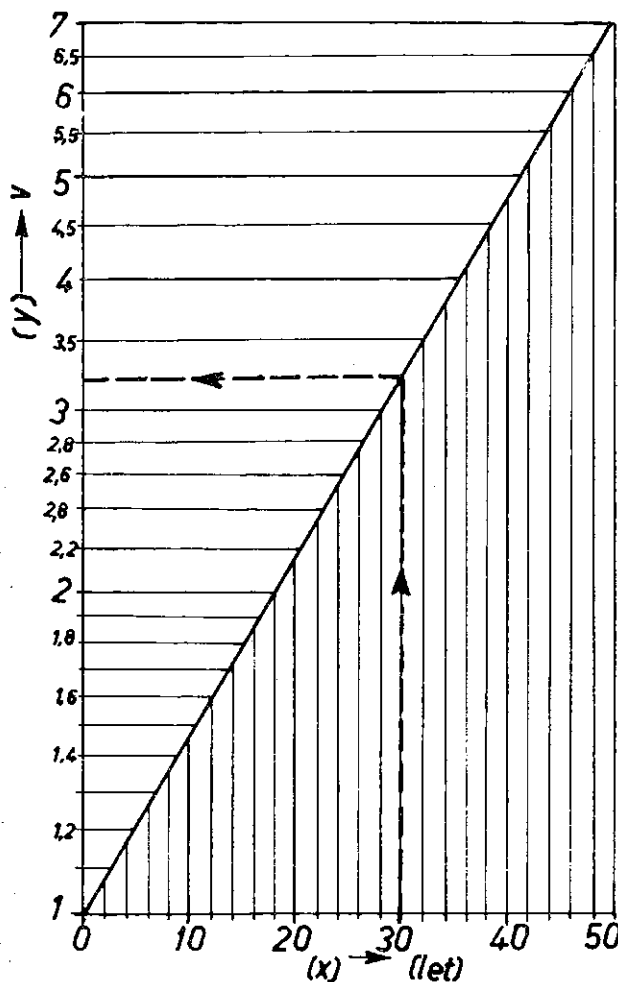
Če nastopa »x« v področju $1 < x < 1000$, je področje za »y« $1 < y < 10$

Modula naj bosta: $m_x = 25$ mm in $m_y = 50$ mm
Dolžini skal sta: $l_x = m_x [f(x)_{\max} - f(x)_{\min}] = 25 [\log 1000 - \log 1] = 75$ mm

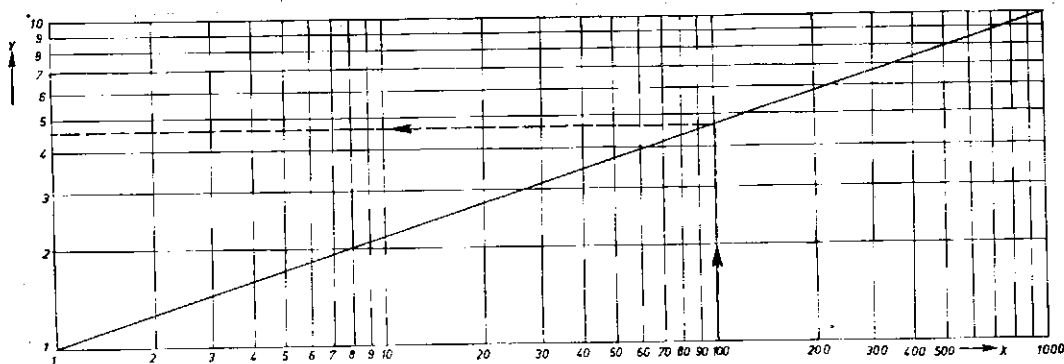
$$k = a \cdot \frac{m_y}{m_x} = \frac{1}{3} \cdot \frac{50}{25} = \frac{2}{3}$$

$$l_y = m_y [\log 10 - \log 1] = 50 \text{ mm}$$

Na sl. 3.9 je vrisan primer $x = 100$ in $y = \sqrt[3]{100} = 4,64$



Slika 3.8



Slika 3.9

Nekatere tovarne izdelujejo papir z logaritmsko mrežo $m = 100$ mm.

4. MREŽNI NOMOGRAMI

Mrežni nomogram je sestavljen iz posameznih diagramov, kar lahko vidimo v naslednjem primeru:

V skupnem koordinatnem sistemu so vrisani diagrami funkcije $y = ax + c$. Pri tem je prvi člen za vse diagrame enak, drugi pa je različen.

$$y = 2x + 0$$

$$y = 2x + 1$$

$$y = 2x + 2$$

$$y = 2x + 3$$

Ker sta modula na koordinatnih oseh: $m_x = 10$ mm, in $m_y = 5$ mm, je za vse slučaje smerni koeficient isti:

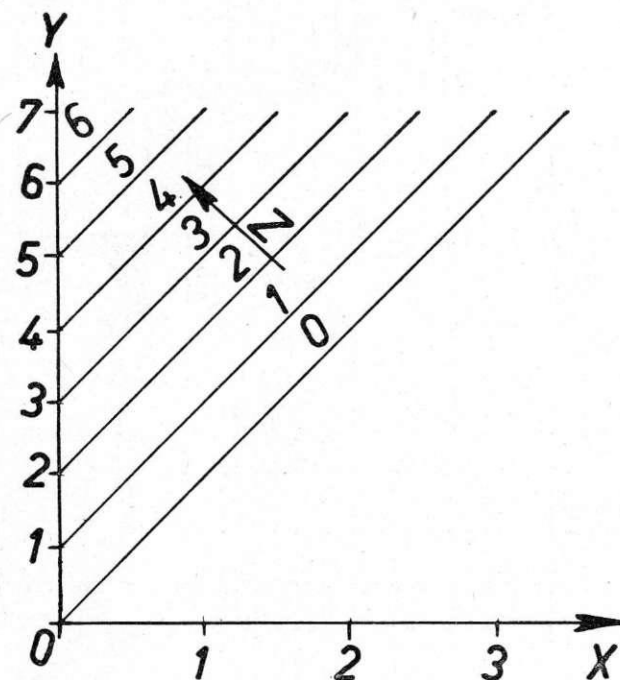
$$k = a \frac{m_y}{m_x} = 2 \cdot \frac{5}{10} = 1$$

Zaradi $x_{\min} = 0$ in $y_{\min} = 0$ začetek skal ni premaknjen niti horizontalno in niti vertikalno.

Položaji premic so odvisni od velikosti konstante »C«
 $l_c = m_y \cdot c$ in sicer za posamezne slučaje:

$c = 0$	$l_c = 5,0 = 0$
$c = 1$	$l_c = 5,1 = 5 \text{ mm}$
$c = 2$	$l_c = 5,2 = 10 \text{ mm}$
$c = 3$	$l_c = 5,3 = 15 \text{ mm}$

Poševne premice (slika 4,1) tvorijo novo skalo, katere modul je enak modulu na ordinati. Konstanta »c« v sestavljenem diagramu, oziroma v nomogramu, nima več stalne vrednosti; saj ima vse lastnosti neodvisne spremenljivke. Zato naj ima tudi drugačno označbo (»z«).



Slika 4.1

Nomogram je uporaben za formulo: $y = ax + z$

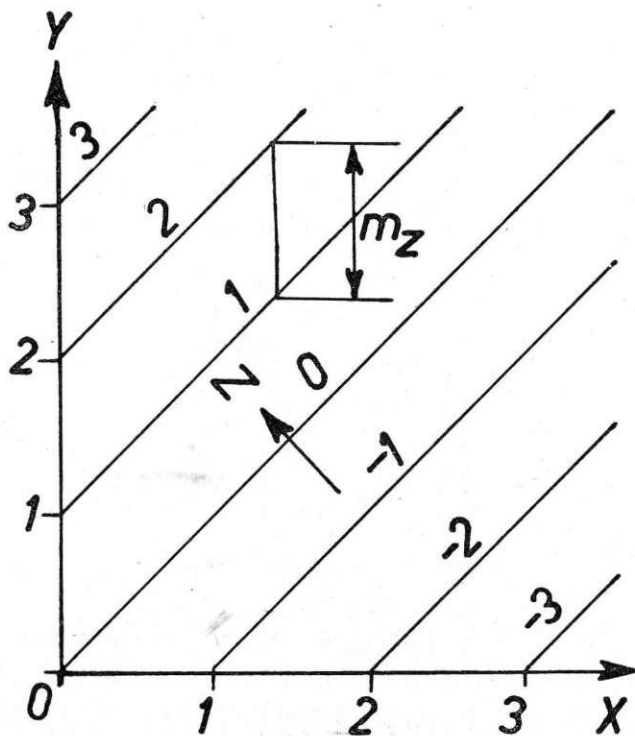
Postopek za risanje nomograma je podoben postopku pri risanju diagramov. Poševna premica z vrednostjo $z = 0$ poteka skozi središče koordinatnega sistema. To središče je lahko premaknjeno po vertikali in po horizontali, kar določata vrednosti $x_{\min}$ in $y_{\min}$. Nad osnovno premico so nanizane še ostale, ki tvorijo skalo z modulom: $m_z = m_y$. Skala »z« je lahko podaljšana tudi v negativno področje, torej pod osnovno premico $z = 0$ (slika 4.2).

Če je v nekaterih obrazcih druga neodvisna spremenljivka »z« množena z neko multiplikativno konstanto »b«, njen modul ni več enak modulu odvisne spremenljivke na ordinati ($m_z \neq m_y$)

$$y = ax + bz$$

Modul skale »z« je tolikokrat večji od modula na ordinati, kolikor znaša vrednost stalnice »b«

$$m_z = b \cdot m_y$$



Slika 4.2

Dokaz za to trditev dobimo tako, da vrednosti: $l_x = m_x \cdot x$; $l_y = m_y \cdot y$ in $l_c = m_z \cdot z$ vstavimo v obrazec, ki je identičen izrazu $y = ax + bz$:

$$l_y = K \cdot l_x + l_z$$

$$m_y \cdot y = k \cdot m_x \cdot x + m_z \cdot z : m_y$$

$$y = k \cdot \frac{m_x}{m_y} x + \frac{m_z}{m_y} z$$

Koeficienta ob neodvisnih spremenljivkah sta identična koeficientoma v prvi enačbi:

$$k \frac{m_x}{m_y} \equiv a \quad \text{in} \quad \frac{m_z}{m_y} \equiv b; \text{ iz česar sledi:}$$

$$k = a \cdot \frac{m_y}{m_x} \quad \text{in} \quad m_z = b \cdot m_y$$

Primer: V obrazcu za izračun pravokotnikovega obsega $0 = 2c + 2d$ nastopata neodvisni spremenljivki »c« in »d« v področjih: $c = 5 \div 25$ cm in $d = 0 \div 30$ cm. Nomogram naj bo narisani v velikosti: $l_x = 80$ cm in $l_y = 100$ cm. Minimalno in maksimalno vrednost ima obseg pri minimalni oziroma maksimalni vrednosti stranic »c« in »d«.

$$o_{\max} = 2 \cdot c_{\max} + 2 \cdot d_{\max} = 2 \cdot 25 + 2 \cdot 30 = 110 \text{ cm}$$

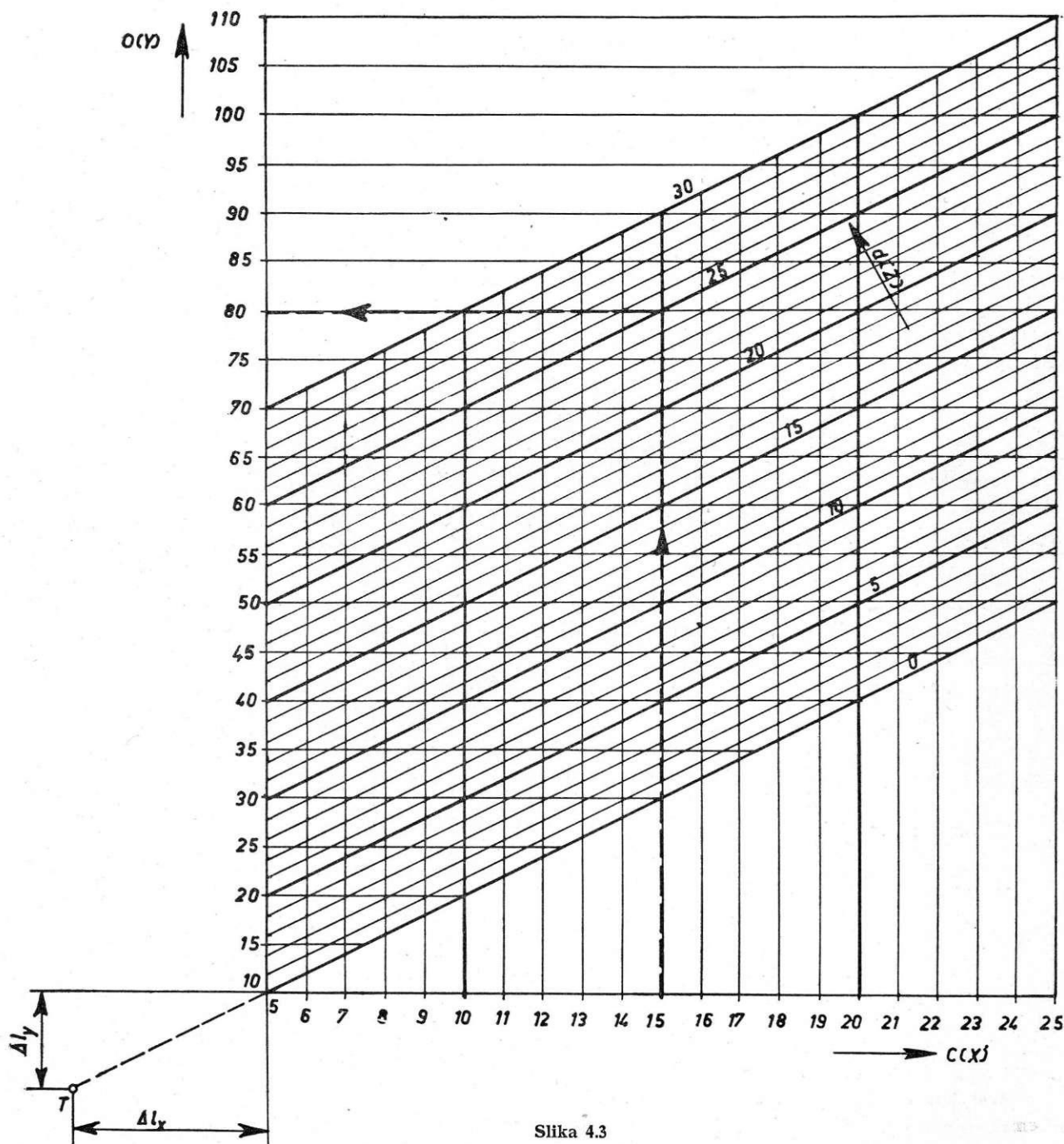
$$o_{\min} = 2 \cdot c_{\min} + 2 \cdot d_{\min} = 2 \cdot 5 + 2 \cdot 0 = 10 \text{ cm}$$

Ker so posamezne spremenljivke podanega obrazca identične spremenljivkam splošne formule x, dobimo ob upoštevanju, da je na abscisi skala stranice »c«, na ordinati skala obsega »o« in na poševni mreži skala stranice »d«:

$$c \equiv x, d \equiv z \text{ in } o \equiv y$$

Področja vseh treh spremenljivk so v mejah:

$$5 \leq x \leq 25; 10 \leq y \leq 110 \text{ in } 0 \leq z \leq 30$$



Slika 4.3

Moduli znašajo:

$$m_x = \frac{l_x}{x_{\max} - x_{\min}} = \frac{80}{25 - 5} = 4 \text{ mm}$$

$$m_y = \frac{l_y}{y_{\max} - y_{\min}} = \frac{100}{110 - 10} = 1 \text{ mm}$$

$$\text{in } m_z = b \cdot m_y = 2,1 = 2 \text{ mm}$$

Smerni koeficient poševnih premic je:

$$k = a \cdot \frac{m_y}{m_x} = 2 \cdot \frac{1}{4} = 0,5$$

Premica z označbo $z=0$ poteka skozi točko »T«, ki je premaknjena za:

$$\Delta l_x = -m_x \cdot x_{\min} = -4,5 = -20 \text{ mm (v levo)}$$

$$\text{in za } \Delta l_y = -m_y \cdot y_{\min} = -1,10 = -10 \text{ mm (navzdol)}$$

Nomogram obrazca $y = ax + bz$, kjer sta konstanti $a=2$ in $b=2$ je na sliki 4.3. V njem je vrisan računski primer s podatki: $c=x=15 \text{ cm}$ in $d=z=25 \text{ cm}$
 $o = 2c + 2d = 2,15 + 2,25 = 80 \text{ cm}$

Mrežni nomogram s paralelnimi poševnimi premicami lahko predstavlja tudi formulo, ki vsebuje še aditivno konstanto:

$$y = ax + by + c$$

Dodatna konstanta »c« samo premakne položaj vseh premic in seveda tudi osnovne ($z=0$) za »l_c« po vertikali navzdol ali navzgor, kar je odvisno od njenega predznaka.

Za izdelavo nomogramov takih obrazcev, v katerih sta neodvisni spremenljivki »x« in »z« faktorja v skupnem produktu, opisana oblika nomogramov ni uporabna. Neodvisna spremenljivka »z« množi konstanto »a« in zato vpliva na strmino poševne premice.

$$y = ax \cdot z \rightarrow y = az \cdot x$$

Ker je obrazec $y = az \cdot x$ identičen izrazu $l_y = k \cdot l_x$

$$\text{oziroma: } m_y \cdot y = k \cdot m_x \cdot x \rightarrow y = k \cdot \frac{m_x}{m_y} \cdot x;$$

lahko izenačimo koeficienta: »k« in »a . z«:

$$k \cdot \frac{m_x}{m_y} = a \cdot z$$

$$k = a \cdot \frac{m_y}{m_x} \cdot z$$

Smerni koeficient je torej odvisen od vrednosti spremenljivke »z«.

Vse premice se sekajo v skupni točki T, ki je premaknjena za Δl_x po horizontali in za Δl_z ter l_c po vertikali, saj je nomogram namenjen splošni obliki izraza: $y = a \cdot x \cdot z + c$.

Primer:

Nomogram za ohmov zakon ($J = \frac{U}{R} \rightarrow U = J \cdot R$) ima skale s področji: $I = 0 \div 10 \text{ A}$ $U = 0 \div 250 \text{ V}$.

Dolžini skal znašata $l_x = 80 \text{ mm}$ in $l_y = 100 \text{ mm}$

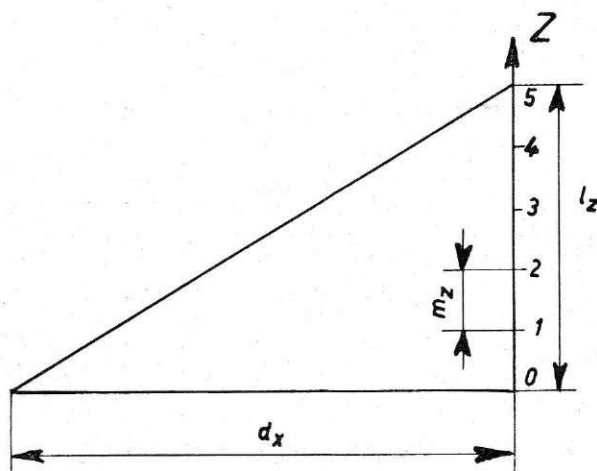
$$J \equiv x \quad U \equiv y \quad R \equiv z$$

$$m_x = \frac{l_x}{x_{\max} - x_{\min}} = \frac{80}{10 - 0} = 8 \text{ mm}$$

$$m_y = \frac{l_y}{y_{\max} - y_{\min}} = \frac{100}{250 - 0} = 0,4 \text{ mm}$$

Smerni koeficienti so za različne upornosti ($R = z$) različni in znašajo:

$$k = a \cdot \frac{m_y}{m_x} \cdot z = 1 \cdot \frac{0,4}{8} \cdot z = 0,05 z$$



Slika 4.4

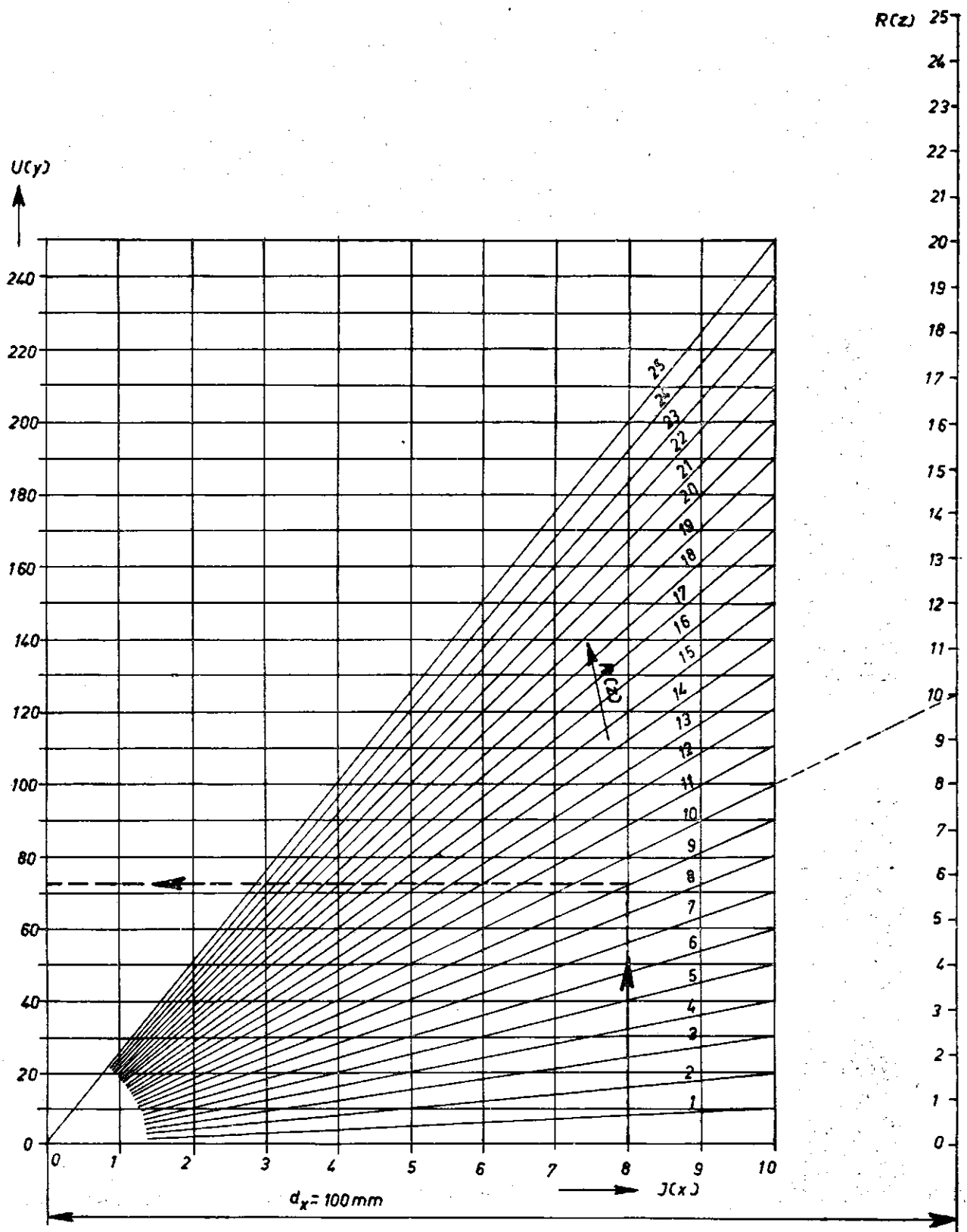
Skalo »z« lahko rišemo tako, da posamezne smerne koeficiente konstruiramo. Na vertikali je linearna skala, ki ima modul »m_z«.

Smerni koeficient je po sliki 4.4:

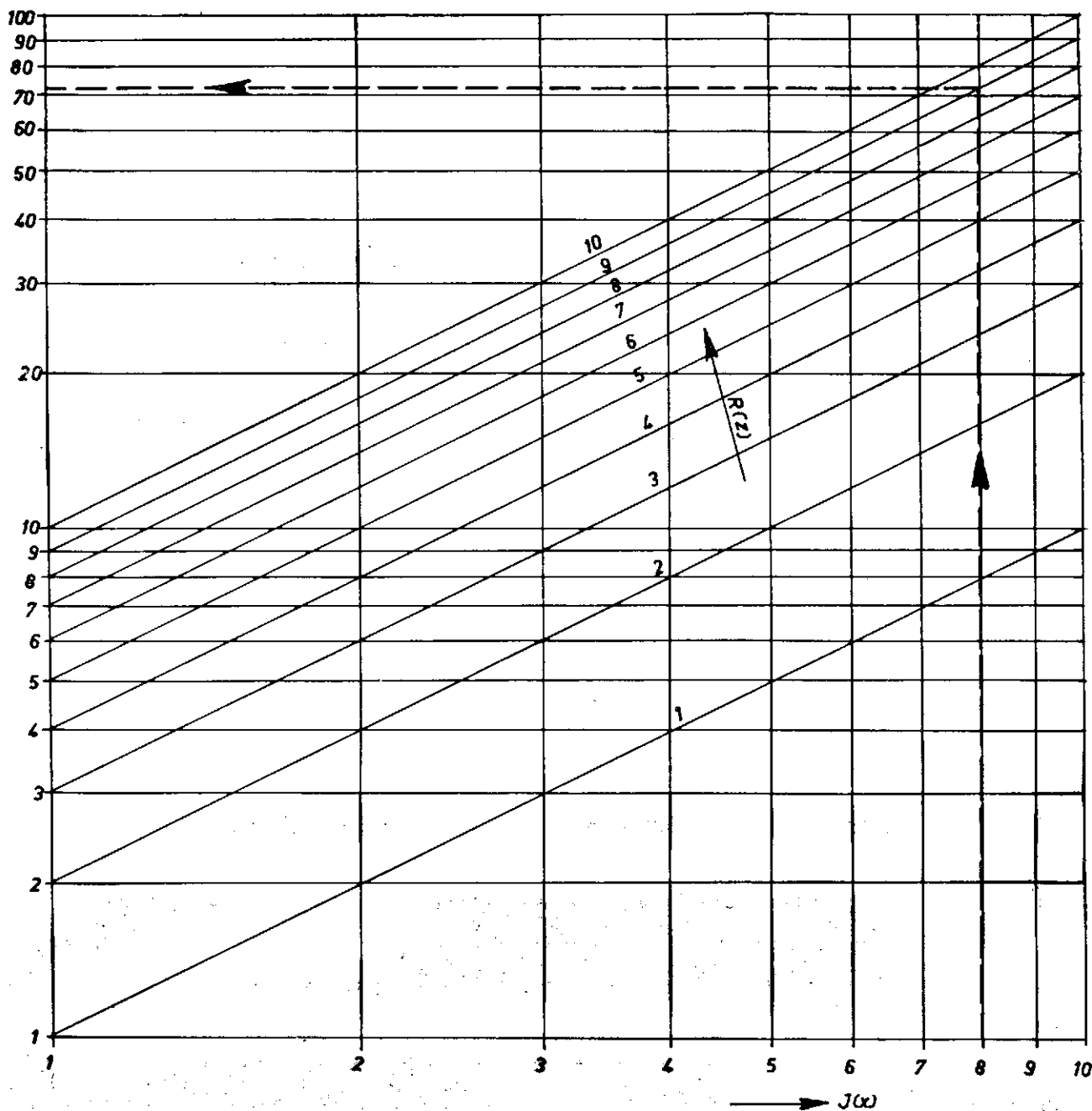
$$k = \frac{l_z}{d_x} = \frac{m_z \cdot z}{a \cdot x}$$

Če izenačimo oba izraza za smerni koeficient, dobimo:

$$a \cdot \frac{m_y}{m_x} \cdot z = \frac{m_z \cdot z}{d_x}$$



Slika 4.5



Slika 4.6

Modul skale »z« je poljuben in ima okroglo vrednost. Če je $m_z = 5$ mm, sledi:

$$d_x = \frac{m_x \cdot m_z \cdot z}{m_y \cdot a \cdot z} = \frac{m_x \cdot m_z}{a \cdot m_y} = \frac{8.5}{1.04} = 100 \text{ mm}$$

V nomogramu na sliki 4.5 je vrisan primer $J=8A$, $R=9\Omega$ in $U=72V$.

Navedena dva primera nomogramov imata linearne skale. S funkcijskimi skalami se poveča uporabnost mrežnih nomogramov.

Zato lahko rečemo, da zadostujeta samo dve vrsti mrežnih nomogramov, in sicer:

$F(y) = af(x) + b\phi(z) + C$ s paralelnimi premicami
in $F(y) = af(x) \cdot \phi(z) + C$ s premicami, ki se sekajo v skupni točki.

Nomogram za ohmov zakon je mrežni nomogram druge vrste. Če izraz $U=J \cdot R$ logaritmiramo, lahko izdelamo nomogram prvega tipa s paralelnimi premicami.

V nomogramu na sliki 4.6 je vrisan isti računski primer, kakor v prejšnjem slučaju.

Logaritmirana formula ima obliko:
 $\log U = \log J + \log R$

Nomogram v novi obliki ima logaritemske skale. Moduli logaritemskih skal so: $m_x = 100 \text{ mm}$, $m_y = 50 \text{ mm}$ milimetrov in $m_z = 50 \text{ mm}$.

Smerni koeficient premic je:

$$k = a \frac{m_x}{m_y} = 1 \cdot \frac{50}{100} = 0,5$$

Ker je $f(x)_{\min} = 0$ in $F(y)_{\min} = 0$ ter $c = 0$, premaknitve ni in premica z vrednostjo $\varphi(z) = 0$ ($\log 1 = 0$) gre skozi izhodišče koordinatnega sistema.

Z različnimi vrstami funkcijskih skal so mogoče različne kombinacije.

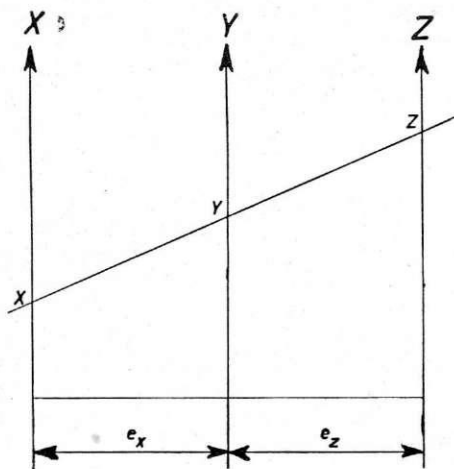
Mrežni nomogram je včasih precej nepregleden; vendar pa ima to dobro lastnost, da se njegova točnost ne zmanjša, če papir, na katerem je narisana, prepognemo. Zato je uporaben na terenu.

5. NOMOGRAMI IZ UVRŠČENIH TOČK

Mrežnim nomogramom smo očitali nepreglednost. V tem oziru so nomogrami iz uvrščenih točk boljši. Njihovo uporabnost priporoča velika preglednost. Ker pa je točnost odvisna od medsebojnega položaja skal, niso primerni na terenu.

Na sliki 5.1 so prikazane tri premice. Leva in desna premica nosita skali neodvisnih spremenljivk »x« in »z«, v sredini pa je skala odvisne spremenljivke »y«. Če bi imele vse skale enako velike module in če bi bili razdalji »e_x« in »e_z«, bi znašala vrednost funkcije »y« ob znanih argumentih »x« in »z«:

$$y = \frac{x + z}{2} = 0,5x + 0,5z$$



Slika 5.1

Z različnima moduloma in z različnima razdaljama stranskih premic od srednje lahko napravi-
 mo nomogram, ki predstavlja obrazec v splošni obliki: $y = ax + by + c$

Konstanto »c« upoštevamo s premaknitvijo skale »y« za $l_c = -m_y \cdot c$

Razmerje razdalj e_x in e_z je odvisno od velikosti obeh modulov neodvisnih spremenljivk »m_x« in »m_z« ter od koeficientov »a« in »b«. Za določitev razmerja si oglejmo na sliki 5.2 dva slučaja z različnimi argumenti in z isto vrednostjo odvisne spremenljivke »y«.

$$y = ax_1 + bz_1 + c \text{ in}$$

$$y = ax_2 + bz_2 + c$$

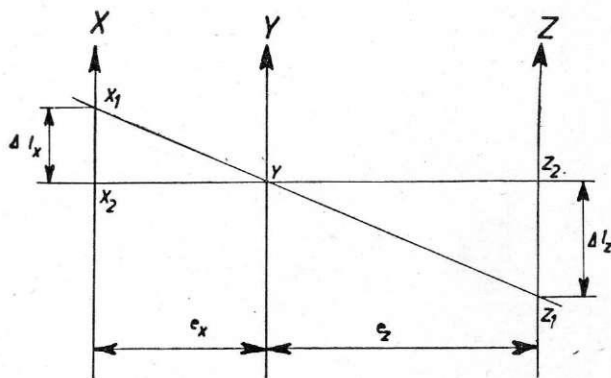
Odštejmo spodnjo enačbo od zgornje:

$$0 = a(x_1 - x_2) + b(z_1 - z_2)$$

$$\text{ali: } a(x_1 - x_2) = b(z_2 - z_1)$$

$$a \Delta x = b \Delta z$$

$$\text{iz česar sledi: } \frac{\Delta x}{\Delta z} = \frac{b}{a}$$



Slika 5.2

$$\text{Če v razmerje } \frac{\Delta l_x}{e_x} = \frac{\Delta l_z}{e_z}$$

iz slike 5.2 vstavimo odseka $\Delta l_x = \Delta x \cdot m_x$ in $\Delta l_z = \Delta z \cdot m_z$, dobimo

$$\frac{\Delta x \cdot m_x}{e_x} = \frac{\Delta z \cdot m_z}{e_z}$$

$$\frac{\Delta x}{\Delta z} = \frac{m_z}{m_x} \cdot \frac{e_x}{e_z}$$

Do končnega rezultata vodi izenačitev obeh izrazov $\frac{\Delta x}{\Delta z}$

$$\frac{m_z}{m_x} \cdot \frac{e_x}{e_z} = \frac{b}{a} \text{ ali } \frac{e_x}{e_z} = \frac{b}{a} \cdot \frac{m_x}{m_z}$$

Velikost srednjega modula »m_y« je tudi odvisna od obeh stranskih modulov in od koeficientov »a« in »b«.

V sliki 5.3 vidimo spremembo funkcije »y«, ki je nastala samo zaradi spremembe argumenta »z« ob konstantni vrednosti »x«:

$$y_1 = ax + bz_1 + c$$

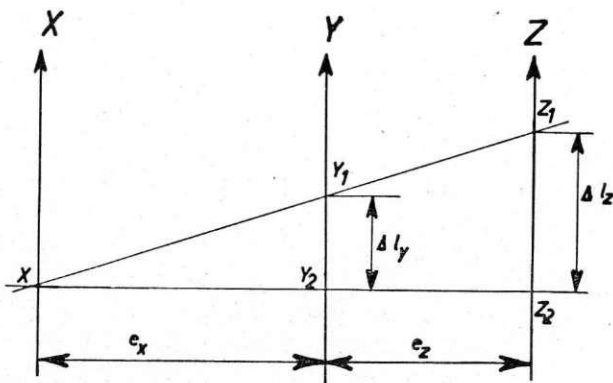
$$y_2 = ax + bz_2 + c$$

Razlika enačb je:

$$y_1 - y_2 = b(z_1 - z_2)$$

$$\Delta y = b \Delta z \rightarrow \frac{\Delta y}{\Delta z} = b$$

Iz slike 5.3 dobimo razmerje ($\Delta l = \Delta y \cdot m_y$ in $\Delta l_z = \Delta z \cdot m_z$) znaša



Slika 5.3

$$\frac{\Delta l_y}{e_x} = \frac{\Delta l_z}{e_x + e_z}$$

$$\frac{\Delta y \cdot m_y}{e_x} = \frac{\Delta z \cdot m_z}{e_x + e_z} \rightarrow \frac{\Delta y}{\Delta z} = \frac{e_x}{e_x + e_z} \cdot \frac{m_z}{m_y}$$

in po izenačitvi:

$$b = \frac{e_x}{e_x + e_z} \cdot \frac{m_z}{m_y} = \frac{1}{1 + \frac{e_z}{e_x}} \cdot \frac{m_z}{m_y}$$

Iz tega sledi modul funkcije:

$$m_y = \frac{1}{1 + \frac{e_z}{e_x}} \cdot \frac{m_z}{b}$$

$$m_y = \frac{1}{1 + \frac{a m_z}{b m_x}} \cdot \frac{m_z}{b}$$

$$m_y = \frac{m_x \cdot m_z}{b \cdot m_x + a \cdot m_z}$$

Primer: Nomogram za računanje obsega pravokotnika ima skale dolge $l = 100$ mm.

Neodvisni spremenljivki nastopata v področjih
 $x = 4 \div 20$ cm in $z = 5 \div 30$ cm
 $o = 2c + 2d$
 $y = 2x + 2z$
 $(a = 2, b = 2)$

Velikosti modulov:

$$m_x = \frac{l_x}{x_{\max} - x_{\min}} = \frac{100}{20 - 4} = 6,25 \text{ mm} \rightarrow \text{izberemo } m_x = 6 \text{ mm}$$

$$m_z = \frac{l_z}{z_{\max} - z_{\min}} = \frac{100}{30 - 5} = 4 \text{ mm}$$

$$m_y = \frac{m_x \cdot m_z}{b \cdot m_x + a \cdot m_z} = \frac{6 \cdot 4}{2 \cdot 6 + 2 \cdot 4} = 1,2 \text{ mm}$$

Razdalji e_x in e_z sta v razmerju:

$$\frac{e_x}{e_z} = \frac{b}{a} \cdot \frac{m_x}{m_z} = \frac{2 \cdot 6}{2 \cdot 4} = \frac{3}{2}$$

Če je tudi širina nomograma omejena in če znaša $e_x + e_z = 50$ mm, potem je:

$$\frac{50 - e_z}{e_z} = \frac{3}{2} \rightarrow 100 - 2e_z = 3e_z$$

$$e_z = 20 \text{ mm}$$

$$e_x = 50 - e_z = 50 - 20 = 30 \text{ mm}$$

V začetku skal so označbe $x_{\min} = 4$ cm, $z_{\min} = 5$ cm in $y_{\min}$, ki znaša:

$$y_{\min} = 2x_{\min} + 2z_{\min} = 2 \cdot 4 + 2 \cdot 5 = 18 \text{ cm}$$

Na sliki 5.4 je v nomogramu vrisan slučaj $x = 8$ cm, $z = 25$ cm

$$y = 2 \cdot 8 + 2 \cdot 25 = 66 \text{ cm}$$

Nomogram iz uvrščenih točk s paralelnimi skalami je uporaben za poljuben izraz splošne oblike:

$$F(y) = af(x) + b\phi(z) + c$$

Če je opremljen z logaritmskimi skalami, predstavlja obrazec:

$$\log y = a \log x + b \log z + \log c$$

$$y = c \cdot x^a \cdot z^b$$

Primer: Nomogram obrazca za izračun valjeve prostornine $V = r^2 \pi v$. Področji neodvisnih spremenljivk sta: $r = 1 \div 10$ cm, $v = 1 \div 100$ cm. Dolžina skal je $l = 100$ mm in razdalja med zunanjsima premicama $e_x = e_z = 60$ mm.

logaritmirajmo formulo:

$$\log V = 2 \log r + \log v + \log \pi$$

$$\log V = 2 \log r + \log v + 0,49715$$

Velikosti modulov:

$$m_x = \frac{l_x}{\log x_{\max} - \log x_{\min}} = \frac{100}{\log 10 - \log 1} = 100 \text{ mm}$$

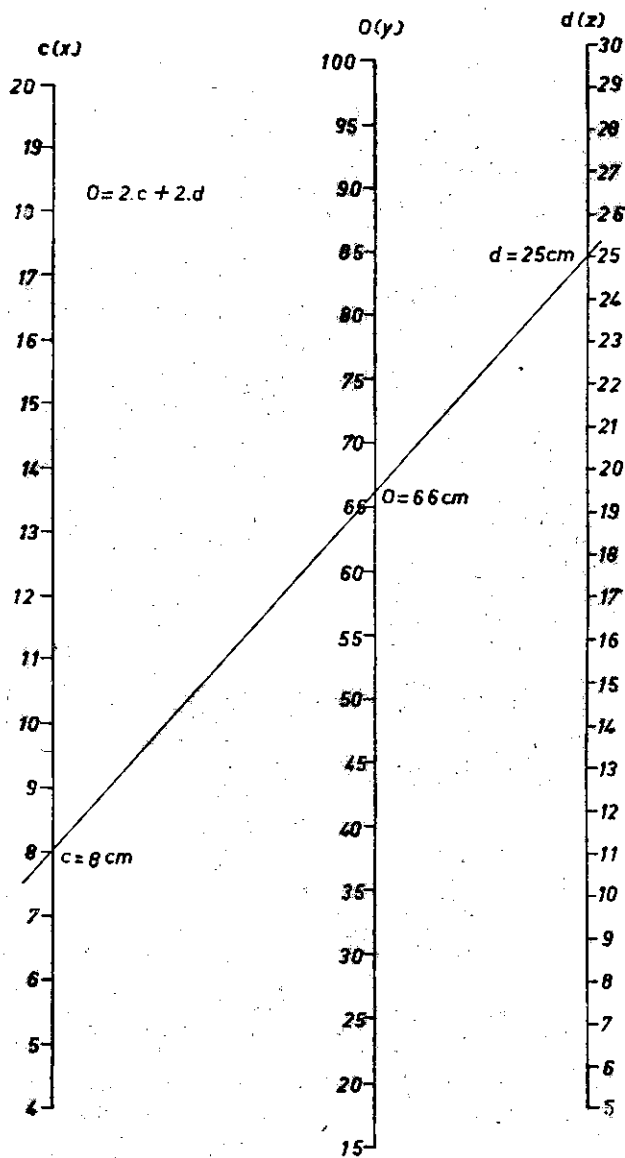
$$m_z = \frac{l_z}{\log z_{\max} - \log z_{\min}} = \frac{100}{\log 100 - \log 1} = 50 \text{ mm}$$

$$m_y = \frac{m_x \cdot m_z}{b \cdot m_x + a \cdot m_z} = \frac{100 \cdot 50}{1 \cdot 100 + 2 \cdot 50} = 25 \text{ mm}$$

V točki, kjer je $x = 1$ in $z = 1$ znaša $y = \pi \cdot x^2 \cdot z = \pi \cdot 1^2 \cdot 1 = \pi$. Zato lahko rečemo, da je skala funkcije »y« premaknjena za:

$$l_c = -m_z \cdot \log \pi = -25 \cdot 0,49715 = -12,4 \text{ mm} \quad (\text{navzdol})$$

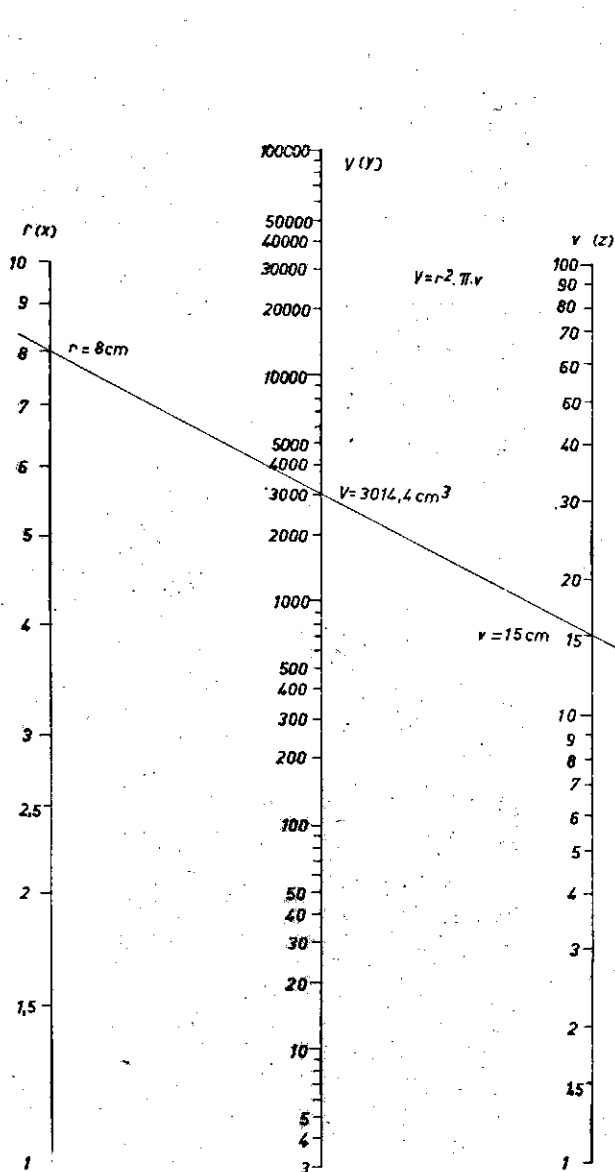
Razmerje $\frac{e_x}{e_z}$ je:



Slika 5.4

Primer: $r = 8 \text{ cm}$, $v = 15 \text{ cm}$ in $V = 8^2 \pi \cdot 15 = 3014,4 \text{ cm}^3$ je vrisan v nomogramu na sliki 5.5.

Nomogrami iz uvrščenih točk s paralelnimi skalami so osnovni nomogrami. Poleg teh poznamo še take nomograme, ki imajo poševne skale. Opisovanje teh presega že okvir teh vrstic, ker služijo le posebnim namenom.



Slika 5.5

6. SESTAVLJENI NOMOGRAMI

Kadar je odvisna spremenljivka rezultat treh ali več argumentov, mora biti nomogram sestavljen. Tako je na primer nomogram za izračun valjeve teže sestavljen iz dveh nomogramov.

$$\frac{e_x}{e_z} = \frac{b}{a} \cdot \frac{m_x}{m_z} = \frac{1}{2} \cdot \frac{100}{50} = \frac{1}{1}$$

Obe razdalji sta torej enaki in znašata $e_x = e_z = 30 \text{ mm}$.

$$G = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot h \cdot \gamma$$

$$V = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot h \quad \text{in} \quad G = V \cdot \gamma$$

Prvi nomogram služi za izračun prostornine, drugi pa za izračun teže. Celoten postopek izdelave je najlepše razviden iz primera, v katerem nastopajo neodvisne spremenljivke v območjih:

$d = 0 \div 8 \text{ cm}$; $h = 0 \div 10 \text{ cm}$ in $\gamma = 1 \div 10 \text{ p/cm}^3$
V prvem nomogramu, ki je risan v velikosti $60 \times 100 \text{ mm}$, veljajo identični odnosi: $d \equiv x$, $h \equiv z$ in $V \equiv y$.

Skala, ki nosi neodvisno spremenljivko »x«, je kvadratna in ima modul:

$$m_x = \frac{l_x}{x_{\max}^2 - x_{\min}^2} = \frac{60}{8^2 - 0^2} = 0,9375 \text{ mm}$$

Izberemo okroglo vrednost modula $m_x = 1 \text{ mm}$.

Funkcija »y« je v področju:

$$y_{\min} = \frac{x_{\min}^2 \pi}{4} \cdot z_{\min} = \frac{0^2 \cdot \pi \cdot 0}{4} = 0$$

$$y_{\max} = \frac{x_{\max}^2 \pi}{4} \cdot z_{\max} = \frac{8^2 \pi}{4} \cdot 10 = 502,4 \text{ cm}^3$$

Modul odvisne spremenljivke je:

$$m_y = \frac{l_y}{y_{\max} - y_{\min}} = \frac{100}{502,4 - 0} \approx 0,2 \text{ mm}$$

Ker je $x_{\min} = 0$ in $y_{\min} = 0$, se nahaja skupna točka vseh poševnih premic v središču koordinatnega sistema. Smerni koeficient premic je odvisen od argumenta »z«:

$$k = a \cdot \frac{m_y}{m_x} \cdot z = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{0,2}{1} \cdot z = 0,157 \cdot z$$

Drugi nomogram predstavlja obrazec: $G = \frac{V \cdot \gamma}{1000}$;

kjer je $[V] = \text{cm}^3$, $[\gamma] = \frac{\text{p}}{\text{cm}^3}$ in $[G] = \text{kp}$. V tem nomogramu so veljavni novi identični izrazi:

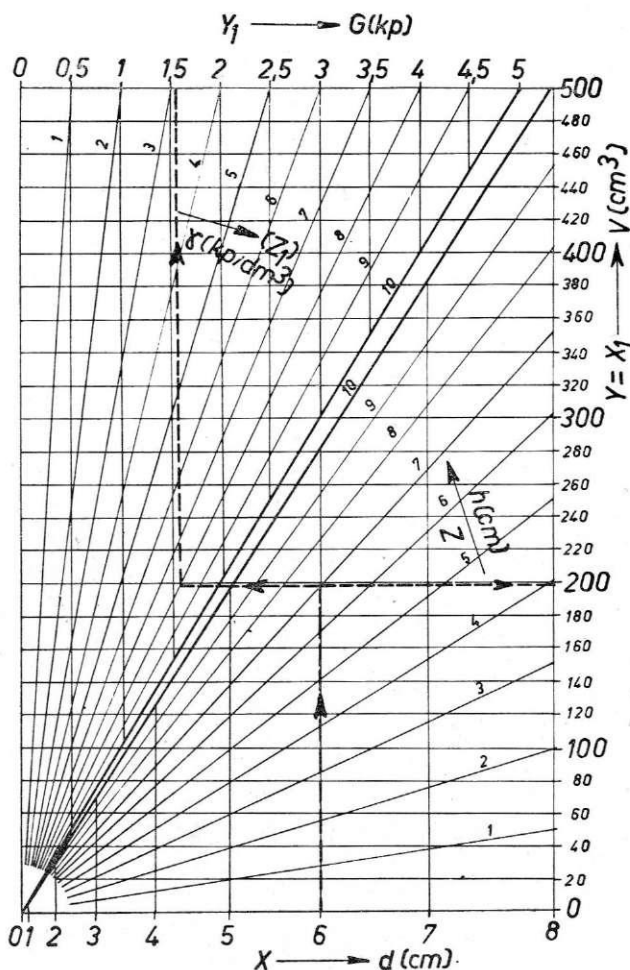
$$G = y_1 \quad V = x_1 \quad Y = z_1$$

Modul prostornine je znan že od prej in znaša

$$m_x = m_y = 0,2 \text{ mm}$$

Interval y_1 je:

$$y_{\min_1} = \frac{x_{\min_1} \cdot z_{\min_1}}{1000} = \frac{0 \cdot 0}{1000} = 0$$



Slika 6.1

$$\text{in } y_{\max_1} = \frac{x_{\max_1} \cdot z_{\max_1}}{1000} = \frac{502,4 \cdot 10}{1000} = 5,024 \text{ kp}$$

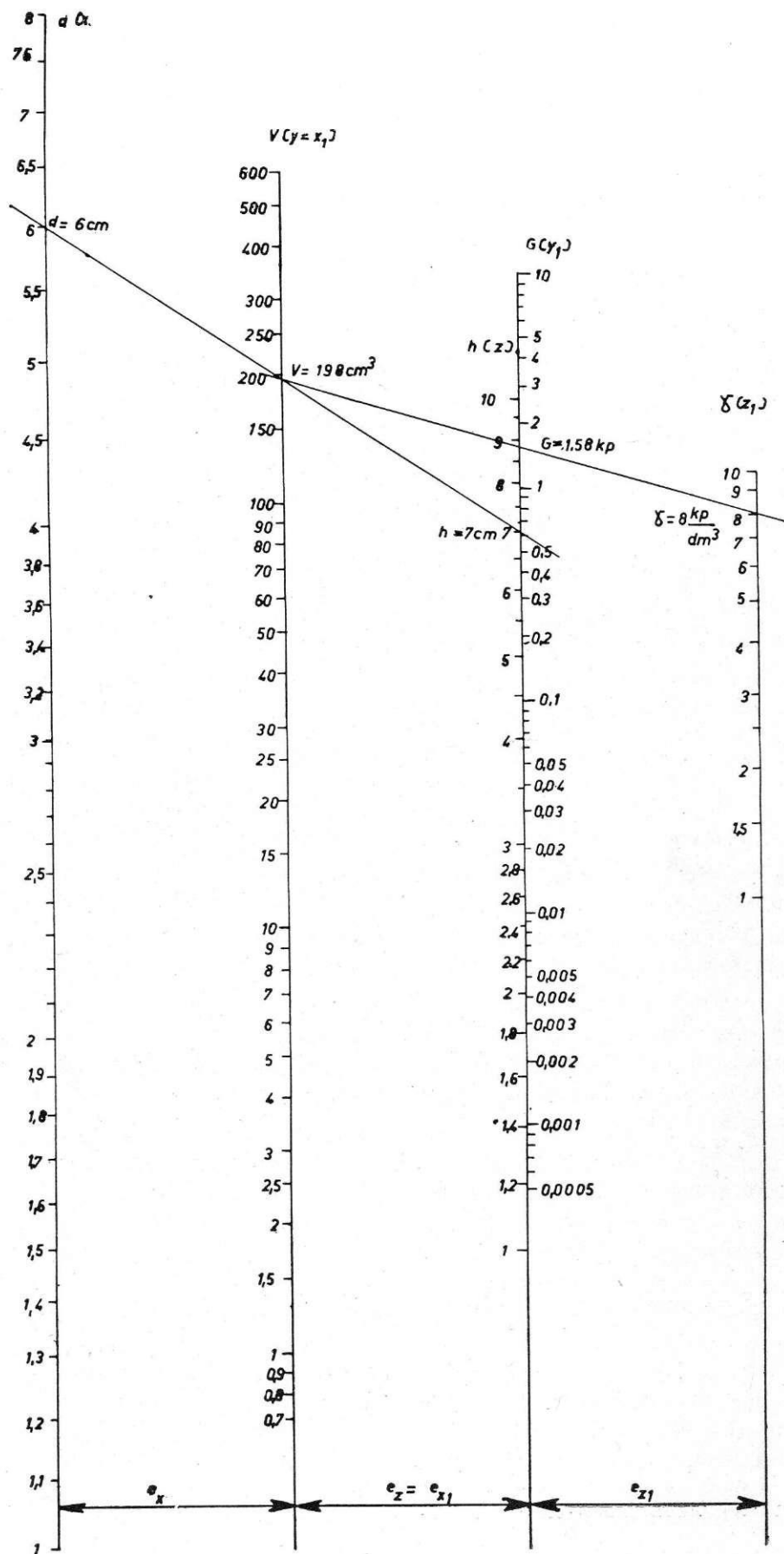
$$m_{y_1} = \frac{l_{y_1}}{y_{\max_1} - y_{\min_1}} = \frac{60}{5,024 - 0} \approx 12 \text{ mm}$$

Smerni koeficienti poševnih premic so:

$$k = a \cdot \frac{m_{y_1}}{m_{x_1}} \cdot z_1 = \frac{1}{1000} \cdot \frac{12}{0,2} \cdot z_1 = 0,06 \cdot z_1$$

Tudi v drugem delu nomograma ni premaknitve skupne točke premic. Nomogram na sliki 6.1 ima vrisan primer: $d = 6 \text{ cm}$, $h = 7 \text{ cm}$ in $\gamma = 8 \text{ p/cm}^3$, iz česar sledi:

$$V = \frac{d^2 \pi \cdot h}{4} = \frac{6^2 \pi \cdot 7}{4} = 198 \text{ cm}^3 \quad \text{in} \quad G = \frac{V \cdot \gamma}{1000} = \frac{198 \cdot 8}{1000} = 1,58 \text{ kp}$$



Slika 6.2

V primeru na sliki 6.2 je napravljen nomogram istega obrazca v drugi obliki. Spremenljivke prvega nomograma iz uvrščenih točk $V = \frac{d^2 \pi \cdot h}{4}$ ($y = \frac{x^2 \pi \cdot Z}{4}$) imajo logaritemske skale:

$$\begin{aligned}\log y &= 2 \log x + \log z + \log \pi - \log 4 = \\ &= 2 \log x + \log z + 0,49715 - 0,60206 \\ \log y &= 2 \log x + \log z - 0,10491\end{aligned}$$

Ker sta modula neodvisnih spremenljivk: $m_x = 200$ mm in $m_z = 100$ mm, dobimo:

$$m_y = \frac{m_x \cdot m_z}{b \cdot m_x + a \cdot m_z} = \frac{200 \cdot 100}{1 \cdot 200 + 2 \cdot 100} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{in razmerje: } \frac{e_x}{e_z} = \frac{b}{a} \cdot \frac{m_x}{m_z} = \frac{1}{2} \cdot \frac{200}{100} = 1$$

V drugem nomogramu $y_1 = \frac{x_1 \cdot z_1}{1000}$ ($\log y_1 = \log x_1 + \log z_1 - \log 1000$) je $m_x = m_y = 50$ mm in $m_{z_1} = 50$ mm ter modul skale

$$\begin{aligned}y_1 &= \frac{m_{z_1} \cdot m_{x_1}}{b_1 m_x + a_1 m_{z_1}} = \frac{50 \cdot 50}{1 \cdot 50 + 1 \cdot 50} = 25 \text{ mm} \\ \frac{e_{z_1}}{e_{x_1}} &= \frac{b_1}{a_1} \cdot \frac{m_{x_1}}{m_{z_1}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{50}{50} = 1\end{aligned}$$

Skala »z« prvega nomograma in skala y_1 drugega nomograma sta na skupni premici. Zato je tudi $e_z = e_{x_1}$.

V nomogramu je isti računski primer, kot v mrežnem nomogramu.

Sestavljeni nomogrami lahko predstavljajo tudi take obrazce, v katerih so več kot tri neodvisne spremenljivke. V takem primeru je postopek sličen, le da razdelimo nomogram na več kakor dva enostavna nomograma.

Sestavljen nomogram lahko sestavljata mrežni nomogram in nomogram iz uvrščenih točk.

7. POSEBNE OBLIKE NOMOGRAMOV

Za posamezne slučaje je potrebno izdelati posebne vrste nomogramov. Slika 7.1 prikazuje nomogram iz uvrščenih točk, ki pa nima paralelnih skal. Skali argumentov sta na vodoravni premici, navpična premica pa nosi skalo funkcije »y«. Če na nomogram položimo na pravokotnem papirju

narisan križ in sicer tako, da se premici sekata na skali »y«, dobimo na skalah »x« in »y« dva odseka » l_x « in » l_z «.

Medsebojni odnos dolžin » l_x «, » l_z « in » l_y « dobimo z izenačitvijo kotne funkcije tangens v obeh pravokotnih trikotnikih:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l_y}{l_x} = \frac{l_z}{l_y}$$

$$l_y^2 = l_x \cdot l_z \text{ in } l_y = \sqrt{l_x \cdot l_z}$$

Če je $l_y = m_y \cdot y$, $l_x = m_x \cdot x$ in $l_z = m_z \cdot z$, dobimo:

$$y \cdot m_y = \sqrt{m_x \cdot m_z \cdot x \cdot z}$$

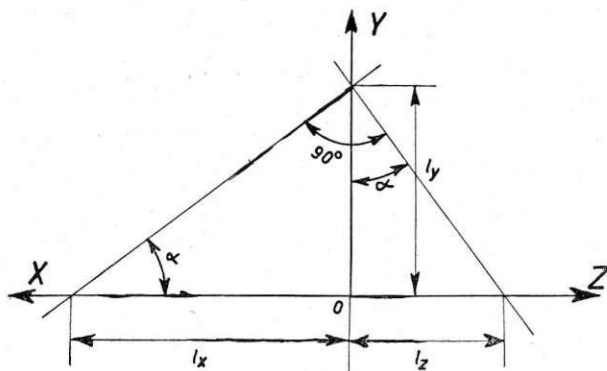
$$y = \frac{1}{m_y} \sqrt{m_x \cdot m_z \cdot x \cdot z}$$

Pri skalah z enakimi moduli: $m_x = m_y = m_z$ predstavlja nomogram formulo:

$$y = \frac{1}{m} \cdot \sqrt{m \cdot m \cdot x \cdot z} = \sqrt{x \cdot z}$$

S tem nomogramom lahko računamo srednjo geometrično vrednost »y« obeh števil »x« in »z«.

Oglejmo si še en primer posebnega nomograma iz uvrščenih točk. Na sliki 7.2 so tri linearne skale z enakim modulom. Skale tvorijo medsebojne kote 60° . Poševna premica napravi na skalah odseke »x«, »y« in »z«. Zanima nas, kolik je odsek »y«, če sta znana »x« in »z«.



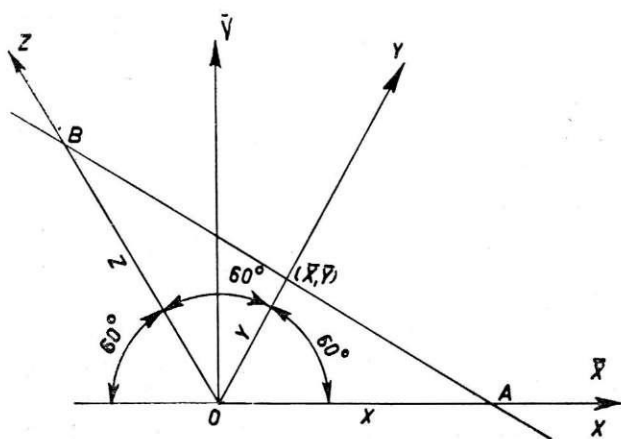
Slika 7.1

V nomogram je vrisan še koordinatni sistem $\bar{x} \bar{y}$.

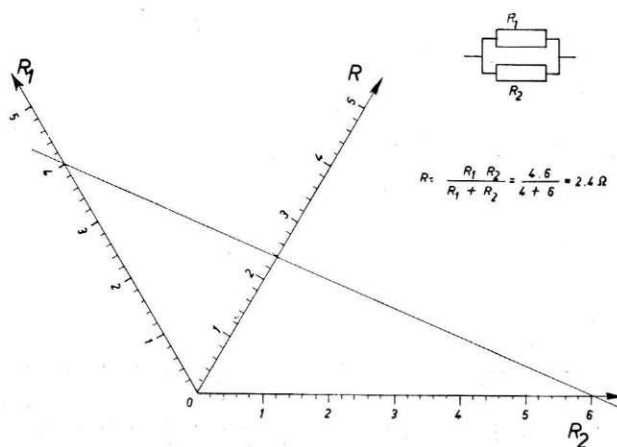
Točki »A« in »B« imata koordinati:

$$\bar{x}_A = x \quad \bar{y}_A = 0$$

$$\bar{x}_B = -z \cdot \cos 60^\circ = -\frac{z}{2} \quad \bar{y}_B = z \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot z$$



Slika 7.2



Slika 7.3

Enačba poševne premice je:

$$\frac{\bar{y} - \bar{y}_A}{\bar{x}_B - \bar{x}_A} = \frac{\bar{y}_B - \bar{y}_A}{\bar{x}_B - \bar{x}_A} (\bar{x} - \bar{x}_A)$$

$$\bar{y} - 0 = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}z - 0}{\frac{z}{2} - x} (\bar{x} - x)$$

in enačba premice »y«:

$$\bar{y} = \tan 60^\circ \cdot \bar{x} = \sqrt{3} \cdot \bar{x}$$

Če izenačimo obe enačbi, dobimo:

$$\sqrt{3} \bar{x} = -\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}z}{x + \frac{z}{2}} (\bar{x} - x)$$

$$\sqrt{3} \bar{x} z + 2 \sqrt{3} \bar{x} x = \sqrt{3} \bar{x} z - \sqrt{3} \bar{x} z$$

$$\bar{x} = \frac{x z}{2x + 2z}$$

ker je $y = \frac{\bar{x}}{\cos 60^\circ} = \frac{\bar{x}}{0,5} = 2 \cdot \bar{x}$ znaša »y«:

$$y = \frac{2x \cdot z}{2x + 2z}$$

$$y = \frac{x \cdot z}{x + z}$$

Nomogram je uporaben za računanje nadomestne električne upornosti paralelno vezanih uporov. Z različno odbranimi moduli in koti med premicami lahko predstavlja kakšen drug izraz oblike:

$$y = \frac{a \cdot x \cdot z}{b \cdot x + c \cdot z}$$

Nomogram, ki služi praktičnim namenom, naj bo brez označb, ki so potrebne za konstrukcijo (x, y, z), pač pa naj vsebuje tiste spremenljivke, katerih obrazec predstavlja. Poleg kratkega navodila in primera naj bo ob nomogramu še skica, kot vidimo na sliki 7.3.

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{4 \cdot 6}{4 + 6} = 2,4 \, \Omega$$

Skrbno izdelan nomogram je res uporaben pripomoček v praksi in v njegovo izdelavo vložen trud ni nekoristna izguba časa. Te vrste še niso izčrpale vse možnosti nomografije. One so samo nekatere osnove samostojne znanosti — praktične matematike.

Nekaj problemov valjanja posebnih jekel na težki progi

Izraz »posebna jekla« označuje nelegirana in legirana jekla, ki ne spadajo v program množične proizvodnje in porabe, ampak služijo v posebne namene. Posebno jeklo je v praksi le takrat kvalitetni produkt, če jeklarna doseže popolno enakomernost glede karakteristike jekla, pri čemer mora biti blok predelan v valjarnah pri optimalnih pogojih valjanja: temperatura ogrevanja in valjanja, hitrosti prehoda skozi valje, odvzemih in stiskih ter ohlajevanju po valjanju.

Pri obdelavi posebnih legiranih jekel je treba paziti na pravilen tehnološki proces glede na njihovo strukturo in fizikalno-kemične lastnosti. Te lastnosti se odražajo v njihovi trdnosti, makrostrukturi, mikrosegregaciji, nemetalnih vključkih različnega izvora, fizikalno-mehanskih lastnostih (elastičnost, plastičnost) in v fizikalno-kemičnih lastnostih (kaljivost, nagnjenost h grafitizaciji, ognje — in kislino — odpornost). Pri vroči predelavi jekla bodisi s kovanjem ali z valjanjem sta najvažnejša dva faktorja, to je temperatura ogrevanja in pa mehanska deformacija.

Za visokolegirana jekla je proces ogrevanja zelo odgovorna operacija. Pri izbiri metode ogrevanja bloka (čas in temperatura ogrevanja) je treba upoštevati fizikalno-kemične lastnosti jekla, težo in dimenzijo bloka ter dimenzije končnega valjanca, izhodno temperaturo bloka in konstrukcijo peči.

Važno pri vsem tem je tudi, da je blok enakomerno ogret, kar zelo vpliva na lastnosti jekel. Ko so pred leti strokovnjaki z metalurškega inštituta v Ljubljani merili temperaturo ingotov iz III. strojne peči na težki progi, je znašala razlika temperatur površine in sredine bloka 20° C, kar je zadovoljivo. Pri tem je znašal čas ogrevanja 7 do 9 ur pri povprečnem presčku bloka 96100 mm². To je bilo za mehka jekla. Za visokolegirana jekla se mora čas ogrevanja, zaradi slabše toplotne prevodnosti in nevarnosti razpok zaradi prevleke hitrosti ogrevanja, podaljšati, kar lahko izrazimo z naslednjo formulo:

$$T = K \cdot L$$

T — podaljšani čas ogrevanja (normalni čas je 6 do 9 ur)

L — dolžina stranice bloka v cm

K — koeficient, ki zavisi od vrste jekla in je bil praktično določen

Ruski metalurg Čižikov nam podaja naslednje vrednosti:

	K
proti kislini odporna, nerjaveča jekla	0,25
trda manganska jekla	0,30
brzorezna jekla	0,45

Tako se nam za avstenitno Hatfieldovo trdo jeklo (Mn 14) podaljša čas ogrevanja za:

$$T = 0,3 \times 34 = 10 \text{ ur}$$

$$K = 0,3$$

$$L = 34 \text{ cm}$$

10 ur in znaša v celoti 16 do 19 ur in to pri formatu Si 1000 V. Temperatur ogrevanja se za nekatere kvalitete držimo v naslednjih mejah:

kvaliteta	temperatura ogrevanja
Mn 14	1050—1120° C
Dinamo	1080—1100° C
Trafo	<1100° C
Avtomatsko nerjaveče jeklo	1100—1120° C

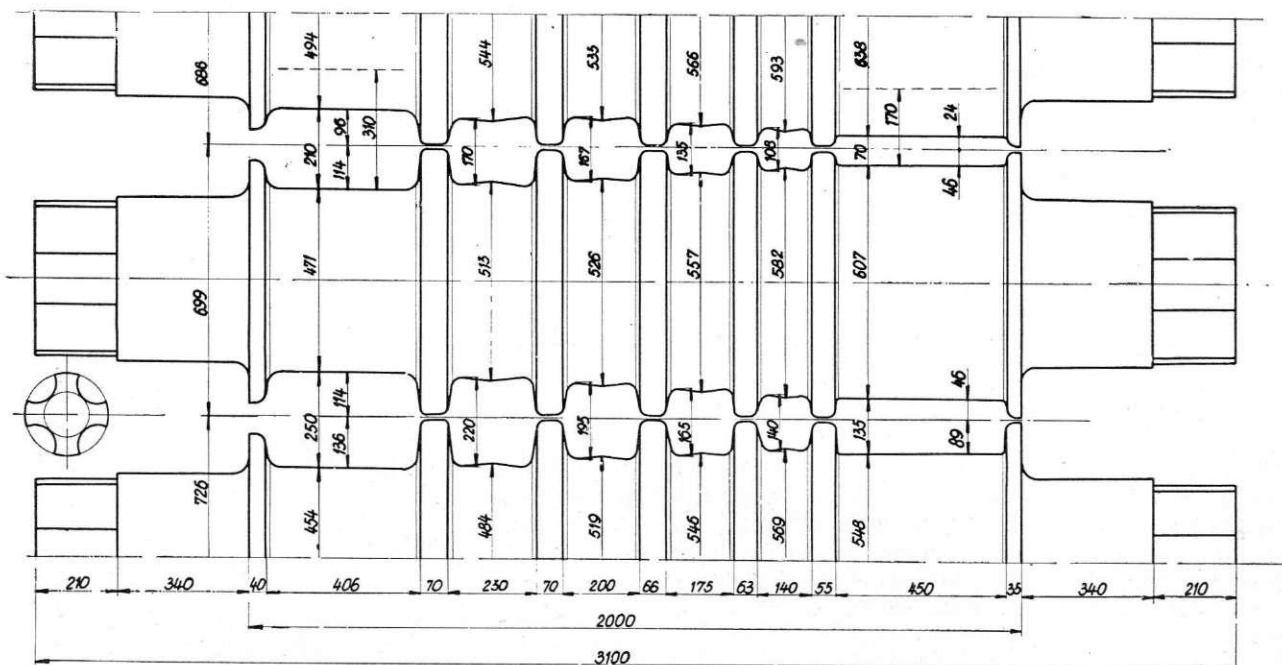
Tabela 1 — Temperatura ogrevanja blokov

Zgornje vrednosti so omejene glede na lastnosti jekla, spodnje pa poleg tega na ustroj proge in valjev.

Že prej sem omenil, da je poleg režima ogrevanja jekla važna predvsem mehanska deformacija. Pravilno mehansko deformacijo dosežemo s pravilno manipulacijo plana vtikov in ustrezno kalibracijo. Pravilna kalibracija mora zagotoviti:

- točne dimenzije izvaljanega profila
- visoko proizvodnost proge
- optimalno porabo energije in valjev
- minimalne notranje napetosti v izvaljanem materialu
- in širok asortiman valjanja

Za predvaljanje ingotov imamo na težki progi bločno trojko s srednjim premerom valjev Ø 700 mm. Na tej predprogi, ki ima zgoraj 6 in spodaj 6 kalibrov, predvaljamo vse ingote formatov Si 1000 V, Si 650 V, OKG 345 V, OK 345 in OKG 295. Zgornji valj te trojke se lahko dviga in spušča s hidravlično nastavno napravo, pri čemer znaša maksimalni dvig 100 mm. Srednji in spodnji valj pa sta fiksno vgrajena.



Slika 1 — Bločna trojka s' pomičnim gornjim valjem $\varnothing$ 700 mm

Prvih pet kalibrov nam služi kot pripravljalni vtiki za kvadratne gredice, na prvem in šestem kalibru pa izvršimo reducirne vtike za valjanje platin. Pri vseh vtikih delamo z nadpritiski, ki so podani v tabeli spodaj:

Nad-						
pritisk	1. kal.	II. kal.	III. kal.	IV. kal.	V. kal.	VI. kal.
zgoraj	23	31	9	9	11	31
spodaj	17	29	7	11	13	29

Tabela 2 — Nadpritiski

Pri risbi bločne trojke sem podal samo glavne dimenzije, zato da bomo lažje sledili vtikom za posamezne ingote. Vzemimo sedaj primer valjanja 1000 kg bloka, formata Si 1000 V, ki ima pri glavi največji presek 340×340 mm. Za to obliko in težo ingota imamo tudi največje pritiske in odvzeme, kar nam zlasti pri visokolegiranih jeklih povzroča mnogo težav. Iz razpredelnice so razvidni vsi koeficienti valjanja:

Kaliber	Št. vtika	Vtik	Dimenzija mm	Dvig zgornjega valja mm	F mm ²	$\frac{F_1}{F_0} \cdot 100\%$	Δh mm	$\frac{h_1}{h_0} \cdot 100\%$	Δb	Opomba
I.	1	1 zgoraj	275 × 355	65	97625	15	65	19,1	15	prosto širjenje
	2	1 spodaj	250 × 367 k		91750	5,5	25	9,1	12	"
	3	2 zgoraj	300 × 265 k	90	79500	13	67	18,5	15	"
	4	2 spodaj	250 × 307 k		75175	5,8	22	8,1	7	"
	5	3 zgoraj	270 × 262 k	60	70740	5,9	37	12,1	12	"
	6	3 spodaj	250 × 274 k		68500	3,1	12	4,6	4	"
	7	4 zgoraj	220 × 268 k	10	58960	13,9	54	19,7	18	"
	8	4 spodaj	220 × 230 k		50600	14,2	48	17,9	10	"
II.	9	5 zgoraj	190 × 230 k	20	43700	13,6	40	17,4	10	omejeno širjenje
	10	5 spodaj	195 × 200		39000	10,7	35	15,2	10	"
III.	11	6 zgoraj	167 × 200 k		33400	14,3	28	14	—	"
	12	6 spodaj	165 × 175		28875	13,9	35	17,5	12	"
IV.	13	7 zgoraj	135 × 175 k		23625	18,3	30	18,2	—	"
V.	14	7 spodaj	140 × 140		19600	20,3	35	20,0	5	"
	15	8 zgoraj	108 × 140 k		15120	22,8	32	22,8	—	"

»k« pomeni, da se ingot obrne (»kanta«)

Tabela 3 — Režim valjanja ingotov Si 1000 V in OKG 345 V

Da bi lahko ocenili velikost odvzemov in stiskov pri valjanju blokov na težki progi, moramo vzeti kot primerjavo režim valjanja iz literature. Tako navaja Bahtinov v knjigi »Prokatnoe proizvodstvo« za visokolegirana jekla, sledeče procentualne stiske za posamezne vtike:

vtik	stisk	$\frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100$ %	vtik	stisk	$\frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100$ %	vtik	stisk	$\frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100$ %
1	14		6	9.1		11	15.3	
2	9.3		7	9.7		12	16.6	
3	11.4		8	10.8		13	19.8	
4	10		9	19		14	14.7	
5	6.7		10	16.3		15	12.1	

Tabela 4 — % stiski po Bahtinovu

Iz primerjave obeh tabel vidimo, da so procentualni stiski na naši bločni trojki za visokolegirana jekla preveliki zlasti v začetku valjanja, kar lahko povzroča na bloku drobne razpoke, ali pa popolno raztrganje materiala. Precejšnji delež k temu pripomore še navaritev valjev na prvem kalibru.

Kaj se da pri obstoječi kalibraciji storiti? Pravzaprav je tu samo ena možnost: preiti pri visokolegiranih jeklih, ki so zelo občutljiva na stopnjo predelave, na format Si 650 V, kar pa bom razložil pozneje. Nekaj značilnosti sedanje kalibracije bi bilo:

1. Vsota stiskov prvega in drugega vtika mora znašati skupno 90 mm in je pogojena z višino prvega kalibra spodaj, ki ima velikost 250 mm. To bi se dalo popraviti samo s spremembo kalibracije, to je z zmanjšanjem premera srednjega in spodnjega valja.

2. Srednji in spodnji valj pa s svojima nazivnima premeroma 471 mm oziroma 454 mm in po-

vršinama Fsr — 1741 cm² ter Fsp — 1632 cm² predstavljata na I. kalibru najšibkejšje točke bločne trojke.

3. Navaritvi valjev se ne moremo izogniti, ker bi sicer obstajala nevarnost, da bi ingotov ne vlečlo med valje oziroma bi obtičal komad v kalibru da se samo zmanjšati.

4. Za razbitje livne strukture za nekatera občutljiva jekla bi morali uporabiti predhodno kovanje in kasnejše valjanje.

5. Procentualno so stiski zlasti v začetku previsoki, kar se negativno odraža na valjanem materialu.

6. Sedanja kalibracija je bila prirejena, ko se je prešlo na vliivanje 1000 kg ingotov zaradi večjih potreb po polfabrikatu. Prejšnje standardne ingote v teži 700—750 kg uporabljamo le še za valjanje $\varnothing$ 50 in $\varnothing$ 60 mm. S povečano težo ingota se je dvignila tudi proizvodnja težke proge.

7. S postavitvijo novega bloominga bodo zaradi možnosti reverziranja in lažje manipulacije z odvzemi odpadke navedene odplake.

Kako pa je z valjanjem ingotov formata Si 650 V? Kot primer navajamo valjanje šarže T 4463 kvalitete Prokron 11S, to je avtomatskega nerjavečega jekla, ki ima lastnosti trdih pokronov in avtomatskih jekel (valjanec se na koncu cepi in je pri prevlekih »pust«). Vsega smo naredili 12 vtikov in prekinili z valjanjem pri dimenziji 195 × 200 mm, ker so se na valjancu pokazale manjše natrganine. Plan vtikov je bil prirejen tako, da odvzemi do 10. vtika niso presegali vrednosti 10 %. Pa pogledjmo, kako je potekalo valjanje ingota s presekom 290 × 290 mm oziroma s presekom 84100 mm².

Kaliber	Št. vtika	Vtik	Dimenzija mm	Dvig zg. valja mm	F mm2	$\frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100$ %	Δh mm	$\frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100$ %	Δb mm	Opomba	
I.	1	1	zgoraj	270 × 295	60	79650	5.6	20	6.9	5	prosto širj.
	2	1	spodaj	250 × 300k		75000	5.8	20	7.4	5	prosto širj.
	3	2	zgoraj	280 × 255k	70	71400	4.8	20	6.6	5	prosto širj.
	4	2	spodaj	250 × 282k		70500	1.3	5	1.9	2	prosto širj.
	5	3	zgoraj	260 × 255	50	66300	5.9	22	7.8	5	prosto širj.
	6	3	spodaj	250 × 257		64250	3.1	10	3.9	2	prosto širj.
	7	4	zgoraj	230 × 262k	20	60260	6.2	20	8.0	5	prosto širj.
	8	4	spodaj	250 × 235		58750	2.5	12	5.2	5	prosto širj.
	9	5	zgoraj	230 × 240k	20	55200	6.0	20	8.0	5	prosto širj.
	10	5	spodaj	220 × 230k		50600	8.3	20	8.3		omejeno širj. prvi večji znaki raztrg.
II.	11	6	zgoraj	200 × 223k		44600	13.5	30	13	3	omejeno širj.
III.	12	6	spodaj	195 × 200k		39000	12.5	28	12.5		prekin. valj.
II.	13	7	zgoraj	170 × 200k		34000					plan vtikov.
III.	14	7	spodaj	195 × 175k		33125					ki pa ni bil izvršen
	15	8	zgoraj	167 × 180		30060					

»k« pomeni, da se ingot obrne (»kanta«)

Tabela 5 — Režim valjanja ingotov Si 650 V

Prvi vidnejši znaki raztrganin na valjancu kvalitete Prokron 11S so se pojavili po 10. vtiku, ker smo prišli v območje večjih odvzemov in relativno večjih stiskov. Vendar smo kljub temu naredili še dva vtika; napaka se nam je povečala in valjanje smo morali prekiniti.

Valjanec smo razrezali in poslali v obdelovalnico blokov. Valjanje je potekalo pri temperaturi 1100° C zaradi nevarnosti taljenja sulfidnega eutektika pri višjih temperaturah. Po 12. prevleku je znašala temperatura 920° C. Pri tem je treba poudariti, da je manipulacija z ingotom precej

daljša, ker se število obratov proge pri takem valjanju zmanjša s 75 na 40 obratov v minuti.

Skobljane brendarje (170 × 155 mm) smo ponovno založili v peč in zvaljali dva kosa pri višji temperaturi 1150° C, enega pa celo pri temperaturi 1220° C. Pri začetni temperaturi valjanja 1150° so se konci valjanca rahlo cepili, vendar natrganin na valjancu ni bilo. Pri kosu z višjo temperaturo pa nismo imeli ne natrganin niti cepljenja koncev.

Iz spodaj navedene tabele so razvidni vsi koeficienti valjanja:

Ogrodje	Kaliber	Vtik	Dimenzija mm	Dvig zg. valja	F[mm²]	$\frac{F_1 - F_2}{F_2} \cdot 100$ %	$\frac{\Delta h}{h_0}$ mm	$\frac{h_1 - h_2}{h_2} \cdot 100$ %	$\frac{\Delta b}{b_0}$ mm	Opomba
Bločna trojka	IV. 1	zgoraj	135 × 160k		21600	20	35	20.6	5	
	V. 1	spodaj	140 × 140		19600	9.3	20	12.5	5	
	2	zgoraj	103 × 140k		15120	23.4	32	22.8		
Cagelj trojka	I. 1	spodaj	120 × 120		14400	4.8	20	14.6	12	
	1	zgoraj	96 × 120		11520	19.3	24	20		
	II. 2	spodaj	100 × 100		10000	13.2	20	16.6	4	
	2	zgoraj	90 × 90	odp.						
	III. 3	spodaj	90 × 90		8100	19				
	3	zgoraj	80 × 80	odp.						
	IV. 4	spodaj	80 × 80		6400	21				
	4	zgoraj	70 × 70	odp.						
	V. 5	spodaj	70 × 70		4900	23.2				
	5	zgoraj	60 × 60	odp.						
	VI. 6	spodaj	60 × 60		3600	26.4				
	6	zgoraj	50 × 50	odp.						
	VII. 7	spodaj	50 × 50		2500	30.2				gotov polfabr.

»k« pomeni, da se ingot obrne (»kanta«)

Tabela 6 — Režim valjanja skobljanih brendarjev 170 × 155 mm

Iz zgoraj navedenega sledi:

1. da je s formatom Si 650 V možno doseči tak plan vtikov, da odvzemi in stiski ne presegajo vrednosti 10 %.

2. valjanje je treba prekiniti že mnogo prej, to je po 6. vtiku, ne glede na to, ali so se na valjancu pojavile natrganine ali ne. S tem omogočimo, da se kristalno zrno opomore.

3. stopnja predelave ne sme biti pri prvem valjanju večja od 1,6, kar izrazimo z razmerjem F začetni

F ob prekinitvi valjanja

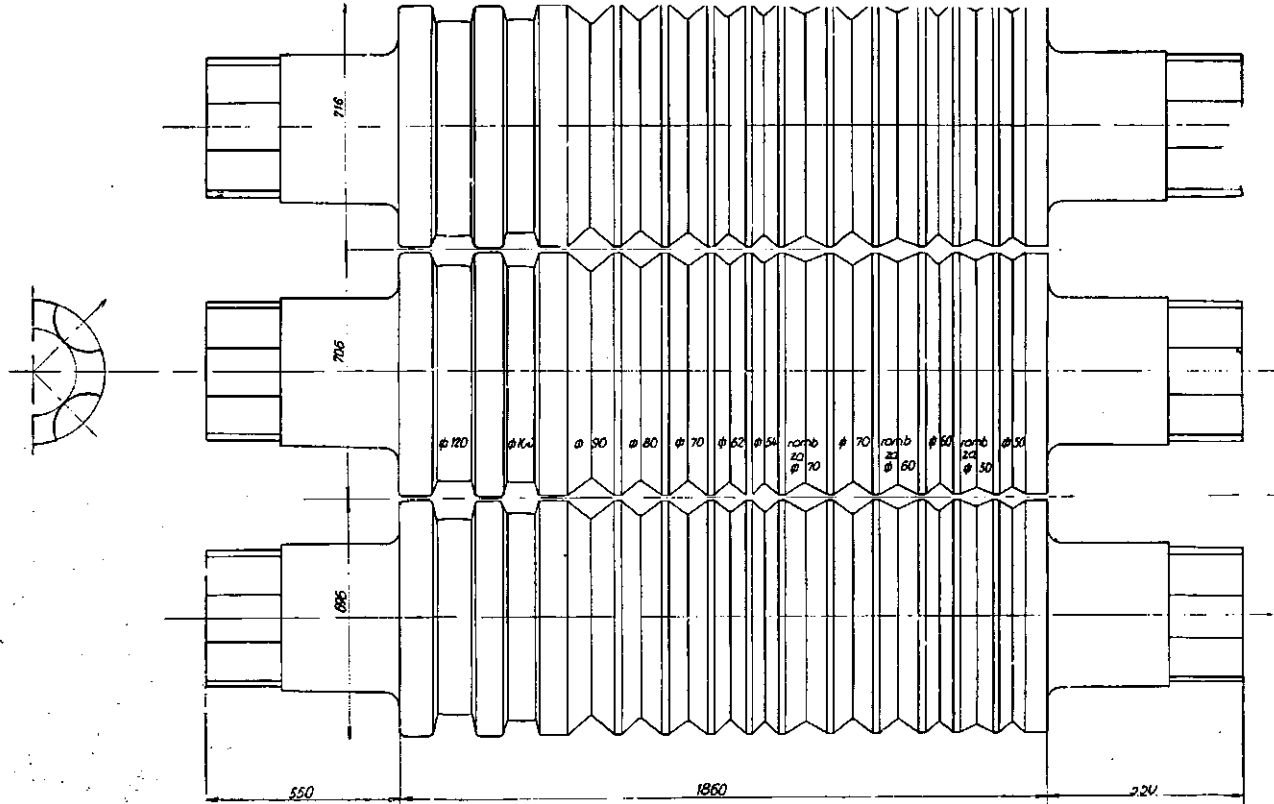
4. po skobljanju se valjanje lahko nadaljuje z odvzemi kot pri navadnih jeklih, temperatura se lahko poveča na vrednost preko 1200°.

5. treba je računati z manjšim izplenom zaradi valjanja v dveh vročinah in medfaznega skobljanja; ingoti naj se valjajo neobdelani!

6. na cagelj trojki naj se valja »po kalibrih« (kvadrat v kvadrat) in ne z romбом.

7. Samo optimalni pogoji vlivanja so lahko garant, da dobimo pravilno vlivno strukturo. Globolitska cona kristalov na površini ingota ne sme biti pretanka in tudi denditi ne smejo segati do površin; tako jeklo je ponavadi defektno.

Rezultati, ki smo jih dosegli s tem načinom valjanja, so skoraj zadovoljivi. Verjetno bo prevajanje edini način, da bomo material kvalitetno izvaljali. Z manjšimi stiski se skorajda ne da delati, ker je sicer nevarnost, da nam valjanec obtiči med valji. Preostane nam torej samo še, da pogledamo, kako je z valjanjem platin. Posamezne faktorje valjanja si zopet pogledjmo iz tabele za format Si 1000 V, s presekom 340 × 340 mm oziroma 115.600 mm².



Slika 2 — Cagelj trojka $\varnothing$ 700 mm

Kaliber	St. vtika	Vtik	Dimenzija mm	Dvig zg. valja mm	F mm ²	$\frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100$ %	Δh mm	$\frac{h_0 - h_1}{h_0}$ %	Δb mm	Opomba
I.	1	1	zgoraj	275 × 355	65	97625	15	65	19.1	15
	2	1	spodaj	250 × 367k		91750	5.5	25	9.1	12
	3	2	zgoraj	300 × 265k	90	79500	13	67	18.2	15
	4	2	spodaj	250 × 310		77500	2.5	15	5.7	10
	5	3	zgoraj	235 × 315	25	74025	4.5	15	6	5
	6	3	spodaj	235 × 315		74025				
	7	4	zgoraj	210 × 320	±0	67200	10.5	25	6.4	5
	8	4	spodaj	210 × 320		67200				jalov prevlek
VI.	9	5	zgoraj	170 × 325	100	55250	17.8	40	19	5
	10	5	spodaj	170 × 325		55250				jalov prevlek
VI.	11	6	zgoraj	140 × 328	70	45920	16.9	30	17.6	3
	12	6	spodaj	120 × 330		39600	13.7	20	16.6	2
	13	7	zgoraj	95 × 332	25	31540	20.4	25	20.8	2
	14	7	spodaj	95 × 332		31540				jalov prevlek
	15	8	zgoraj	70 × 335	±0	23450	25.6	25	26.2	3

Tabela 7 — Režim valjanja ingotov Si 1000 V

Primerjajmo sedaj režim valjanja v caglje na eni in v platinc na drugi strani. Tu problem valjanja ni nič manjši, če ni še večji.

1. Ingot izgubi svojo koniciteto po 2. kantanju, to je po tretjem vtiku. Procentualno največja stiska v prvih prevlekih 19.1 in 18.2 % veljata le za presek pri glavi in na bloku še ni opaziti znakov natrganin.

2. Kljub 4 jalovim prevlekom se ne moremo zaradi obstoječega načina kalibracije izogniti relativno visokemu stisku po 9. vtiku 19 % na stopnji. Ta vtik je najbolj problematičen, ker se deformacijska lastnost materiala zaradi nižje tempera-

ture že zmanjša in je navaritev zaradi uvlačenja materiala precej velika.

3. Srednji koeficient redukcije pri valjanju iz ingota na brendar 70 × 335 mm je naslednji:

$$\mu_{sr} = \sqrt[n]{\frac{F_0}{F_{br}}} = \sqrt[15]{\frac{115.600}{23.450}}$$

$$\mu_{sr} = 1,11$$

- n — število vtikov
- F_0 — površina preseka ingota
- F_{br} — površina preseka brendarja
- μ_{sr} — srednji koeficient odvzema

Srednji koeficient odvzema se nahaja preko zgornje meje, ki znaša za visokolegirana jekla 1.04—1.08 (po Zajcovu).

4. Pri valjanju kvalitete Prokron 11 Mo smo kljub dvakratnemu prevaljanju na 1. vtiku na stopnji zaradi velikega stiska in navaritve valjev dobili močne natrganine na valjancu.

5. Najbolj občutljive kvalitete bi se morale za tanko pločevino vlivati in valjati preko bram, ker je regulacija števila vtikov in posameznih odvzemov precej lažja.

S prikazom režima valjanja posameznih občutljivih kvalitet sem hotel opozoriti in pokazati, zakaj pri visoko legiranih kvalitetah dosegamo tako nizke izplene. Z rekonstrukcijo obstoječih valjarn in postavitvijo novega blooming ogrođja bo odpadla marsikatera zgoraj navedena napaka zaradi kalibracije, prav gotovo pa se bodo pojavili drugi problemi!

Literatura:

1. Bahtinov: Prokatnoe proizvodstvo II. del

Ing. Jože Jerala Ing. Jakob Soklič

DK 621.914

Izračun rezkarjev za izdelavo zobnikov po delilnem postopku

Poznanih je več načinov za obdelavo zobnikov, od katerih je najbolj razširjen kotalni postopek. Po tem postopku se obdelovanec kotali po odvalnem rezkarju, zobati letvi, pehalnem zobniku itd. Vsi ti kotalni postopki zagotavljajo veliko točnost obdelave in zajemajo skoraj vsa področja ozobljenja. Stroji za obdelavo zobnikov so zelo dragi in so ekonomični šele takrat, če je njihova kapaciteta polno izkoriščena. Poleg tega pa lahko orodje (odvalni modulni rezkarji, zobate letve) predstavljajo še večjo vrednost kot stroj sam. Odvalni rezkarji služijo za izdelavo zobnikov nekako do modula $m = 22$ mm. Zobnike z večjim modulom obdelujemo v praksi po delilnem postopku z modulnim kolutnim ali palčnim rezkarjem. Po delilnem postopku je obdelan vsak zob do konca, nakar se zavrti obdelovanec za delitev, ki je določena s številom zob. Obdelava po delilnem postopku je mogoča s palčnim rezkarjem na vertikalnem, s kolutnim modulnim rezkarjem pa na horizontalnem rezkalnem stroju. Kolutni rezkar ni uporaben v takem primeru, kjer je na razpolago premajhen iztek. V te namene bolje služi palčni rezkar, kar pride v poštev tudi pri puščicnem ozobljenju, ki pa seveda zahteva še dodatno obdelavo na stiku zob. Zaradi netočne in posamezne izdelave je uporaba kolutnih in palčnih rezkarjev omejena in pride v poštev samo za module nad $m = 10$ mm.

Slaba stran tega postopka je ta, da potrebuje mo celo vrsto posameznih rezkarjev in sicer za

različne module, ter za celotno področje števila zob obdelovanca. Vsak rezkar je izdelan za neki modul in za točno določeno število zob, vendar pa je uporaben še za izdelavo zobnikov, ki imajo lahko manjše ali pa večje število zob. Čim večje je odstopanje števila zob, tem večja je napaka pri obdelavi.

Naslednji matematični izračun je namenjen predvsem izdelavi palčnih rezkarjev in sicer za vsako število zob posebej, kar omogoča bolj točno obdelavo.

Izdelava kolutnih rezkarjev v našem podjetju ni mogoča zaradi dodatnih operacij (podstruženje zob rezkarja), medtem ko izdelava palčnega rezkarja ne predstavlja nobenih težav.

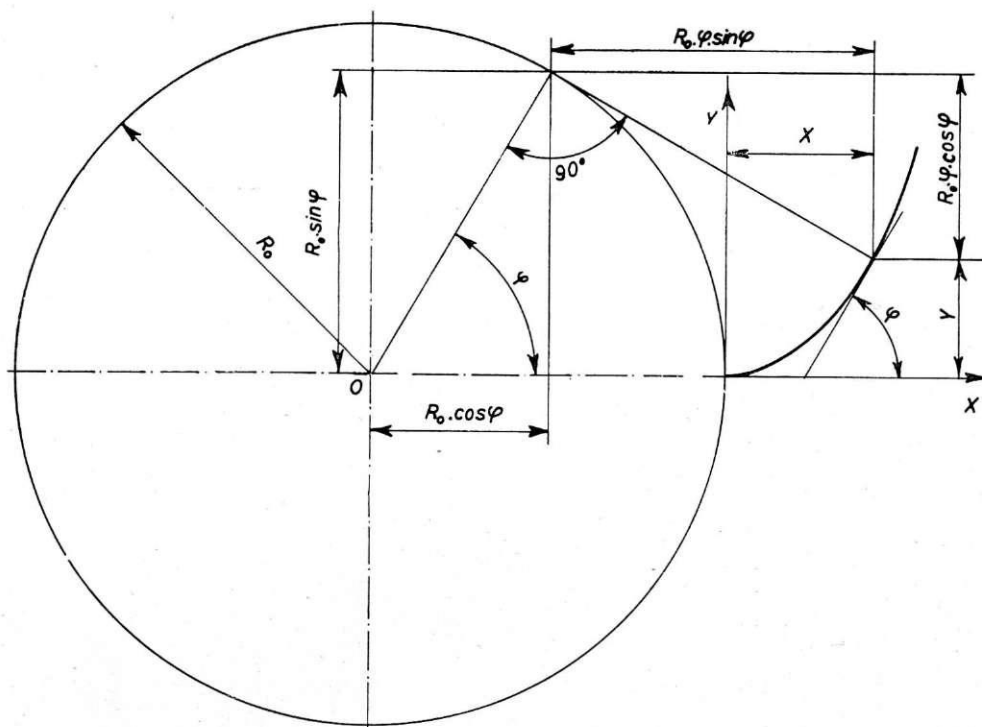
Izračun je prirejen za evolventno ozobljenje z normalnim številom zob ter z bočnim kotom $\alpha = 20^\circ$. Računski postopek je izveden tako, da preračunane koordinate evolvente vnašamo v šablono, po kateri izdelamo palčni rezkar.

Evolventa nastane z odvijanjem krožnega loka, kar prikazuje slika 1. Iz slike je razvidno, da so abscise in ordinate evolvente:

$$x = R_o (\cos \varphi + \varphi \cdot \sin \varphi - 1) \quad 1.$$

$$y = R_o (\sin \varphi - \varphi \cdot \cos \varphi) \quad 2.$$

V obeh obrazcih pomeni » R_o « polmer osnovnega kroga. Polmer tega kroga je polmer delilnega kroga pomnožen s kosinusom bočnega kota



Slika 1

$$R_o = R_t \cos \alpha = \frac{D_t}{2} \cdot \cos 20^\circ$$

$$R_o = 0,469845 \cdot D_t$$

Kot φ je v izrazih 1 in 2 podan v ločnih merah

$$\varphi = \frac{\varphi^0 \cdot \pi}{180} \quad 3.$$

Novi obliki obrazcev 1 in 2 sta:

$$x = 0,469845 \cdot D_t \cdot (\cos \varphi + \varphi \cdot \sin \varphi - 1)$$

$$y = 0,469845 \cdot D_t \cdot (\sin \varphi - \varphi \cdot \cos \varphi)$$

ali:

$$x = C_x \cdot D_t \quad 4.$$

$$y = C_y \cdot D_t \quad 5.$$

Koeficienti C_x in C_y za posamezne kote » φ « so nanizani v tabeli 1

φ	C_x	C_y
$2^\circ 30'$	0,000448	0,000010
5°	0,001784	0,000105
$7^\circ 30'$	0,004006	0,000353
10°	0,007103	0,000832
$12^\circ 30'$	0,011051	0,001617
15°	0,015829	0,002791
$17^\circ 30'$	0,021410	0,004419
20°	0,027758	0,006579
$22^\circ 30'$	0,034843	0,009337
25°	0,042620	0,012770
$27^\circ 30'$	0,051042	0,016920
30°	0,060060	0,021870
$32^\circ 30'$	0,069616	0,027670
35°	0,079654	0,034391
40°	0,100918	0,050741
45°	0,123322	0,071297

Tabela 1

Naklonski kot krivulje (evolvente) dobimo tako, da odvajamo izraza za absciso in ordinato:

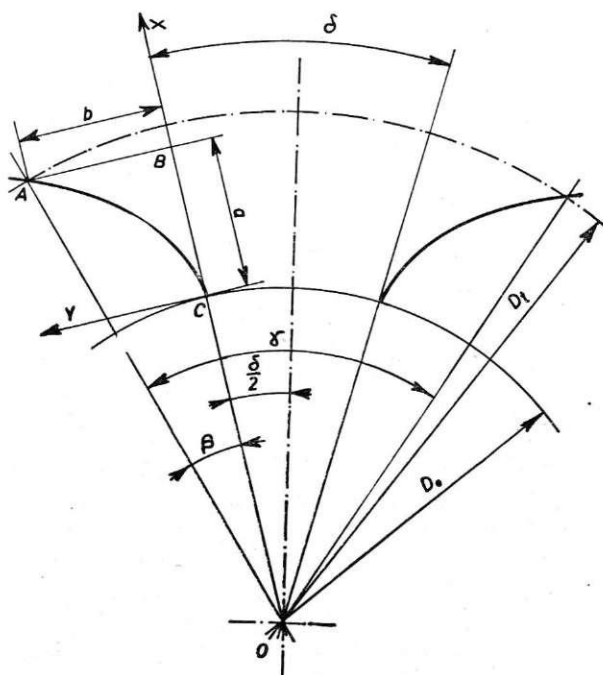
$$dy = \frac{D_t}{2} \cdot \cos \alpha \cdot \varphi \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi \quad 6.$$

$$dx = \frac{D_t}{2} \cdot \cos \alpha \cdot \varphi \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi \quad 7.$$

Iz česar sledi:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \operatorname{tg} \varphi \quad 8.$$

Kot tangente v poljubni točki krivulje je torej enak kotu φ . (glej sliko 1)



Slika 2

Na sliki 2 sta vrisani evolvenci, ki omejujeta vmesni prostor med zobmi. Razdalja presečišč delilnega kroga z evolvencama je pri normalnih zobnikih enaka polovici delitve:

$$\frac{t}{2} = \frac{D_t \cdot \pi}{2 \cdot z}$$

Kot γ je odvisen samo od števila zob in znaša:

$$\gamma = \frac{360}{2 \cdot z} = \frac{180}{z} \quad 9.$$

Abscisi obeh evolvent tvorita manjši kot δ :

$$\delta = \gamma - 2 \cdot \beta \quad 10.$$

Za izračun je potreben kot φ_t v točki, kjer evolventa preseka delilni krog. Za trikotnik OAB po sliki 2 velja:

$$\left(\frac{D_t}{2}\right)^2 = b^2 + \left(a + \frac{D_t}{2} \cdot \cos \alpha\right)^2 \quad 11.$$

»a« in »b« sta koordinati evolvente za kot φ_t :

$$a = \frac{D_t}{2} \cdot \cos \alpha (\cos \varphi_t + \varphi_t \cdot \sin \varphi_t - 1)$$

$$b = \frac{D_t}{2} \cdot \cos \alpha (\sin \varphi_t - \varphi_t \cdot \cos \varphi_t)$$

Z ustavitvijo vrednosti »a« in »b« v enačbo 11 dobimo:

$$1 = \cos^2 \alpha [(\sin \varphi_t - \varphi_t \cos \varphi_t)^2 + (\cos \varphi_t + \varphi_t \sin \varphi_t)^2]$$

$$\varphi_t^2 = \frac{1}{\cos^2 \alpha} - 1 = \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha}$$

$$\varphi_t = \tan \alpha \quad 12.$$

Za kot $\alpha = 20^\circ$ znaša $\varphi_t = 0,36397$ radianov ali $\varphi_t^0 = 20^\circ 51' 14,4''$

Dobljeni kot φ_t , vstavljen v obrazec za »a« in »b« daje rezultate:

$$a = 0,0640706 \cdot \frac{D_t}{2} \cdot \cos \alpha$$

$$b = 0,0157833 \cdot \frac{D_t}{2} \cdot \cos \alpha$$

Kot β izračunamo s pomočjo naslednjega razmerja:

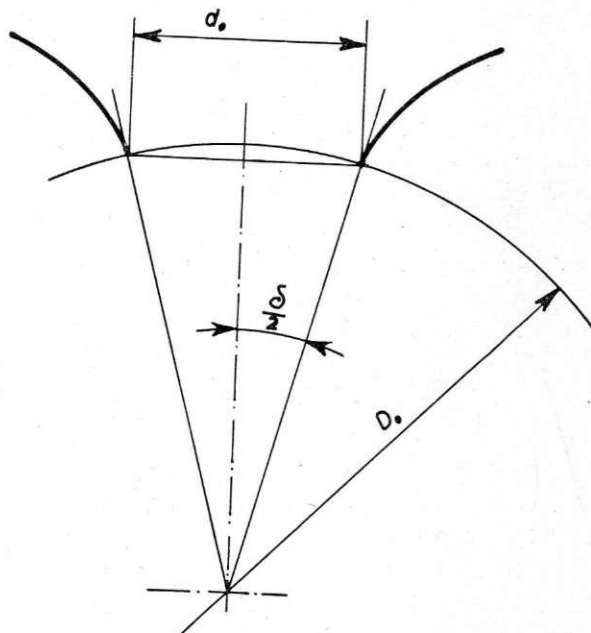
$$\sin \beta = \frac{b}{\frac{D_t}{2}} = \frac{2 \cdot b}{D_t} \quad 13.$$

$$\sin \beta = \frac{2 \cdot 0,0147213 \cdot \frac{D_t}{2} \cdot \cos \alpha}{D_t} = 0,015783 \cos 20^\circ$$

$$\sin \beta = 0,0148302$$

$$\beta = 50' 59''$$

Evolvenci sta na osnovnem krogu medsebojno oddaljeni za tetivo d_o . Po sliki 3 dobimo:



Slika 3

$$d_o = 2 \cdot \frac{D_o}{2} \cdot \sin \frac{\delta}{2}$$

ali:

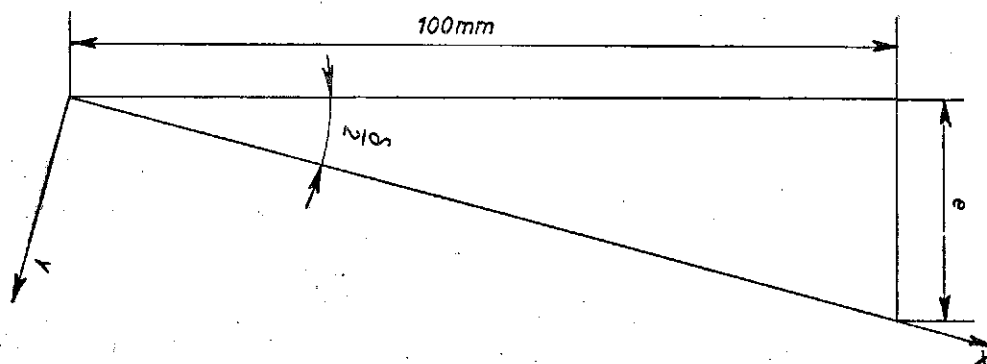
$$d_o = D_t \cdot \cos \alpha \cdot \sin \frac{\delta}{2} \quad 14.$$

V tabeli 2 so vpisani koti in posamezni faktorji, s katerimi množimo premer delilnega kroga, da dobimo tetivo »d_o« pri različnih številih zob.

Z	$\frac{\delta}{2}$	$d_o = C_o \cdot D_t$			15.
		c	C _o	C _h	C _v
12	6° 39' 1"	11,660	0,109094	0,069845	0,071665
13	6° 4' 25"	10,641	0,099421	0,062153	0,068787
14	5° 34' 44"	9,763	0,091349	0,055559	0,065987
15	5° 9' 1"	9,023	0,084350	0,049845	0,063160
16	4° 46' 31"	8,353	0,078224	0,044845	0,060383
17	4° 26' 40"	7,773	0,072816	0,040433	0,057689
18	4° 9' 1"	7,256	0,068006	0,036512	0,055130
19	3° 53' 4"	6,790	0,063656	0,033003	0,052658
20	3° 39' 1"	6,379	0,059826	0,029845	0,050372
21	3° 26' 10"	4,004	0,056319	0,026988	0,048184
22	3° 14' 29"	5,663	0,053130	0,024390	0,046116
23	3° 3' 35"	5,345	0,050156	0,022019	0,044109
24	2° 54' 1"	5,066	0,047540	0,019845	0,042315
25	2° 45' 1"	4,802	0,045088	0,017845	0,040579
26	2° 36' 43"	4,561	0,042822	0,015999	0,038937
27	2° 29' 1"	4,337	0,040619	0,014289	0,037379
28	2° 21' 52"	4,129	0,038793	0,012702	0,035931
29	2° 15' 13"	3,935	0,036950	0,011224	0,034508
30	2° 9' 1"	3,754	0,035257	0,009845	0,033187
31	2° 3' 13"	3,585	0,033673	0,008555	0,031933
32	1° 57' 46"	3,427	0,032183	0,007345	0,030736
33	1° 52' 39"	3,278	0,030787	0,006209	0,029601
34	1° 47' 50"	3,137	0,029474	0,005143	0,028521
35	1° 42' 18"	3,004	0,028231	0,004131	0,027487
36	1° 39' 1"	2,881	0,027062	0,003178	0,026506
37	1° 34' 58"	2,763	0,025955	0,002277	0,025567
38	1° 31' 7"	2,651	0,024903	0,001424	0,024667
39	1° 27' 29"	2,545	0,023910	0,000614	0,023811

Tabela 2

Konstrukcija kota $\frac{\delta}{2}$ je enostavna, če jo izvedemo s tangensom tega kota. Po sliki 4 nanašamo vrednosti »e« pravokotno na daljico, dolgo 100 mm.



Slika 4

$$\operatorname{tg} \frac{\delta}{2} = \frac{c}{100}$$

$$\text{in} \quad e = 100 \cdot \operatorname{tg} \frac{\delta}{2} \quad 16.$$

Vrednosti »e« za vse slučaje najdemo v tabelah 2 in 3.

Pod osnovnim krogom ima bok zoba obliko ravne ploskve in zato v prečnem prerezu predstavlja oba boka dve paralelni premici. Prehod iz teh premic na vznožni krog je zaokrožen s polmerom $r = 0,2 \cdot m$ (slika 5)

Na sliki 5 je točka »C« v koordinatnem sistemu začetek evolvente na osnovnem krogu. Koordinati točke »C« sta:

$$x_c = \frac{D_o}{2} \cdot \sin \frac{\delta}{2} = \frac{D_t \cdot \cos \alpha}{2} \cdot \sin \frac{\delta}{2} \quad 17/$$

$$y_c = \frac{D_o}{2} \cdot \cos \frac{\delta}{2} = \frac{D_t \cdot \cos \alpha}{2} \cdot \cos \frac{\delta}{2} \quad 18/$$

Podaljšek evolvente do vznožnega kroga je premica, ki oklepa z ordinato kot $\gamma = \frac{180}{z}$

Točko »D« na vznožnem krogu dobimo tako, da poiščemo presečišče premice z vznožnim krogom.

Višina »h« je razlika ordinat točke »C« in »D«:

$$h = y_c - y_D$$

Primer:

Zobnik ima 20 zob, modula $m = 10$ mm. Računamo višino »h«.

Premer delilnega kroga:

$$D_t = m \cdot z = 10 \cdot 20 = 200 \text{ mm}$$

Premer osnovnega kroga:

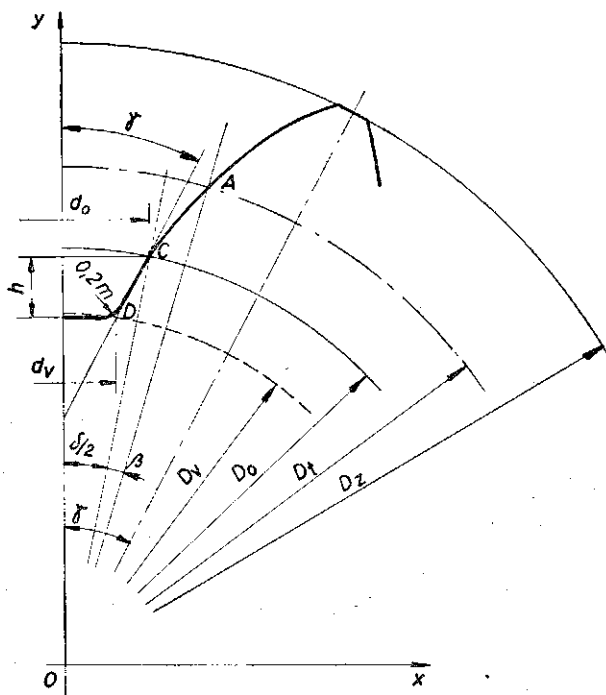
$$D_o = D_t \cdot \cos 20^\circ = 200 \cdot 0,93969$$

$$D_o = 187,938 \text{ mm}$$

Premer vznožnega kroga:

$$D_v = D_t - 2,4 \cdot m = 200 - 2,4 \cdot 10$$

$$D_v = 176 \text{ mm}$$



Slika 5

Enačba vznožnega kroga je:

$$x^2 + y^2 = \left(\frac{D_v}{2}\right)^2$$

$$x^2 + y^2 = 7744$$

Kot $\frac{\delta}{2}$ za $z = 20$ znaša:

$$\frac{\delta}{2} = \frac{90^\circ}{20} - \beta = \frac{90^\circ}{20} - 50' 59'' = 3^\circ 39' 1''$$

Koordinati točke »C« sta:

$$x_c = 100 \cdot 0,93969 \cdot 0,06367 = 5,983 \text{ mm}$$

$$y_c = 100 \cdot 0,93969 \cdot 0,99798 = 93,780 \text{ mm}$$

Smerni koeficient premice CD:

$$k = \operatorname{tg} (90^\circ - \gamma) = \operatorname{ctg} \gamma$$

$$k = \operatorname{ctg} \frac{180^\circ}{20} = \operatorname{ctg} 9^\circ = 6,3138 \quad (21)$$

in točka »C« dajeta enačbo premice:

$$y = 6,3138 \cdot x + 56,005$$

Če vstavimo to enačbo premice v enačbo vznožnega kroga, dobimo:

$$x^2 + (6,3138 \cdot x + 56,005)^2 = 7744$$

$$40,864 \cdot x^2 + 707,209 \cdot x - 4607,440$$

$$x_D = 5,04475 \text{ mm}$$

in

$$y_D = 87,856 \text{ mm}$$

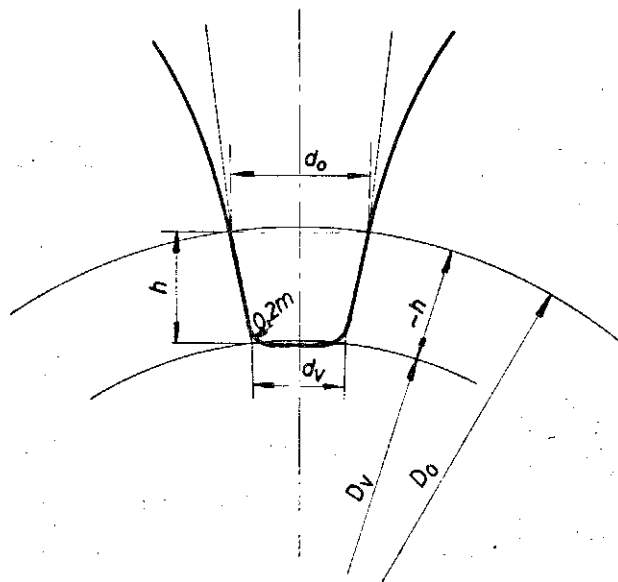
23)

Višina »h« znaša:

$$h = y_c - y_D = 93,780 - 87,856 = 5,924 \text{ mm}$$

Približna višina »h« je razlika osnovnega in vznožnega polmera

$$h = \frac{D_o}{2} - \frac{D_v}{2}$$



Slika 6

$$h = \frac{D_t \cdot \cos 20^\circ}{2} - \frac{D_t - 2,4 \cdot m}{2} \quad (24)$$

$$h = \frac{D_t \cdot 0,93969 - D_t + 2,4 \cdot m}{2}$$

$$h = \frac{2,4 \text{ m} - 0,06031 \cdot D_t}{2}$$

$$h = 1,2 \cdot m - 0,030155 \cdot D_t = m \cdot (1,2 - 0,030155 \cdot z)$$

V navedenem primeru velja:

$$h = 10 \cdot (1,2 - 0,030155 \cdot 20) = 5,969 \text{ mm}$$

Razlika je malenkostna, saj znaša le:

$$5,969 - 5,924 = 0,045 \text{ mm}$$

Zaradi tega približen izračun višine »h« zadošča potrebam v praksi. Ko pri nekem številu zob »z« dobi drugi faktor v končni obliki enačbe za višino »h« (enačba 24) vrednost 0, sta vnožni in osnovni krog enaka.

$$1,2 - 0,030155 \cdot z = 0$$

$$z = \frac{1,2}{0,030155} = 39,8 \text{ zob}$$

25)

Če je število zob $z \leq 39$, je vznožni krog manjši od osnovnega; če pa je $z \geq 40$, je vznožni krog večji kakor osnovni. Za zobnike z manjšim številom zob ($z \leq 39$) računamo višino »h« po obrazcu:

$$h = 1,2 \cdot m - 0,030155 \cdot D_t = 1,2 \cdot \frac{D_t}{z} - 0,030155 \cdot D_t$$

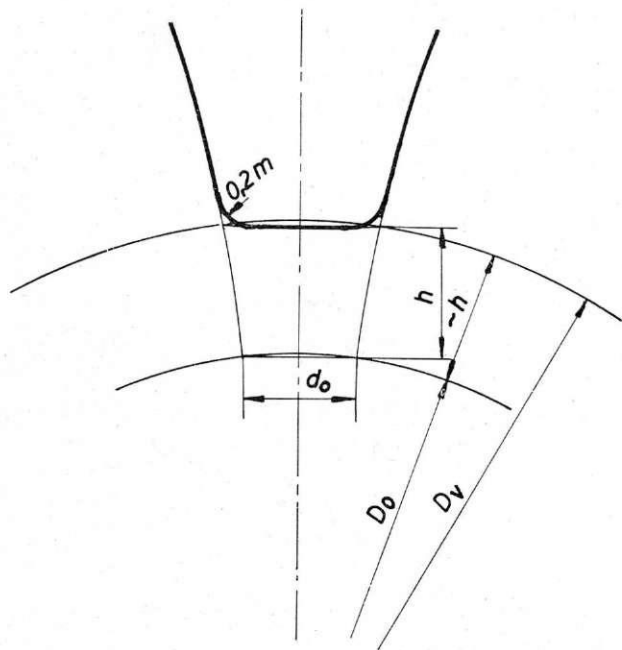
$$h = D_t \cdot \left(\frac{1,2}{z} - 0,030155 \right) = C_h \cdot D_t \quad (26)$$

Profil rezkarja na vznožnem krogu nima oblike krožnega loka, temveč ima obliko tetive. Razlika krožnega loka in tetive je tako majhna, da jo praktično lahko zanemarimo. Dolžina tetive na vznožnem krogu je:

$$\begin{aligned} d_v &= d_o - 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \gamma \\ d_v &= C_o \cdot D_t - 2 \cdot C_h \cdot D_t \cdot \operatorname{tg} \gamma = D_t (C_o - 2 \cdot C_h \cdot \operatorname{tg} \gamma) \\ d_v &= C_v \cdot D_t \end{aligned} \quad (27)$$

Vrednosti $\frac{\delta}{2}$, C_o , C_h in C_v v odvisnosti od števila zob z so vpisane za zobnike od števila zob $z = 39$ v tabeli 2.

Pri zobnikih z večjim številom zob ($z = 40$) računamo tetivo na osnovnem krogu na isti način, kot pri zobnikih z manjšim številom zob; višino »h« pa po sliki 7:



Slika 7

$$h = \frac{D_v - D_o}{2} = \frac{D_t - 2,4 \cdot m - D_t \cdot \cos 20^\circ}{2}$$

$$h = \frac{D_t - 0,93969 \cdot D_t - 2,4 \cdot m}{2}$$

$$= 0,030155 \cdot D_t - 1,2 \cdot m$$

$$h = 0,030155 \cdot D_t - 1,2 \cdot \frac{D_t}{z} = D_t \cdot \left(0,030155 - \frac{1,2}{z} \right)$$

$$h = C_h \cdot D_t \quad (28)$$

V tabeli 3 so nanizane vrednosti $\frac{\delta}{2}$, e , C_o in C_h v odvisnosti od števila zob.

z	$\frac{\delta}{2}$	e	C_o	C_h
40	1° 24' 1"	2,444	0,022963	0,000155
41	1° 20' 44"	2,348	0,022065	0,000887
42	1° 17' 36"	2,257	0,021210	0,001584
43	1° 14' 36"	2,170	0,020390	0,002248
44	1° 11' 45"	2,087	0,019611	0,002882
45	1° 9' 1"	2,007	0,018864	0,003488
46	1° 6' 25"	1,932	0,018153	0,004068
47	1° 3' 55"	1,859	0,017470	0,004624
48	1° 1' 31"	1,789	0,016814	0,005165
49	59' 13"	1,722	0,016185	0,005665
50	57' 26"	1,658	0,015584	0,006155
51	54' 54"	1,596	0,015006	0,006626
52	52' 52"	1,537	0,014451	0,007078
53	50' 54"	1,480	0,013913	0,007513
54	49' 1"	1,425	0,013398	0,007933
55	47' 12"	1,372	0,012902	0,008337
56	45' 27"	1,321	0,012423	0,008726
57	43' 45"	1,272	0,011859	0,009102
58	42' 7"	1,224	0,011512	0,009465
59	40' 33"	1,179	0,011084	0,009816
60	39' 1"	1,134	0,010665	0,010155
61	37' 33"	1,092	0,010164	0,010483
62	36' 7"	1,050	0,009872	0,010800
63	35' 44"	1,010	0,009494	0,011107
64	33' 24"	0,971	0,009130	0,011405
65	32' 6"	0,933	0,008774	0,011693
66	30' 50"	0,896	0,008328	0,011973
67	29' 37"	0,861	0,008095	0,012245
68	28' 26"	0,827	0,007772	0,012508
69	27' 17"	0,793	0,007458	0,012764
70	26' 10"	0,761	0,007153	0,013012
71	25' 5"	0,729	0,006856	0,013254
72	24' 1"	0,698	0,006565	0,013488
73	22' 59"	0,668	0,006282	0,013717
74	22' 0"	0,639	0,006014	0,013939
75	21' 1"	0,611	0,005745	0,014155
76	20' 4"	0,583	0,005485	0,014366
77	19' 9"	0,556	0,005235	0,014571
78	18' 15"	0,530	0,004988	0,014771
79	17' 23"	0,505	0,004752	0,014965
80	16' 31"	0,480	0,004515	0,015155
81	15' 41"	0,456	0,004287	0,015340
82	14' 52"	0,432	0,004064	0,015521
83	14' 5"	0,409	0,003850	0,015697
84	13' 18"	0,386	0,003635	0,015869
85	12' 33"	0,364	0,003431	0,016037
86	11' 49"	0,343	0,003230	0,016202
87	11' 5"	0,322	0,003030	0,016362
88	10' 23"	0,301	0,002838	0,016519
89	9' 42"	0,282	0,002651	0,016672
90	9' 1"	0,262	0,002465	0,016822
91	8' 22"	0,243	0,002287	0,016968
92	7' 43"	0,224	0,002109	0,017112
93	7' 5"	0,205	0,001936	0,017252
94	6' 28"	0,187	0,001768	0,017389
95	5' 52"	0,170	0,001604	0,017523

Z	$\frac{\delta}{2}$	e	C_o	C_h
96	5' 16"	0,153	0,001440	0,017655
97	4' 41"	0,136	0,001280	0,017784
98	4' 7"	0,119	0,001125	0,017910
99	3' 34"	0,103	0,000975	0,018034
100	3' 1"	0,087	0,000825	0,018155
101	2' 29"	0,072	0,000679	0,018274
102	1' 58"	0,057	0,000537	0,018390
103	1' 27"	0,041	0,000396	0,018505
104	56"	0,027	0,000255	0,018617
105	27"	0,012	0,000123	0,018726
106	— 2"	— 0,002	— 0,000009	0,018834
107	— 31"	— 0,016	— 0,000141	0,018940
108	— 59"	— 0,029	— 0,000269	0,019044
109	— 1' 27"	— 0,043	— 0,000396	0,019146
110	— 1' 54"	— 0,056	— 0,000519	0,019246
111	— 2' 20"	— 0,068	— 0,000638	0,019344
112	— 2' 46"	— 0,081	— 0,000756	0,019441
113	— 3' 12"	— 0,094	— 0,000875	0,019536
114	— 3' 37"	— 0,106	— 0,000989	0,019629
115	— 4' 2"	— 0,118	— 0,001099	0,019720
116	— 4' 26"	— 0,130	— 0,001212	0,019810
117	— 4' 50"	— 0,141	— 0,001321	0,019899
118	— 5' 13"	— 0,152	— 0,001426	0,019985
119	— 5' 37"	— 0,164	— 0,001535	0,020071
120	— 5' 59"	— 0,175	— 0,001636	0,020155

Tabela 3

V isti tabeli vidimo, da je kot $\frac{\delta}{2}$ za $z \geq 106$ negativen. To je zaradi tega, ker je v izrazu 10 drugi člen večji kot prvi člen.

Ko je $\frac{180}{2} - 2\beta - 0$, znaša število zob ($50' 59'' = 0,84977^\circ$):

$$z = \frac{90^\circ}{\beta} = \frac{90^\circ}{0,84977} = 105,9$$

Iz tega sklepamo, da se abscise koordinatnih sistemov, v katerih sta vrisani krivulji evolventi, nekje nad osnovnim krogom sekata. Zato imajo tudi vrednosti »e« negativen predznak.

Računanje tetive na vznožnem krogu ni potrebno, ker njeno dolžino dobimo tako, da vzporednica s tetivo na osnovnem krogu preseka v razdalji »h« obe evolventi. Prehod iz evolvente na vznožni krog oziroma na tetivo vznožnega kroga je tudi pri teh zobnikih zaokrožen z radijem $r = 0,2 \text{ m}$.

Primer izračuna rezkarja za zobnik s številom zob $z = 15$ in modulom $m = 20 \text{ mm}$.

Primer delilnega kroga:

$$D_t = m \cdot z = 15 \cdot 20 = 300 \text{ mm}$$

Primer vznožnega kroga:

$$D_v = D_t - 2,4 \cdot m = 300 - 2,4 \cdot 20 = 252 \text{ mm}$$

Primer osnovnega kroga:

$$D_o = D_t \cdot \cos 20^\circ = 300 \cdot 0,93969 = 281,907 \text{ mm}$$

Iz tabele 2 dobimo vrednosti za $\frac{\delta}{2}$, e, C_o , C_h in

C_v za zobnik s 15 zobmi.

$$\frac{\delta}{2} = 5^\circ 9' 1''$$

$$e = 9,023 \text{ mm}$$

$$C_o = 0,08435$$

$$C_h = 0,049845$$

$$C_v = 0,06316$$

Izračun tetive na osnovnem krogu:

$$d_o = C_o \cdot D_t = 0,08435 \cdot 300 = 25,305 \text{ mm}$$

Izračun tetive na vznožnem krogu:

$$d_v = C_v \cdot D_t = 0,06316 \cdot 300 = 18,948 \text{ mm}$$

Izračun medsebojne razdalje obeh tetiv:

$$h = C_h \cdot D_t = 0,049845 \cdot 300 = 14,9535 \text{ mm}$$

Določitev celotne višine rezkarja:

$$H = 2,3 \cdot m = 2,3 \cdot 20 = 46 \text{ mm}$$

Izračunana višina zob je $2,2 \cdot m$, kot dodatek pa vzamemo še $0,1 \cdot m$.

Izračun koordinat X in Y (po tabeli 1):

$$X = C_x \cdot D_t$$

$$Y = C_y \cdot D_t$$

ϕ	X	Y
2° 30'	0,1344	0,0030
5°	0,5352	0,0315
7° 30'	1,2018	0,1059
10°	2,1309	0,2496
12° 30'	3,3153	0,4851
15°	4,7487	0,8373
17° 30'	6,4230	1,3257
20°	8,3274	1,9737
22° 30'	10,4529	2,8011
25°	12,7860	3,8310
27° 30'	15,3126	5,0760
30°	18,0180	6,5610
32° 30'	20,8848	8,3010
35°	23,8962	10,3173
40°	30,2754	15,2223
45°	36,9966	21,3891

Primer izračuna rezkarja za zobnik s številom zob $z = 100$ in modulom $m = 20 \text{ mm}$

Primer delilnega kroga:

$$D_t = m \cdot z = 20 \cdot 100 = 2000 \text{ mm}$$

Primer vznožnega kroga:

$$D_v = D_t - 2,4 \cdot m = 2000 - 2,4 \cdot 20 = 1952 \text{ mm}$$

Primer osnovnega kroga:

$$D_o = D_t \cdot \cos 20^\circ = 2000 \cdot 0,93969 = 1879,38 \text{ mm}$$

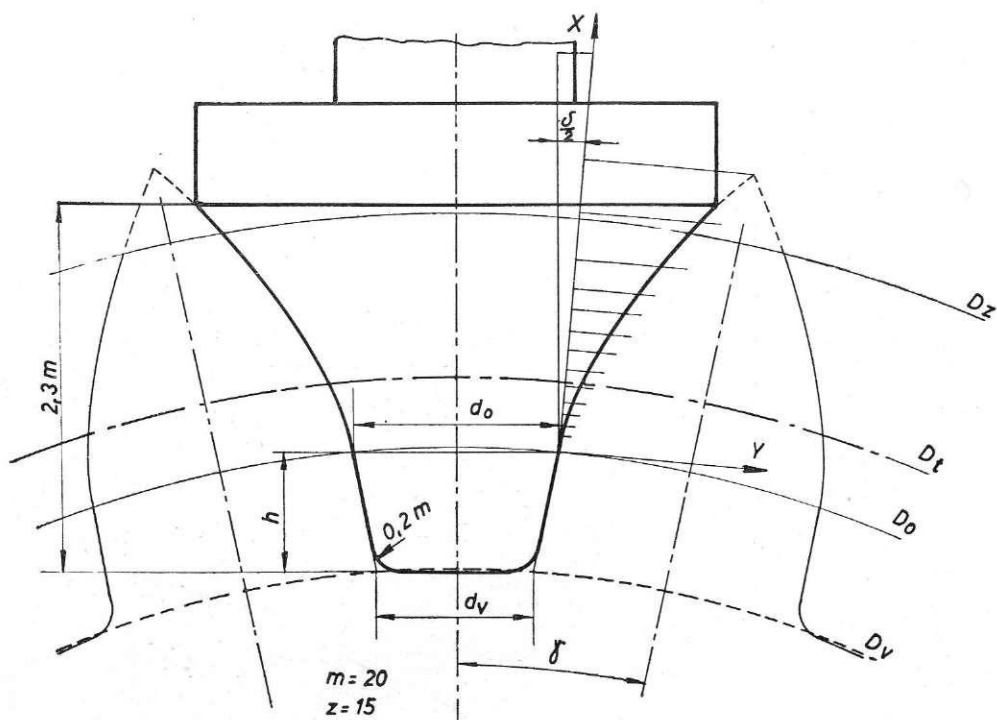
Iz tabele 3 dobimo vrednosti za $\frac{\delta}{2}$, e, C_o in C_h za zobnik s 100 zobmi:

$$\frac{\delta}{2} = 3' 1''$$

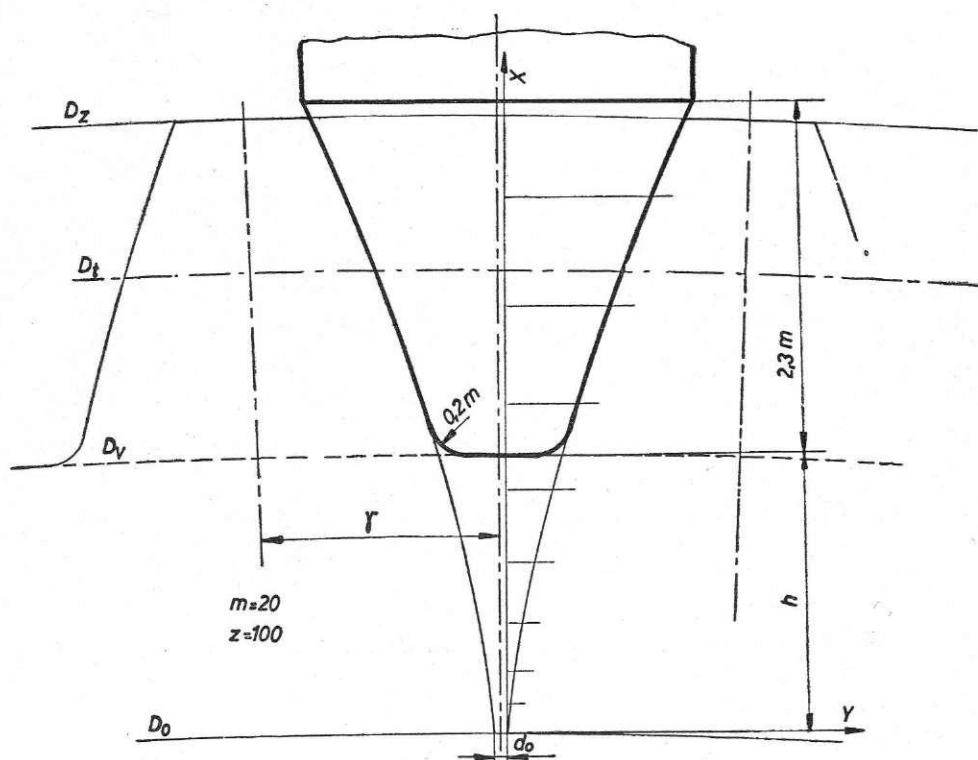
$$e = 0,087 \text{ mm}$$

$$C_o = 0,000825$$

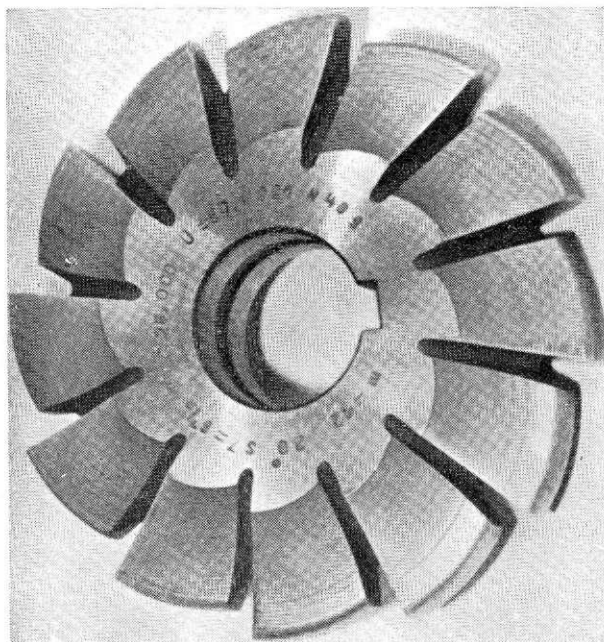
$$C_h = 0,018155$$



Slika 8



Slika 9



Slika 10

Izračun tetive na osnovnem krogu:

$$d_o = C_o \cdot D_t = 0,000825 \cdot 2000 = 1,65 \text{ mm}$$

Izračun medsebojne razdalje tetiv na osnovnem in vnožnem krogu:

$$h = C_h \cdot D_t = 0,018155 \cdot 2000 = 36,31 \text{ mm}$$

Določitev višine rezkarja:

$$H = 2,3 \cdot m = 2,3 \cdot 20 = 46 \text{ mm}$$

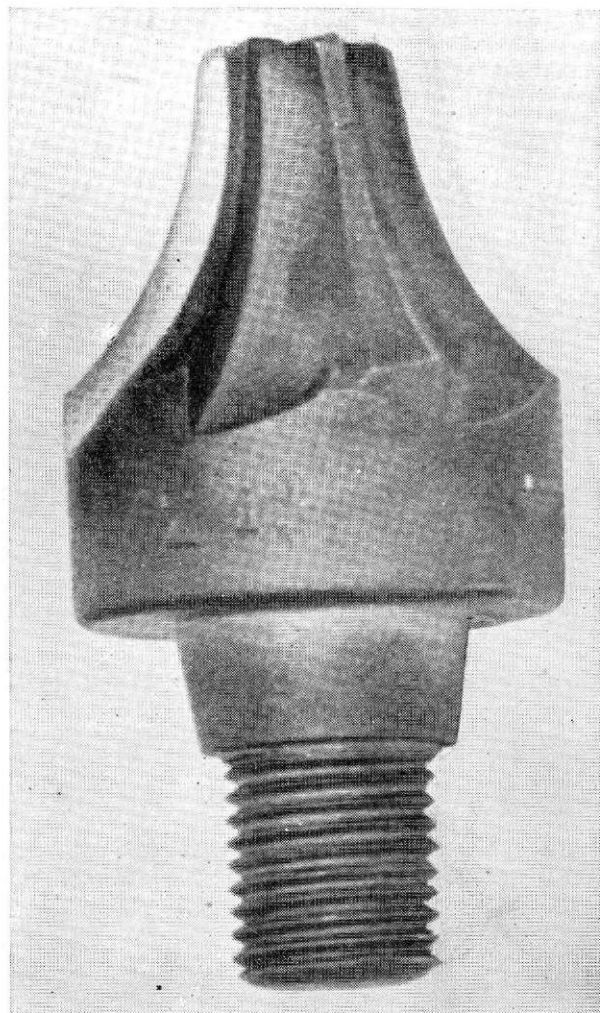
Izračun koordinat x in y za konstrukcijo evolvente ozobljenja.

$$X = C_x \cdot D_t$$

$$Y = C_y \cdot D_t$$

φ	X	Y
2° 30'	0,896	0,020
5°	1,568	0,210
7° 30'	8,012	0,706
10°	14,206	1,664
12° 30'	22,102	3,234
15°	31,658	5,582
17° 30'	42,820	8,838
20°	55,516	13,158
22° 30'	69,686	18,674
25°	85,240	25,540
27° 30'	102,084	33,840

Oba primera sta na sliki 8 in na sliki 9. Poslednji dve sliki (10 in 11) prikazujeta kolutni in palčni rezkar. Čeprav je naveden postopek uporaben za določanje oblik kolutnih in palčnih rezkarjev, pride pri nas v poštev le za izdelavo zadnjih, kar je omenjeno že v uvodu.



Slika 11

Studor v luči antičnega železarstva

Uvodna beseda

Naloga Tehniškega železarskega muzeja Železarne Jesenice je zbiranje in proučevanje gradiva, ki je v zvezi z železarstvom. Člani te ustanove smo zadolženi, da javnost približe seznanimo o najdbah in dognanjih, obenem pa podkrepimo našo dejavnost pri študiju železarstva na Gorenjskem.

Jeseniški železarji smo lahko ponosni na stare železarske tradicije in da živimo na zemlji, ki je dala železo med prvimi v Evropi. Železo je tista dobrina, od katere še danes živimo in ustvarjamo svojo bodočnost.

Posebna pozornost velja Bohinju — biseru Gorenjske, ki je obenem tudi zibel železarstva in ponos naše železarske zgodovine. Če je bil Bohinj znan zaradi Morlotovih odkritij na Ajdovskem gradu leta 1849 v cesarstvu Avstro-Ogrske, je naša dolžnost, da našim in tujim narodom prikažemo še starejšo železarsko posejanko kot sta Ajdovski gradec in Dunaj pri Jereki, — to je Studor. Ta kraj naj bo naš ponos in učilnica železarske umetnosti iz antične preteklosti.

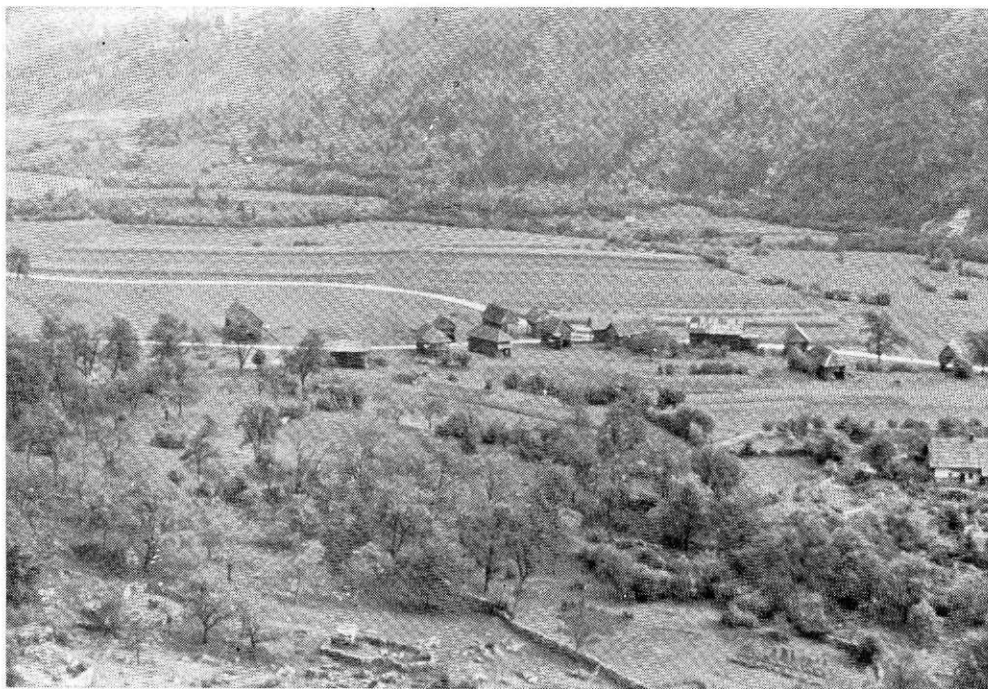
V Zgornji bohinjski dolini med Staro Fužino in Srednjo vasjo je vas Studor, ki se razprostira pod mogočnim plazom navpičnih sten istoimenske gore. Prebivalci nazivajo svojo vas St'dor. V listinah iz prejšnjih stoletij zasledimo ime »Studvor« ozir. »Stu-dvorov«. V času avstro-ogrske in nemške okupacije se je Studoar imenoval Studorf.

Studor, ki leži v zgornji dolini, ima lepo sončno lego, obenem pa tudi najbolj vetrovno mesto od vseh drugih bohinjskih vasi. Čez dan pihajo vetrovi od Bohinjskega jezera, ponoči pa preko strmin znani »nočnik« z gora Julijskih Alp. Zaradi stalnih in močnih vetrov je podnožje vasi, kjer so njive in pašniki s smeri Stara Fužina, ograjeno in zaščiteno s kamenitimi ograjami.

Že samo ime Studor nam je nejasno in zanj nikjer ne najdemo razlage. V Bohinju so trije Studorji: gora Studor, ki se razprostira od Mostnice do vasi Studor in Studor v Fužinarski planoti med Ovčarijo, Viševnikom in Črnim jezerom. Do leta 1959 nam je bila vas Studor s svojo okolico popolnoma nepoznana, predvsem v smislu njene preteklosti. Sele kameniti artefakti, debela groboznata



Slika 1 — Studor z Zgornjo bohinjsko dolino



Slika 2 — Podnožje Studorja s kamenitimi ograjami — vetrobrani

hallstatttska keramika, srebrni gumb z gravuro konja, koralde, železne žlindre, pečne obloge, razne vrste neobdelanega železa in železni hlebček (volk) so bili povod za našo pozornost do zgodovine Studorja.



Slika 3 — Srebrni gumb

Posebnost za naš Tehniški železarski muzej so bili predmeti, ki so v zvezi z železarstvom in teren, kjer so stari mojstri pridobivali dragoceno železo. Še danes so nad vasjo dobro vidna mesta na Pro-

dovju in Rajni, kjer so v preteklosti delovale številne peči. Po številnih nahajališčih žlindre bi presodili, da je bilo železarstvo močno zastopano, a skoraj povsem odvisno od močnih vetrov. Severni predel je služil za dovažanje železnih rud in lesnega oglja iz višjih predelov nad Studorjem.

Čeprav o Studorju nimamo ničesar pisanega, smo z nabranimi vzorci in poskusi prišli do pomembnih ugotovitev v pogledu tehnike železarstva. Tam naj bi bili prvi zametki železarstva v Južnem Noriku in obenem prva železarska postojanka v Bohinju.

Železo je bila tista dobrina, ki je oblikovala kulturo in materialno življenje alpskih prebivalcev. Od Hallstatta, La Tène in vse do konca rimskega cesarstva naj bi Studorci talili in kovali železo ter jeklo. Železa in jekla niso pridobivali samo za lastne potrebe, temveč so ga pretovarjali preko gora in dolin v italške in noriške pokrajine. Tako so nastajale dobro izhojene trgovske poti ter zveze z antičnim svetom.

Človek tedanje dobe je dajal železu prednost pred bronom ter mu pripisoval večjo vrednost. Zgodovinarji pravijo, da je zaradi železa nastala sprememba celo v načinu vojskovanja in človeški družbi. Med Iliri, ki jim pripada stara železna doba, se je formirala plemenska aristokracija in sloj profesionalnih bojevnikov.

V starejši kot v mlajši železni dobi je bil bohinjski železar varen pred vsakimi napadi tako s severa kot z juga. Drugače pa je bilo z ostalo Gorenjsko, predvsem po 16. letu n. št., ko so Rimljani okupirali noriško kraljestvo. Ves čas okupacije do 380. leta ko je propadel »zid na Alpah« in

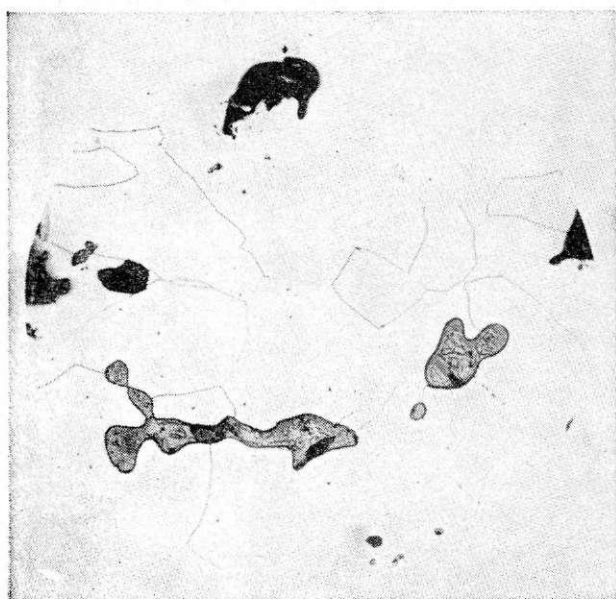
še nekaj časa potem, življenje v Bohinju ni bilo moteno. Poleg Studorja sta obratovala še Dunaj pri Jereki in Ajdovski gradec. Od primitivnih vetrnih peči se je železarstvo povzpelo do peči, ki so bile večje in opremljene z mehovi na ročni ozir. nožni pogon. Prišel pa je tudi konec treh železnih dob. Konec cvetočemu železarstvu v Bohinju so norda napravili skozenj prodirajoči Avari.

Nismo našli v Studorju železnih predmetov, zato nam ni mogoče govoriti o velikosti in spretosti kovaških rok. Našli smo nekaj primerov še neobdelanega železa, ki smo ga kemično in metalografsko preiskali. Rezultati preiskav so razvidni iz tabele in metalografskega opisa.

TABELA ŽELEZ IN JEKEL IZ STUDORJA

Št. vzorca	Kemična sestava						Metalografska klasifikacija	Vrsta in lastnost
	C	Si	Mn	P	S	Ti		
1	0,02	0,07	0,01	0,028	0,018	0,03	feritno	kovna železa
2	0,03	0,02	0,42	0,043	0,097	0,01	feritno	
3	0,04	0,02	0,01	0,050	0,017	0,02	feritno perlitno	
4	0,03	0,07	0,41	0,035	0,106	0,05	feritno perlitno	nizko ogljična jekla - se dobro kujejo, se ne dajo kaliti
5	0,10	0,31	0,40	0,015	0,047	0,03	feritno perlitno	
6	0,40	0,26	0,12	0,215	0,040	0,08	feritno perlitno	

Vzorec št. 1 ima popolnoma feritno strukturo z izredno nizko koncentracijo ogljika, ki mora biti topen že v feritu. Ni izključena možnost, da predstavlja vzorec primer čistega železa. V strukturi zasledimo večje vključke žlindre.



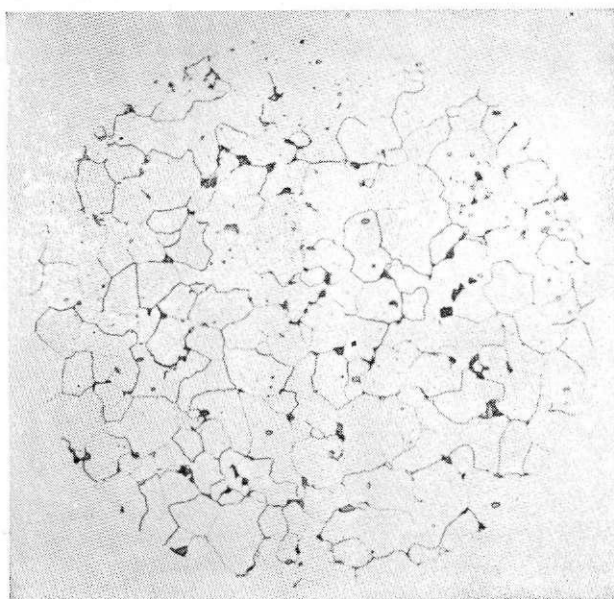
Slika 4 — Mikrostruktura vzorca št. 1

Vzorec št. 2 predstavlja primer čistega železa s feritno strukturo. Po kristalnih mejah, kakor tudi po kristalih samih, zasledimo gosto posejane žlindre vključke.

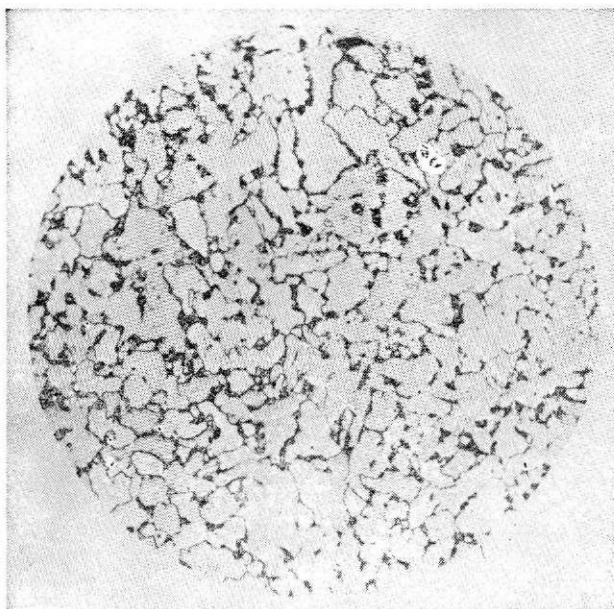
Vzorec št. 3 predstavlja primer nizkoogljičnega jekla s feritno strukturo. Po kristalnih mejah zasledimo mala področja lamelnarnega perlita. Jeklo je močno onečiščeno z vključki žlindre. Vzorec ima močne ogljikove izceje, ki dosežejo na določenih mestih koncentracijo evtektoida.

Vzorec št. 4 je primer nizkoogljičnega jekla s feritno perlitno strukturo, slika a. Na eni izmed površin se opazi močno naogljčenje, ki doseže stopnjo evtektoida, slika b. Z ozirom na to, ker je površina naogljčenega dela delno razogljčena, dopušča le malo verjetnosti, da bi bilo naogljčenje posledica površinskega naogljčenja materiala.

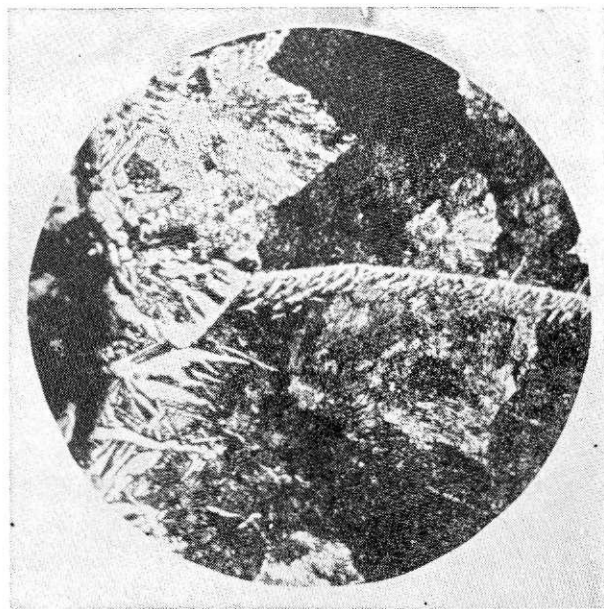
Vzorec št. 5 predstavlja strukturo podevtektoidnega jekla s poligonalnimi perlitnimi področji, na nekaterih mestih zasledimo po mejah zrn še male ostanke feritne mreže. Lokalno lahko zasle-



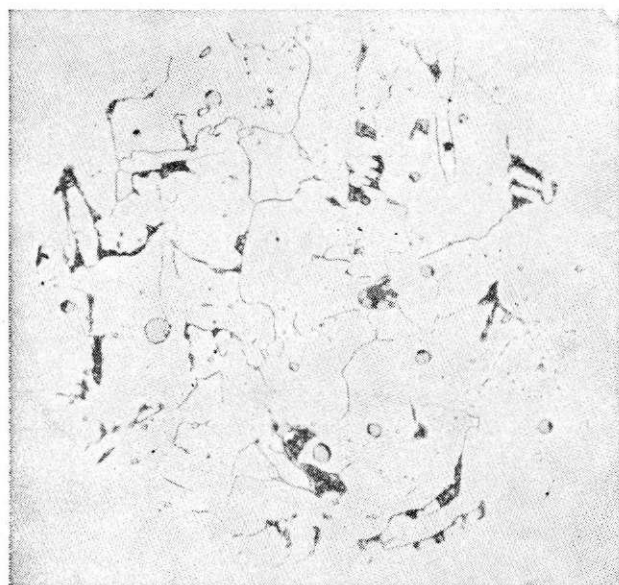
Slika 5 — Mikrostruktura vzorca št. 2



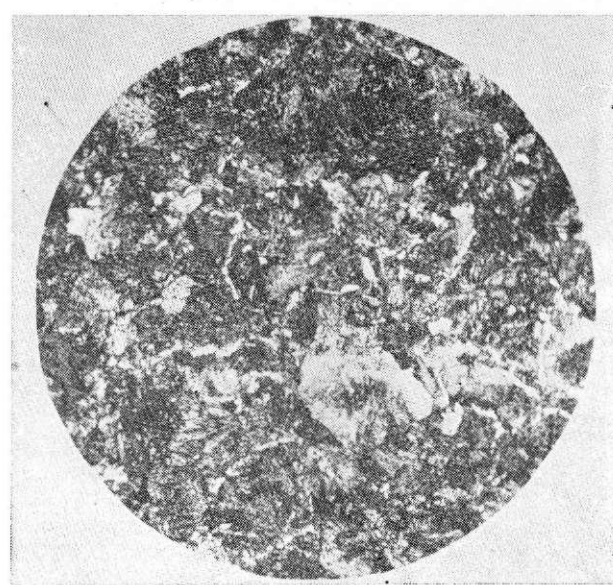
Slika 6 — Mikrostruktura vzorca št. 3



Slika 8 — Mikrostruktura vzorca št. 4 b



Slika 7 — Mikrostruktura vzorca št. 4 a



Slika 9 — Mikrostruktura vzorca št. 5

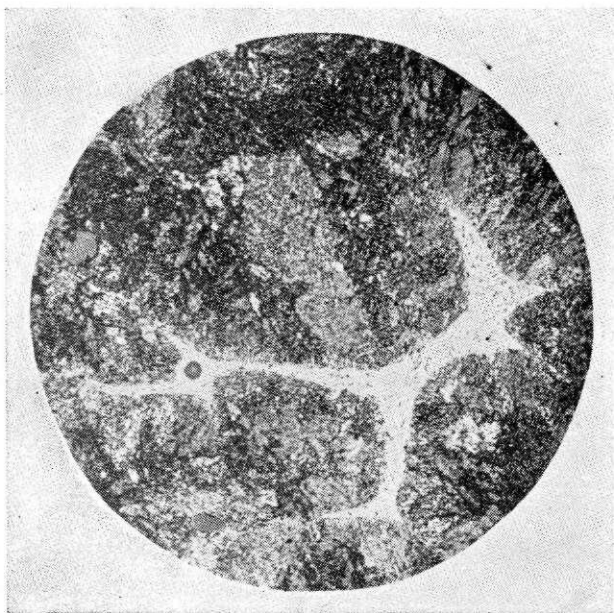
dimo na površini vzorca večja razogljičena področja, kjer pade koncentracija ogljika na približno 0,2 odstotka.

Vzorec št. 6 ima izredno heterogeno strukturo. Ponekod je mogoče opaziti lito strukturo lamelnega perlita s fosfidnim eutektikom — slika a. Na drugem mestu vzorca zasledimo normalno feritno perlitno strukturo — slika b. Struktura je sicer grobozrnata, ima pa le malo koncentracijo ogljika v obliki lamelnega perlita.

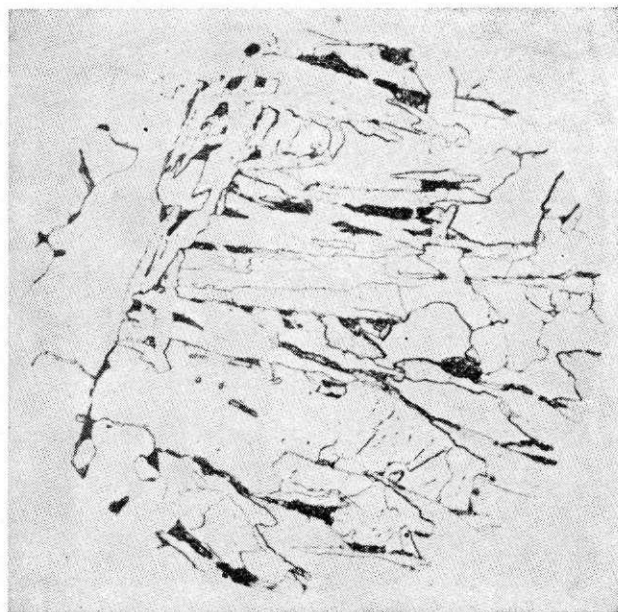
Kovna železa so heterogena in luknjičava. Prelomna ploskev ima lep kovinski sijaj z odtenki

mavričnih barv. Ponekod pa so vidna žlindrina gnezda, ki se močno ločijo od kovinskega dela. Luknjičavost ni opazna pri vseh najdbah, le pri nekaterih primerih. Luknjice so okrogle ali ovalne brez vsebine. Velikost luknjic je različna, medtem ko so vse stene, ki tvorijo volumen teh luknjic, temnejše obarvane, kar predstavlja oksidno plast.

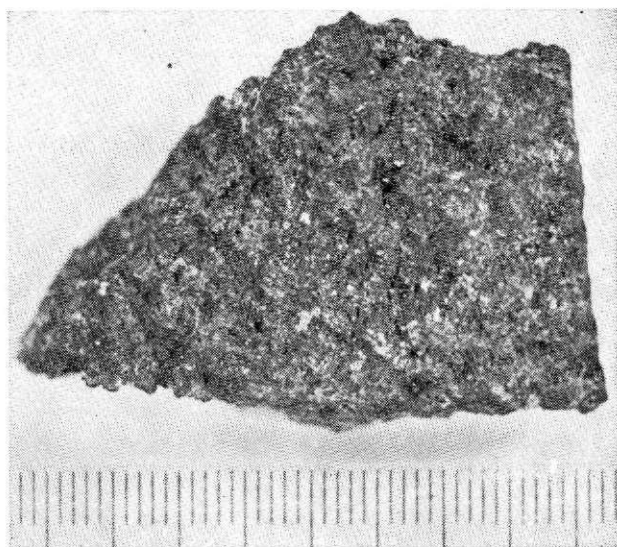
Na smirkovem kolutu smo napravili tudi iskrilne preizkuse, ki so nam potrdili njih kvaliteto glede na vsebnost ogljika. Slike so bile karakteristične tako za železa do 0,10 odstotka C in za jekla



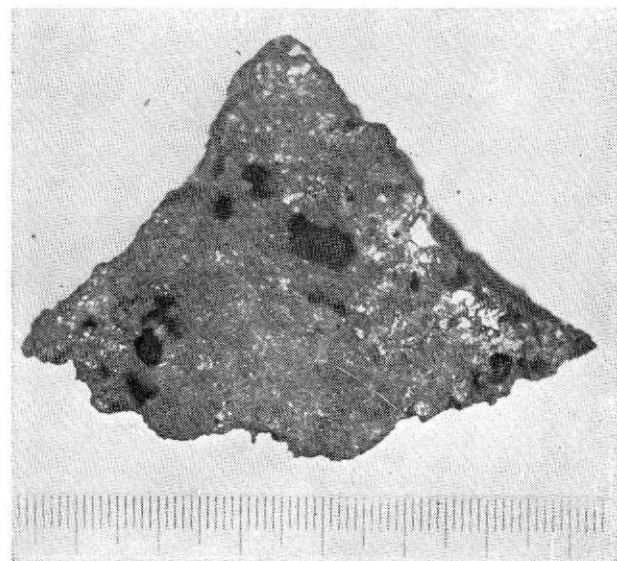
Slika 10 — Mikrostruktura vzorca št. 6 a



Slika 11 — Mikrostruktura vzorca št. 6 b



Slika 12



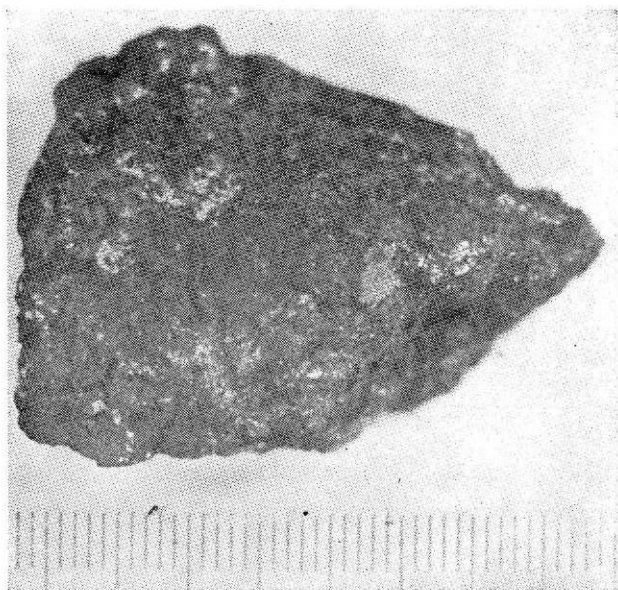
Slika 13

s 0,40 odstotka C. V prvih primerih smo dobili daljše svetlobne trakove z iskrkami v obliki drobnih zagozd. V drugem primeru pa malo krajše svetlobne trakove z drobnimi iskrkami v obliki malih zagozd in drobnimi maloštevilnimi enostavnimi zvezdicami.

Vzorke studorskih želez smo tudi segrevali v kovaškem ognju in nato prekovali v razne profile. Dali so se izredno dobro kovati in oblikovati. Iz tega lahko sklepamo, da je bila takšna zvrst nizkoogljčnega jekla oziroma feritnega železa primerna

glede na možnosti obdelave materiala v takratni dobi. Iz oblik najdenih vzorcev moremo sklepati, da v takratnih vetrnih pečeh niso dobili malih železnih hlebčkov (volkov), temveč različno oblikovane kose železa, ki so se med seboj ločili po velikosti, teži in kvaliteti. Tudi mi smo pri taljenju bobovcev v vetrni peči leta 1961 dobili različno oblikovane kose, kot je razvidno iz fotografij.

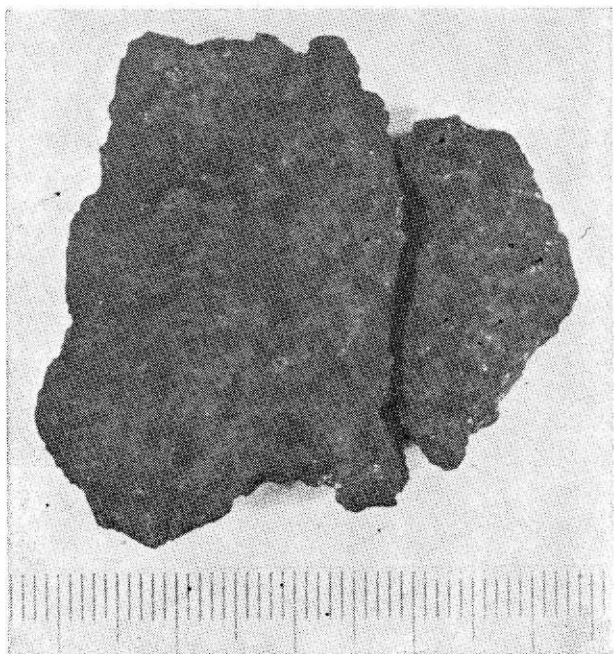
Na Rajni, kjer se je pričelo železarstvo kasneje kot na Prodovju, smo našli 450 g težkega volka iz čistega feritnega železa. V tem primeru gre za produkt naprednejše tehnike taljenja bobovcev — bogate limonitne železne rude. Volk je bil dobljen ob boljših pogojih redukcije in ob konstantnejši temperaturi. Bolj konstantno temperaturo je bilo



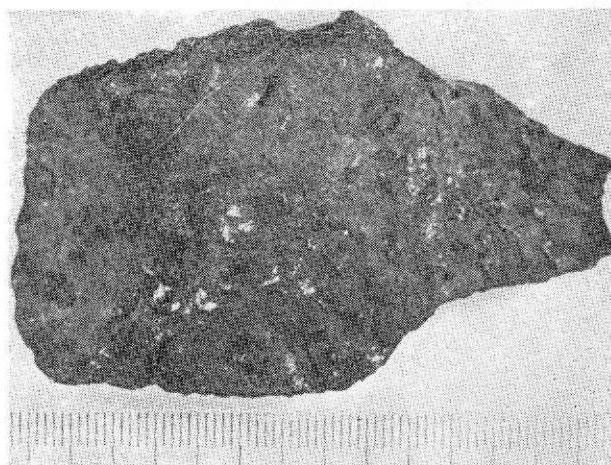
Slika 14



Slika 16



Slika 15



Slika 17

6 primerov dobljenega železa v vetrni peči Studor 1961. leta

litina poznana v pozni La Tèni, že prej pa v starem Egiptu.

mogoče doseči v peči, ki je bila opremljena z mehovi na nožni pogon. Ni pa izključeno, da je peč delovala kombinirano: s pomočjo naravnega vetra, ob koncu taljenja rude pa z vetrom iz mehov.

Med studorsko žlindro smo opazili tudi koščke sive litine različnih velikosti. Na to smo bili še posebej pozorni, ker smo jo tudi mi dobili pri poskusnih taljenjih leta 1961 in 1962. Kaj so stari mojstri storili s sivo litino, nam ni znano, ker dosedaj nismo našli še nobenega takega izdelka.

Če se smemo opirati na trditve tujih raziskovalcev tehnične železarske zgodovine, je bila siva

Predelava studorske sive litine zaradi visoke vsebnosti fosforja ne bi predstavljala večjega problema. Visoka vsebnost fosforja bi ugodno vplivala pri izdelavi tako imenovanega finega liva.

Za pridobivanje feritnega železa in nizkoogljičnega jekla je takratni železar potreboval dobre, na železu bogate rude. Te v alpskem svetu pod mogočnimi vrhovi Triglava ni primanjkovalo. Takratna železarska era ni poznala dela v globokih rovih, jaških in naravnih brezni. To tudi ni bilo potrebno, ker je bilo rude dovolj na površini, med kamenjem, ilovnato zemljo in pod rušo. Tam, kjer pa so bila tla izprana od dežja in snežnice, je bila železna ruda še bolj vidna in manj zamazana.

Pri dosedanjih najdbah starih rudnih zalog poleg nekdanjih antičnih peči na Prodovju in Rajni, kažejo preiskave, da so za pridobivanje železa uporabljali bogato železno rudo. Železno rudo predstavlja bobovec različnih oblik in velikosti z vsebnostjo 58 do 61 odstotkov železa. Tališča teh bobovcev so od 1480 do 1520° C. Zanimivo je tudi to, da v Studorju nismo našli hematitne železne rude, kot je bil to primer na Dunaju pri Jereki in Ajdovskem gradcu.

Kemična analiza bobovca, najdenega na Prodovju a) in Rajni b)

	a)	b)
SiO ₂	2,30	3,30
Al ₂ O ₃	0,50	0,10
Fe ₂ O ₃	86,77	82,51
FeO	sled.	0,14
Mn ₂ O ₃	0,04	0,06
CaO	0,65	0,45
SO ₃	0,10	0,038
MgO	0,42	0,32
P ₂ O ₅	0,39	0,24
CO ₂ + H ₂ O	9,10	11,68
TiO ₂	0,00	0,00

Hematit z Ajdovskega gradca vsebuje 67,81 odstotka železa. Tališče te rude je pri 1510° C.

Kemična analiza hematitne rude, najdene na Ajdovcem gradcu, hiša 8 — Šmidov izkop

SiO ₂	0,85
Al ₂ O ₃	sled
Fe ₂ O ₃	96,81
FeO	0,14
Mn ₂ O ₃	0,06
CaO	0,22
MgO	0,16
P ₂ O ₅	0,17
SO ₃	0,013
CO ₂ + H ₂ O	1,60
TiO ₂	0,00

Na Rajni smo našli bobovec, ki se močno razlikuje od drugih bobovcev glede razmerja Fe₂O₃ napram FeO in tudi ostalih komponent. Vsebuje 69,90 odstotka železa in 0,13 odstotka mangana.

Spremenjena vrsta bobovca, najdenega na Rajni

SiO ₂	1,83
Al ₂ O ₃	1,30
Fe ₂ O ₃	14,54
FeO	77,00
Mn ₂ O ₃	0,19
CaO	2,02
MgO	1,45
P ₂ O ₅	0,17
SO ₃	0,10
žarozguba	0,84
TiO ₂	0,00

Ze makroskopsko so vidne na teh bobovcih spremembe, predvsem na njihovih prelomnih ploskvah. Bobovci so šli skozi temperaturna območja, ne da bi se med seboj stalili. Enake primerke smo našli tudi na Prodovju s 16,20 odstotka Fe₂O₃ in 74,17 odstotka FeO. Tudi pri naših poskusih v vetrni peči so bili takšni bobovci redni pojav.

Pri proučevanju taljenja bobovcev moramo v prvi vrsti pomisliti tudi na izbiro in kvaliteto ognjevdzdrnega materiala, ki so ga uporabljali Studorci za svoje vetrne peči. Med žlindro smo našli tri vrste ognjevdzdrnega materiala sive, opekasto-rdeče in sivo-zelenkaste barve.

Ognjevdzdrni material

Barva	Izgled preloma	Tališče v °C
sive	finozrnat	1230
opekasto rdeča	finozrnat	1215
sivozelenkasta	srednje grobo zrnat	1090

Kemične analize pečnih oblog

	siva	opekasto rdeča	sivozelenkasta
SiO ₂	58,14	56,18	53,98
Al ₂ O ₃	22,24	12,12	23,87
Fe ₂ O ₃	9,44	8,64	10,40
Mn ₂ O ₃	0,36	0,36	0,57
CaO	1,23	13,14	1,20
MgO	2,76	4,38	1,76
TiO ₂	0,61	0,71	0,99
žarozguba	1,66	4,40	0,32
alkalije	2,94	—	6,33

Ognjevdzdrni material je služil za notranjo oblogo peči od vrha do tal, prav tako v dovodnem koritu in odprtini za dovod zraka. Po prelomih sodeč je bil material dobro pregneten in homogen. To je bilo glede na mehanske lastnosti, predvsem na trdnost in termične spremembe, zelo važno. Malo pregneten in nehomogen ognjevdzdrni material bi navzlic dobri ognjevdzdrnosti močno razpokal, ali celo v kosih odpadal od pečne obloge. Velike razpoke bi hladile peč in bile izvor sekundarnega zraka. Poleg ognjevdzdrnega materiala, to je pečne obloge, je morala biti še gosta in primerno debela toplotna izolacijska obloga.

Grobozrnatega materiala nismo zasledili. Ves material je fino zrnat in srednje grobozrnat. Na sivi in sivozelenkasti oblogi smo našli pripečeno žlindro in koščke železa. Obloge vsebujejo največ SiO₂ in Al₂O₃, kar daje materialu ognjevdzdrnost, ki pa zaradi mnogih prisotnih nečistoč ni visoka. Nečistoča, predvsem železove spojine, znatno znižujejo zmehčičišče oziroma tališče pečne obloge. Preiskave za Studor kažejo, da tamošnji železarji niso imeli dosti izbire pri ognjevdzdrnem materialu. Ostanki iz preteklosti pa govore, da se je taljenje bobovcev navzlic slabi ognjevdzdrni oblogi vršilo, kajti najvišje temperature so bile v sredini pečne osi in ne ob stenah. Tu smo opazili tudi pri naših poskusih. Naša pečna obloga je imela tališče pri 1050° Celzija in je bila narejena iz modrosivkaste ilovic eiz Zalaz, nedaleč od Studorja. V primerjavi z drugimi železarskimi kraji, je imel Studor najslabši ognjevdzdrni material. Ajdovski gradec je razpolagal z oblogami, ki so imele tališče od 1250 do 1460° C.

Pri najdbah vzorcev in njih primerjavah ognjevdržnosti med seboj, je možno povedati le to, katera izmed pečnih oblog je boljša od drugih. Časovno pa so obloge neopredeljive. Razumljivo je, da se je kvaliteta ognjevdržnosti spremenila ob napredku in zahtevnosti boljše železarske tehnike.

Pri vseh treh najstarejših železarskih krajih v Bohinju najdemo po barvi slične obloge, to je sive in opekastordeče, ne glede na kemično sestavo.

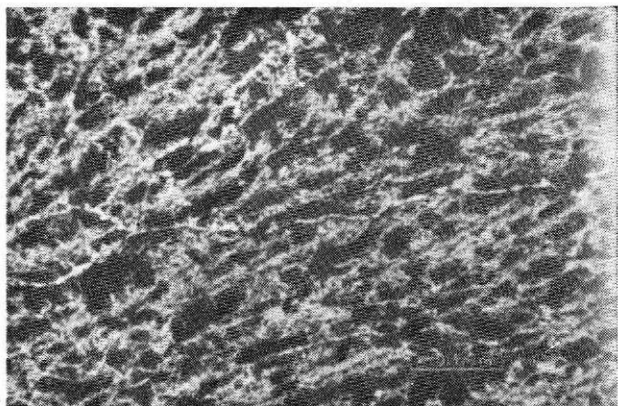
Za lažje razumevanje smo si pri proučevanju antičnega železarstva pomagali s preiskavo najdb, poskusi na terenu in laboratorijskim delom.

Da bi vsaj v skromnih potezah razumeli, kako so delovala primitivna talilna ognjišča, ki so bila grajena ob obronkih bregov, da se je mogla koristiti moč stalnih vetrov, smo morali v prvi vrsti proučiti njene lastnosti.

Pri železni rudi, ki so jo uporabljali v talilnih ognjiščih, nas je zanimala mineraloška sestava, reduktivnost in temperaturne spremembe. Za preiskovalno snov smo uporabili bobovec z Dednega polja (Fužinarska planota) v Julijskih Alpah, ker menimo, da so ga morda uporabljali tudi Studorci. in tudi mi pri našem poskusnem taljenju.

Preiskali smo tri vzorce bobovcev, pri katerih smo s pomočjo mikroskopske analize ugotovili naslednje:

Vzorec 1 — bobovec izpod ruše predstavljata dva primera temnorjavo-rdeče porozne železne rude. Prvi kos je ovalen bobovec in ima mrežasto strukturo, ki jo poudarjajo igličasti rombični kristali igličaste železne rude, slika 18.



Slika 18 — Na fotografiji je vse limonit (lm), razen tanke bele žilice hematita (hm), ki se vleče od leve proti desni

Kristali so različne velikosti od 0,1 do 0,01 mm. Hematita je malo in nastopa kot zapolnitev tankih razpok. Od rudnih mineralov nastopa še pirit v mikroskopsko velikih zrnih, ki bi lahko predstavljali ostanek sulfidnih rud.

Tudi struktura sama kaže na psevdomorfozo.

Posebno izrazita je celična struktura pri drugem primeru, slika 19, ki bi lahko bila psevdomorfoza limonita po piritu. Limonit je tudi v tem



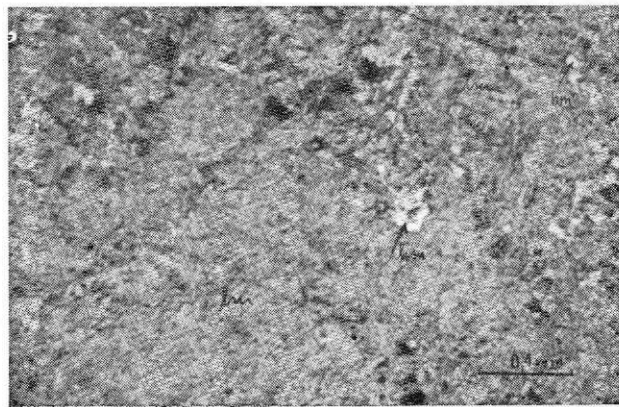
Slika 19

kosu izkristaliziran v igličasto železno rudo, ki jo spremlja v tankih ravnih žilicah hematit. Hematita je precej več kot v prvem primeru. Kot jalovina nastopa kremen, ki je enakomerno porazdeljen po vzorcu v obliki majhnih otočkov.

Vzorec 1 — drugi kos. Celična struktura: temno in svetlo je limonit.

Karbonatna jalovina je že skoraj vsa izlužena, le sem in tja je še kakšno poligonalno zrnice, ki je močno limonitizirano.

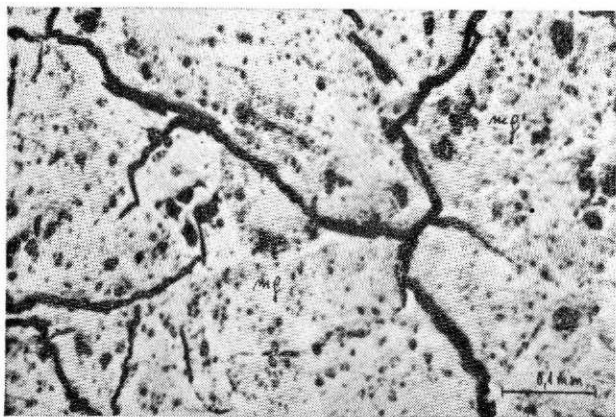
Vzorec 2 — je sestavljen iz drobnih oolitov železne rude. Mikrostruktura predstavlja železno rudo v obliki goste mreže drobnokristaliziranega limonita. Gre za igličasto železno rudo. Zrna hematita so neenakomerno porazdeljena po rudni substanci.



Slika 20

Vzorec 2 — limonit — lm — (temno in svetlo sivo) je neenakomerno porazdeljen, hematit — hm — (belo).

Zrna igličaste železne rude dosežejo velikost 0,05, dočim so zrnca hematita s povprečno velikostjo 0,08 mm. Tudi v tem vzorcu so navzoča mikroskopsko velika zrnca pirita, iz česar lahko sklepamo na psevdomorfozo limonita po piritu.



Slika 21

Vzorec 3 — predstavlja bobovec, ki je sestavljen iz drobnih koščkov železne oolitne rude (pod $\frac{1}{2}$ cm velikih). Mikroskopska slika kaže, da je vzorec sestavljen v glavnem iz kosov hematita in limonita. Le nekaj kosov je razpokan magnetit, ki ob razpokah prehaja v martit — hematit nadomešča magnetit, kot je razvidno iz slike 21.

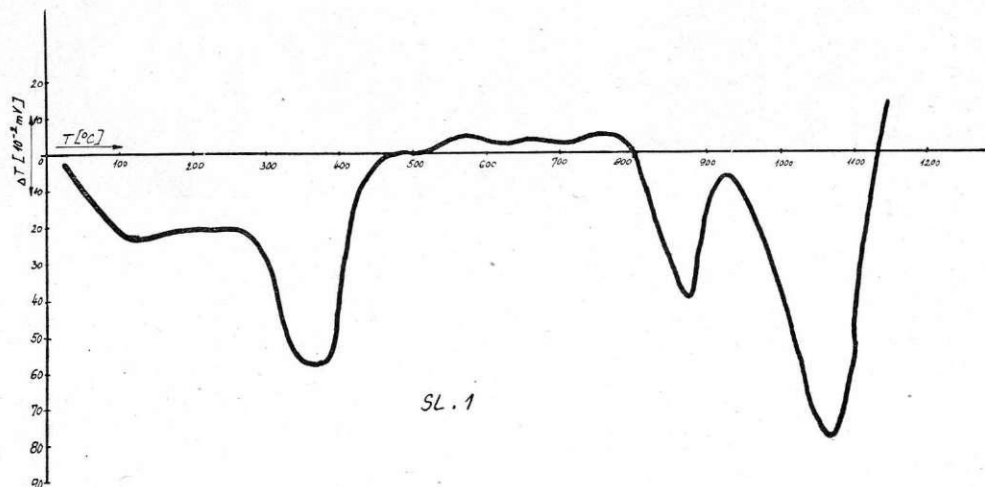
Vzorec 3 — na sliki vidimo magnetit — mg — ki je preprečen z močno usmerjenimi razpokami.

Za določevanje termičnih sprememb pri drobnem in debelom bobovcu smo dobili podatke, ki so razvidni iz pričujoče tabele.

Termične spremembe bobovca — Dedno polje

Fizikalne lastnosti	Bobovec	
	droben	debel
temperatura sintranja	780° C	800° C
zmehčišče	1.470° C	1.490° C
tališče	1.480° C	1.500° C
tališče ostanka	1.500° C	1.510° C

Ista vzorca sta služila za DTA. Poskusna reduktivnost je potekala ob dodatku 20 % lesnega oglja.



Slika 22 — Termogram slika 1 — za droben bobovec

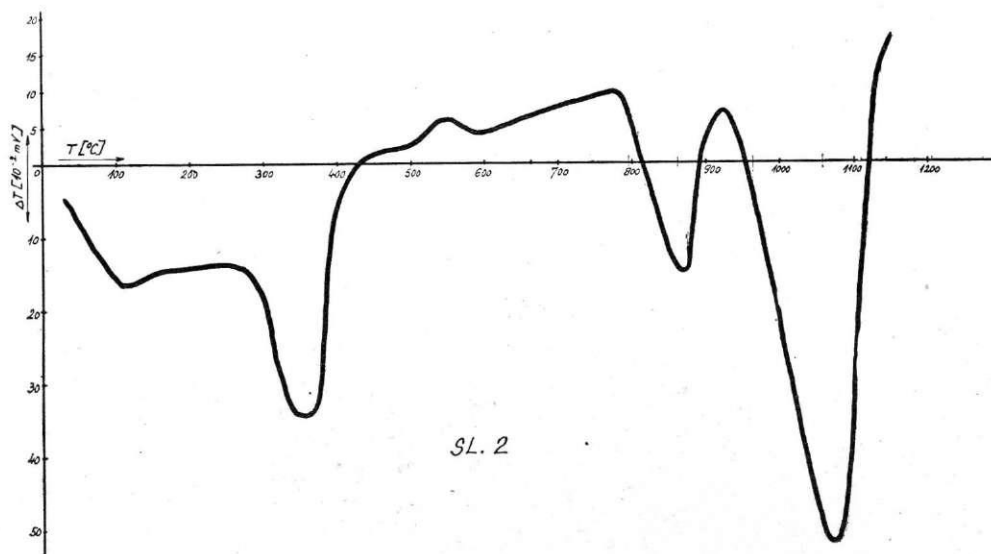
Termogram za droben bobovec kaže naslednje:

Prvi endotermni odklon z minimumom pri 120° C kaže izgon grobe vlage. Drugi zelo izrazit endotermni odklon, ki je karakterističen za vse limonite, kaže izgon kristalne vlage. V temperaturnem območju od 580° C do 775° C poteka redukcija Fe_2O_3 v Fe_3O_4 . Izrazit endotermni odklon, ki začne pri 775° C in doseže minimum pri 885° C, predstavlja redukcijo Fe_3O_4 v FeO , ki se konča pri 920° C. Ko se začne zadnja stopnja redukcije, to je FeO v Fe , doseže minimum pri 1070° C. Redukcija je praktično zaključena pri 1100° C.

Termogram za debel bobovec kaže naslednje: prvi odklon kaže izgon grobe vlage z minimumom pri 115° C. Drugi izraziti endotermni odklon je zelo podoben ustreznemu odklonu pri termogramu za droben bobovec. Gre za izgon kristalne vlage iz limonita. Ta odklon ima minimum pri okoli 355° C. Pri 550° C se začne prva faza redukcije, ki je v tem vzorcu bolj jasno vidna kot pri drobnem bobovcu. Redukcija Fe_2O_3 v Fe_3O_4 je končana pri 775° C, ko se začne druga stopnja, to je Fe_3O_4 v FeO , ki jo kaže močan endotermni odklon z minimumom pri okrog 870° C. Zadnji in najbolj izraziti endotermni odklon, ki se razteza v območju od 925° C do 1150° C z minimumom pri 1070° C, predstavlja zadnjo stopnjo redukcije, to je FeO v Fe , ki je praktično končana pri 1100° C.

Oba vzorca kažeta torej dobro reduktivnost tipično za limonite. Bistvene razlike med drobnim in debelim bobovcem ni, razen da je odklon, ki predstavlja prvo fazo redukcije (Fe_2O_3 v Fe_3O_4), bolj jasen pri debelejšem bobovcu.

Ta dva primera še ne predstavljata dejanske reduktivnosti, kakršna bi se vršila v vetrni peči. To je le ilustracija o poteku redukcije v limonitni rudi. Pri redukciji v vetrni peči pa moramo upoštevati še druge okolnosti in fizikalne faktorje, ki so odločilnega pomena za reduktivnost v praksi.



Sl. 2

Slika 23 — Termogram slika 2 — za debeli bobovec

Vendar nam že ti podatki dobro služijo pri študiju in proučevanju »od bobovcev do železa«.

Pri proučevanju studorskega železarskega smo posvetili precejšnjo pažnjo na količinski odnos kremenjaka do rudne substance pri talilnem postopku v vetrni peči. To pa zato, ker vsebujejo stare žlindre mnogo več SiO_2 , kot ga vsebujejo bobovci. Smatramo, da je bil železar takratne dobe dober opazovalec in praktik. Videl je, da je bobovec lažje taljiv, če mu je dodal kremenčevega peska ali zemlje. To vidimo iz žlinder, ki vsebujejo od 15–30 % SiO_2 .

Kemična analiza dveh žlinder iz Prodovja

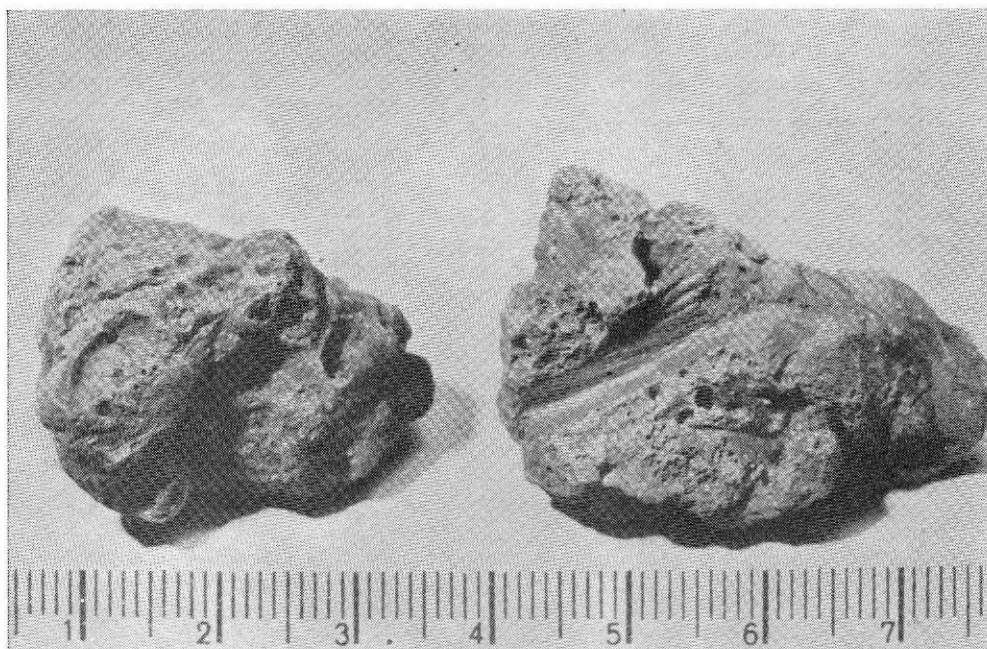
	črna, luknjičava	črna, gosta
SiO_2	21,52	27,37
Al_2O_3	6,42	7,10
Fe_2O_3	7,98	3,28
FeO	52,40	55,20
MnO	0,21	0,18
CaO	5,38	3,14
MgO	2,58	1,61
P_2O_5	0,41	0,46
SO_3	0,08	0,10

Z dodatkom kremenjaka je postal vsip bolj kisel, pri tem pa se je znižalo tališče oziroma zmehčišče rudnih snovi. Dodajanje kislega priklada je bilo v uporabi skozi vsa obdobja od vetrnih peči do plavžev. To nam dokazujejo zbrani vzorci žlinder s časovno opredelitvijo, pri katerih smo zasledovali kislost zaradi SiO_2 .

Da bi ugotovili, kako se ponaša rudna snov glede na znižanje tališča ob dodatku kremenjaka, smo napravili odgovarjajoče mešanice. Rezultat tega dela je razviden iz pričujočih podatkov.

Tališče mešanic rude — bobovec Dedno polje in kvarcita:

% rude	% kvarcita	Tališče v °C
100	0	1520
99,75	0,25	1510
99,50	0,50	1500
99,25	0,75	1495
99,00	1,00	1495
98,75	1,25	1485
98,50	1,50	1480
98,25	1,75	1480
98,00	2,00	1475
97,75	2,25	1475
97,50	2,50	1475
97,25	2,75	1475
97,00	3,00	1475
96,75	3,25	1475
96,50	3,50	1475
96,25	3,75	1465
96,00	4,00	1460
95,75	4,25	1460
95,50	4,50	1460
95,25	4,75	1450
95,00	5,00	1450
94,75	5,25	1450
94,50	5,50	1445
94,25	5,75	1445
94,00	6,00	1445
93,75	6,25	1435
93,50	6,50	1435
93,25	6,75	1435
93,00	7,00	1425
92,75	7,25	1425
92,50	7,50	1425
92,25	7,75	1420
92,00	8,00	1420
91,75	8,25	1420
91,50	8,50	1410
91,25	8,75	1410
91,00	9,00	1410
90,75	9,25	1410
90,50	9,50	1410
90,25	9,75	1400
90,00	10,00	1400



Slika 24 — Stara preperela studorska žlindra

Pri poskusih se je izkazalo, da se z 10 % dodatkom kvarcita zniža tališče mešanici za 1200°C , pri nadaljnjem dodajanju pa tališče ponovno raste. Pri dodatku 20 % kvarcita znaša tališče 1470°C in pri 30 % dodanega kvarcita 1500°C .

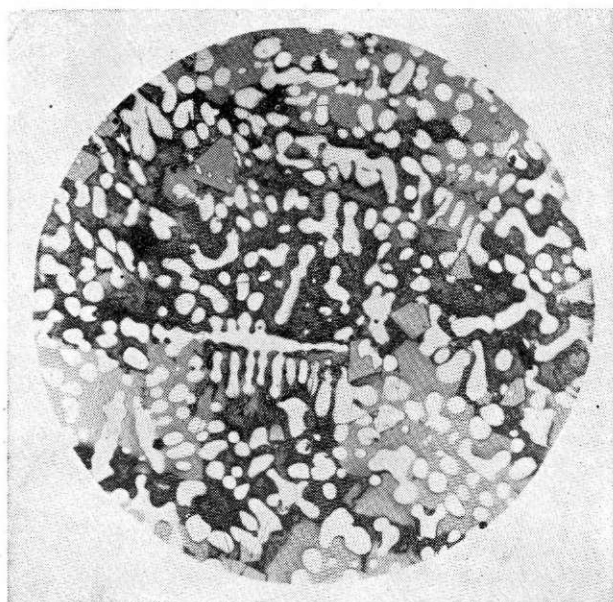
V praksi je bilo seveda drugače. Železar je moral za vsako železno rudo iz novega področja ugotoviti najboljše pogoje taljenja in s tem v zvezi dodajanje kremenčeve priklade in zadostne količine oglja.

Pri še tako skrbni in pravilni mešanici ter pri visoki porabi redukcijskega goriva ni bilo pričakovati dosti železa, če upoštevamo količino neizreduciranega železa. V najboljših pogojih verjetno izplen železa ni bil večji od 12–15 % uporabnega železa, medtem ko je v žlindri, to je v nedokončno izreduciranem rudnem koncentratu, preostalo še preko 50 % železa. Vendar tega železa niso znali uporabiti. Zavrgli so velik del obogatene rude. Ta je ostala vse do danes in kaže slabo stran ekonomičnosti. Žlindre, ki jih danes najdemo, niso več tista primarna snov; v njih so se izvršile delne kemične spremembe, kar je treba upoštevati pri kemičnih in drugih preiskavah.

Tudi delno spremenjena železna žlindra (sekundarno termično in kemično preobražena ruda) nam s podatki omogoča retrogradno tolmačenje glede na končni proces, ki se je izvršil v vetrni peči ob koncu redukcije. Odkriva nam, v kakšnem razmerju so bili kovinski oksidi v žlindri po izločeni količini kovinskega železa. Ni pa sigurno, da se je kovinsko železo izločilo iz celotne količine tiste žlindre, ki je preostala na dnu peči ob koncu taljenja. Železo se je izločilo le iz tiste količine žlindre, pri kateri so bili dani najboljši pogoji redukcije.

Mnogo železne rude je šlo skozi peč le v spremenjeni obliki, ne da bi prišlo vsaj do delne končne redukcije iz FeO v Fe . V celotnem poteku je v tem primeru šlo le za razmersko spremembo med kovinskimi oksidi, ne da bi se izločilo železo. To nam potrjujejo najdeni primerki in pa lastne izkušnje pri poskusih v vetrni peči.

Večkrat smo našli v žlindrah koščke kovinskega železa do velikosti 1 cm ali pa še večje. Našli pa smo tudi takšne, ki ne vsebujejo nobenega elementarnega železa. Eden od teh primerov je razviden iz mikrostrukture na sliki 25.



Slika 25 — Mikrostruktura žlindre

Vzorec predstavlja primer čiste žlindre brez vsake kovine, ki se je izkristalizirala v obliki primarnih dentritov. Ta žindra vsebuje še 54,54 % neizreduciranega železa in 0,21 % mangana. Žindra vsebuje mnogo železovega oksidula, kar govori za končno obliko pri taljenju bobovca. Redukcija je močno potekala v smeri FeO.

Kemična analiza žlindre.

SiO ₂	16,30
Al ₂ O ₃	5,45
Fe ₂ O ₃	10,93
FeO	60,51
MnO	0,27
CaO	3,14
MgO	2,58
P ₂ O ₅	0,32
SO ₃	0,42
TiO ₂	0,13

Studorske žlindre so ogledalo metalurškega procesa in talilne tehnike. Pri študiju železarstva in njegove preteklosti so nam te črne gmote neobhodno potrebne, čeprav nam manjkajo še vmesni produkti.

Za vmesne produkte smatramo tisto spremenjeno železno rudo, ki je šla skozi cono indirektno redukcije, preko oksidacijske cone do direktne redukcije. Če bi imeli vse to, bi lahko točno videli padec koncentracije Fe₂O₃, porast koncentracije FeO in MnO ter porast koncentracije elementarnega železa. Zaradi pomanjkanja teh podatkov pa si moremo to razlagati le eksperimentalno s pomočjo termogramov in še drugih pripomočkov.

Pri žlindrah je treba upoštevati vsebnosti titana. Tiste žlindre, ki ga ne vsebujejo, pripadajo bobovcem brez titana. Iz naših primerov vidimo, da vsebujejo titan žlindre in železa, medtem ko najdeni bobovci ne. Iz tega vidimo, da so uporabljali bobovce iz različnih krajev v Julijcih. To pa ne velja samo za Studor, temveč tudi za Ajdovski gradec in Dunaj pri Jereki. Pri vsem pa je treba upoštevati, da najdeni vzorci ne pripadajo istemu obdobju, ampak so si časovno odmaknjeni. Kateri vzorec pripada začetku, sredini ali koncu železarskega obdobja, ni mogoče ugotoviti. Vsaka najdba je samo za sebe specifična in je časovno ne moremo opredeliti.

ZAKLJUČEK

Analiza studorskega železarstva je sicer skromna, vendar pa pomembna, saj je bil Studor glede železarske zgodovine popolnoma nepoznan. Vedeti pa moramo, da je vsako novo odkritje tudi nova neznanka, ki bo kdaj rešena, ali pa tudi ne v celoti. Verjetno nikoli ne bomo mogli ugotoviti točnega časovnega nastanka in propada studorskega železarstva. Prav tako nam bodo ostale neznane dimenzije in oblike takratnih talilnih ognjišč. Neizpodbitno pa je, da ima Studor najmočnejše točke vetra in prav vetru moramo pripisati znaten pomen pri formiranju vetrnih peči in pa človekovemu razumu, ki je doumel izkoristiti energijo vetra pri zgorevanju reduktivnega gradiva. Dober ogenj in primeren veter sta vplivala na enakomerno razporeditev redukcijskih plinov med rudno snovjo.

Na podlagi najdb in lokacije terena moremo sklepati, da spada Studor v obdobje »primitivnega železarstva«, ki se je morda povzpelo do primitivnih peči na volka. Pri ocenjevanju najdenega se moramo samo čuditi sposobnosti človeka in ne grajati pomanjkljivosti, ki nam jih pokažejo rezultati preiskav. Železo, ki se nam danes morda zdi malo vredno glede na kvaliteto, je imelo takrat velik pomen v preobrazbi življenja takratnega človeka. Železo mu je lajšalo življenje, delo in obstoj. Kako velik vpliv je imelo železo na bohinjsko ljudstvo, vidimo iz njegove zgodovine, saj so iz primitivnih vetrnih peči uspeli železarsko dejavnost dvigniti na Ajdovskem gradcu na nivo male železarske industrije, ki bi se verjetno razvijala še naprej, če je ne bi neznano ljudstvo v času preseljevanja narodov uničilo.

Vse to nam narekuje, da se začnemo še temeljiteje ukvarjati s tehnično zgodovino železarstva, ki je pri nas skoraj neizčrpna. V bližnji bodočnosti moremo morda pričakovati več smisla in pomoči pri tem delu.

V svetu zapažamo v zadnjem času, da se tudi drugi narodi, ki imajo bogato železarsko preteklost, z raziskavami in poskusi približujejo problemom nastanka železa.

Ta prispevek vsebuje nove podatke o studorskem železarstvu in je obenem dopolnitev tehnične železarske zgodovine. Čim več bo podatkov, tem lažje bomo razumeli tisti čas na prehodu od bronu k železu.

Opomba:

Pri raziskavah so sodelovali: Kemični laboratorij ZJ, Raziskovalni odd. ZJ, laboratorij Rudnik-Mežica in Metalurški inštitut v Ljubljani.

Problematika vodika v visoko siliciranih jeklih

Železarna Jesenice proizvaja tudi visoko silicirane materiale. Za to kvaliteto jekla pa je potrebna odgovarjajoča magnetna karakteristika, kar dosežemo z optimalno čistočo v pogledu plinov. Važnost določevanja vsebnosti vodika pri izdelavi visoko siliciranih materialov v posameznih fazah je narekovala uvedbo metode in aparativne tehnike, ki naj nudi metalurgu pregled vsebnosti vodika v fazah izdelave. Raziskave na vsebnost vodika v ferolegurah, dodatkih in visoko siliciranih materialih, so bile izvršene v mesecu decembru v jeklarni. Analize na vsebnost vodika smo izvedli v posameznih fazah izdelave od predpreizkušnje do končnega vlitja v livni jami.

Problematika vodika se pokaže že takoj pri izdelavi šarže tako, da jeklo po vlitju v kokilo ne posede in imamo v vlitim ingotu velike mehurje. Tako jeklo se ne da izvaljati in predstavlja za železarno izmeček. Poleg tega se pojavlja problematika vodika v vseh legiranih jeklih z visoko koncentracijo Mn, Cr, Mo, kar se pokaže na končnem izdelku v obliki razpok oziroma kosmičev. Iz navedenega sledi, da je bila problematika vodika pri izdelavi teh jekel pereča in je bilo potrebno določiti metodo, ki bo omogočala hitro oceno oziroma analizo vodika, tako v jeklu kakor ferolegurah oziroma dodatkih, ki se uporabljajo za izdelavo posameznih kvalit. Z aparaturο za določevanje vodika po Baikovu s katero razpolaga OTK, smo se lotili analiziranja vsebnosti vodika v jeklih. Omenjena aparatura je cenena in daje po relativno hitrem postopku uporabno oceno glede vsebnosti vodika v jeklu.

Karakteristika visoko siliciranih materialov

Silicij je element, ki ga dodajamo vsaki kvaliteti jekla za dezoksidacijo oziroma pomirjenje. Poleg teh dezoksidacijskih sposobnosti pa da silicij v določenih koncentracijah jeklu tudi posebne značilnosti: povišuje mejo raztezanja in trdnost, vpliva ugodno na toplotno obdelavo konstrukcijskih in drugih legiranih jekel, poboljšuje antikorozivnost jekel itd. Posebno vrsto pa tvorijo jekla z visoko koncentracijo Si. To so torej visoko silicirana jekla, pri katerih doseže zahtevana koncentracija silicija do 4,5 %. Visoko silicirana jekla so materiali, ki se odlikujejo po visoki remanenci ter nizki koercitivni sili, ali se odlikujejo z maksimalno koercitivno silo, kar je vzrok, da še po tem, ko izključimo polje zaradi visoke magnetne indukcije, ostanejo trajno magnetni. Zaradi opisanih lastnosti igrajo ti materiali v elektrotehniki zelo

važno vlogo. Uporabljajo jih kot prevodnike magnetnega toka v električnih strojih in napravah, tudi za izdelavo jeder za elektromagnete in podobno. Za zmanjšanje vrtinčastih tokov dodajamo jeklu še silicij. S posebnim načinom valjanja in termično obdelavo dosežemo visoko magnetno prevodnost in nizke vatne izgube. Izkušnje zadnjih let in statistično spremljanje vseh rezultatov so omogočili, da je železarna v letu 1962 popolnoma osvojila proizvodnjo te vrste materialov.

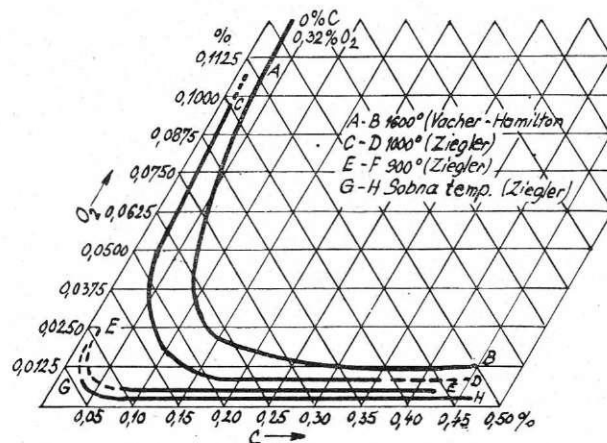
TOPNOST VODIKA, KISIKA IN DUŠIKA V JEKLU

Iz binarnih diagramov je razvidno, da je topnost plinov v jeklu zelo različna in omejena. Topnost plina definiramo z vsebnostjo plina v 100 gr jekla pri določeni temperaturi, reducirano na 0° C in tlak 760 mm/Hg.

Kisik — Različni avtorji navajajo, da so zasledili določeno topnost kisika, kar je razvidno iz diagrama na sliki 1, ki nam pove:

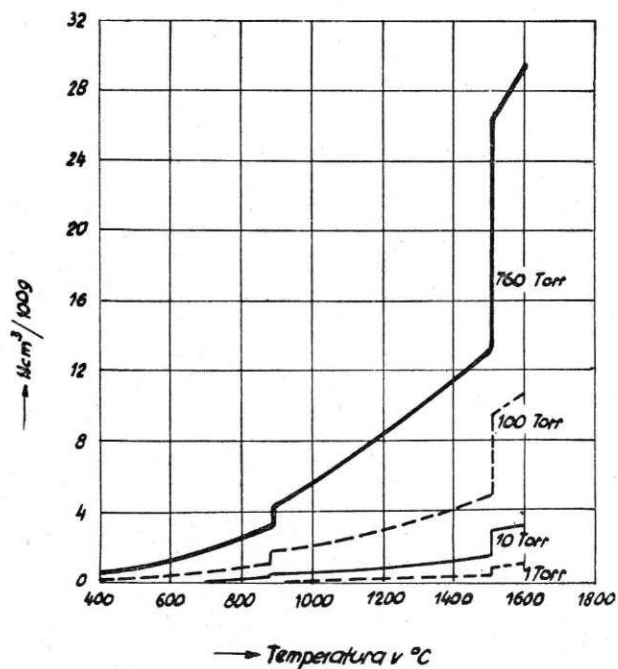
Pri navadni temperaturi je topnost kisika v odvisnosti od koncentracije ogljika zelo majhna in se giblje pod vrednostjo 0,01. Pri višji temperaturi pa lahko topnost kisika naraste pri nizko ogljičnem jeklu tudi do 0,1 %.

V metalurgiji obravnavamo kisik v glavnem kot FeO in so vse posledice, ki jih zasledimo v jeklu zaradi kisika vezane na različno obnašanje FeO.



Slika 1 — Odvisnost topnega kisika od ogljika

Vodik — Topnost vodika se pri strjevanju jekla zelo spreminja in sicer v odvisnosti od temperature in pritiska, kar dokazuje diagram po Sievertsu (slika 2). Z zmanjšanjem pritiska pada topnost vodika v jeklu.



Slika 2 — Topnost kisika v železu

Iz diagrama je torej razvidno, da je topnost vodika pod temperaturo 900°C zelo majhna in lahko uporabljamo za relativno oceno koncentracije vodika v jeklu tudi aparaturu, ki dela v temperaturnem območju cca 600–700°C.

Raztopljeni vodik v jeklu je s svojim parcialnim tlakom v plinski fazi točno določen. To zakonitost podaja Sievertsov zakon, torej:

$$[H] = K_T \cdot \sqrt{P_{H_2}}$$

kjer je $[H]$ = topnost plina v jeklu izraženo v %

K_T = ravnotežna konstanta
odvisna od temperature

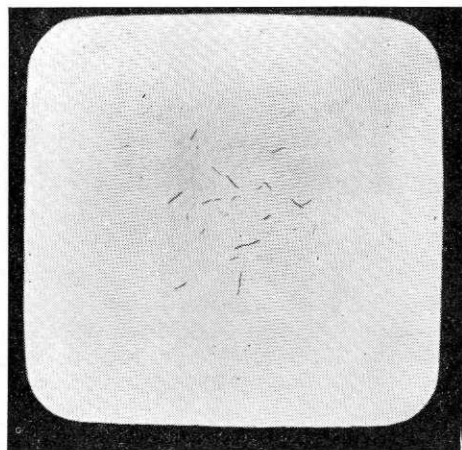
P_{H_2} = parcialni pritisk vodika v atm.

Dušik — Topnost dušika v jeklu je odvisna od temperature in precej niha ter doseže maksimalno vrednost pri temperaturi 590°C in sicer 0,42%. Pri sobni temperaturi pa topnost dušika doseže vrednost 0,02%. Z ozirom na to, da pride pri proizvodnji jekla do koncentracije 0,008%, bo ta dušik tudi po ohlajevanju ostal v jeklu v trdni raztopini.

METALURŠKA PROBLEMATIKA PLINOV

Kot že rečeno, predstavljajo plini enega izmed osnovnih problemov pri proizvodnji jekla. V jeklu pridejo med proizvodnjo bodisi iz taline, bo-

disi iz dodatkov, ki se dodajajo v peč pri izdelavi jekla. Od vseh prisotnih plinov zavzema vodik 95 do 98%, dočim je udeležba dušika in kisika v primerjavi s tem, relativno majhna. Zato se v metalurgiji posveča veliko pozornosti predvsem vplivu vodika. Vodik se namreč pri strjevanju jekla izloča v večjih količinah, povzroča kuhanje jekla v kokili, pri manjših količinah pa tvorbo razpok, ki so znane pod imenom kosmiči. (Slika 3)



Slika 3 — Kosmiči v jeklu

Vzrok nastanka kosmičev je pogojen z dvema faktorjema:

- z vsebnostjo vodika v jeklu,
- z obstojnostjo preoblikovalnih notranjih napetosti, ki vodijo k razpadu austenita. Posebno težnjo k tvorbi kosmičev kažejo naslednja jekla:
 - krom-nikelj jekla,
 - krom-nikelj-molibdenska jekla,
 - krom-nikelj-volfram jekla.

Ta jekla pri ohlajevanju prehajajo v martenzitno strukturo. Visoko legirana krom-feritna jekla ter visoko legirana krom-nikelj austenitna jekla ne kažejo težnje po tvorbi kosmičev. Brez kosmičev so tudi jekla z vsebnostjo 12% Mn ter brzorezna jekla, tako imenovana ledeburitna jekla.

Dušik ima v metalurgiji dvojni pomen. Lahko ga uporabljamo kot legurni element, da ga dodajamo do koncentracije 0,5% da dosežemo austenitne strukture, ali pa ga uporabljamo za površinsko utrjevanje jekla s pomočjo nitriranja. Poleg teh lastnosti pa je majhna koncentracija dušika izredno škodljiva pri jeklih, kjer se zahteva določena odpornost proti staranju. Ta problem nastopa pri jeklih, ki ne smejo kmalu izgubiti mehanskih karakteristik, predvsem žilavosti. Staranje je vezano na izločevanje nitridov, ki jih poizkušamo z dodatkom aluminija zmanjšati.

V manjših količinah je dušik škodljiv tudi v magnetnih materialih, ker zmanjšuje magnetno prevodnost in povečuje vatne izgube kot tudi ostale magnetne lastnosti.

Prisotnost kisika v jeklu zasledujemo v obliki vključkov, ki so posledica dezoksidacije pri izdelavi jekla v peči. S povečanjem koncentracije kisika oziroma povečano uporabo dezoksidantov narašča tudi količina oksidnih vključkov v jeklu.

Najbolj škodljiv je kisik takrat, kadar se pojavijo v jeklu velike količine FeO. Ta ima zelo nizko tališčecca 900° C. Zaradi prisotnosti FeO nam jeklo pri valjanju pod valji razpade.

DIFUZIJA VODIKA V JEKLU

Vodik difundira v jeklo v obliki protonov, ki z lahkoto pronikajo skozi kristalno mrežo kovine zaradi majhnih razmer, saj znaša ionski radius protona 0,3 Å. Difuzijska sposobnost vodika je odvisna od kristalne strukture kovine odnosno jekla, kemijske sestave in temperature. V legiranih jeklih se koeficient difuzije vodika občutno menja v odvisnosti od temperature, kristalne strukture in stopnje legiranja jekla, skratka, koeficienti difuzije vodika v jeklu se spreminjajo z legurnimi dodatki.

PRAKTIČNE RAZISKAVE VSEBNOSTI VODIKA V MAGNETNIH MATERIALIH

Na podlagi podatkov iz strokovne literature in lastnih izkušenj smo v letu 1962 začeli statistično spremljati rezultate vsebnosti vodika v jeklih in ferolegurah. Vse raziskave na vsebnost plinov so bile izvršene v jeseniški jeklarni na peči B in peči E v posameznih fazah izdelave visoko siliciranih jekel.

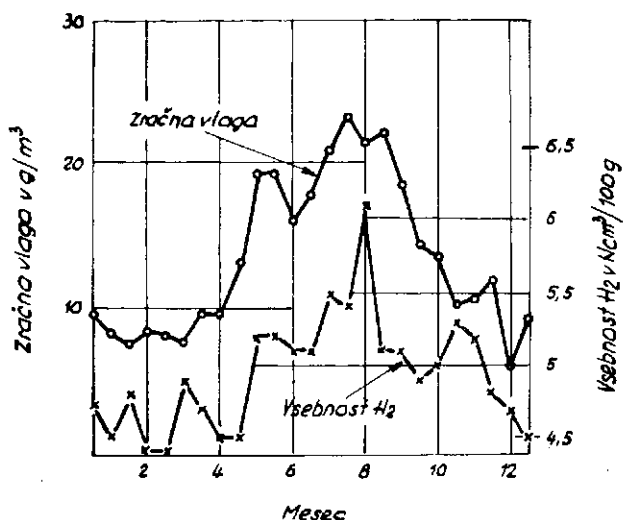
Od kod pridejo plini v jeklo?

Plini pridejo v jeklo na več načinov:

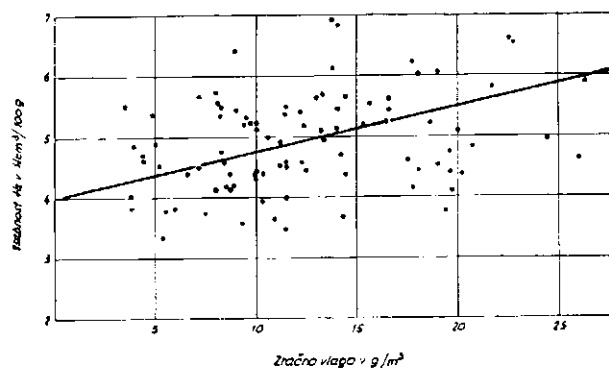
- z zračno vlago
- z generatorskim plinom in mazutom
- s starim odpadnim železom
- z oljnatimi ostružki
- s ferolegurami
- z vlažnimi dodatki
- s kokilnim lakom
- s ponovčno opeko
- z vlago v livni jami

Oglejmo si odvisnost teh faktorjev podrobneje: Zračna vlaga

V SM pečeh igra vlogo »nosilca vodika« vodna para, ki je sestavni del sežignih plinov. Atmosfera v peči delno sestoji iz vodne pare in vlage. V momentu, ko nastopi ravnotežje med talino, žilindro in atmosfero, ugotovimo večjo vsebnost vodika v jeklu. Iz diagrama, ki sledi, (slika 4) je razvidna odvisnost vlažnosti zraka od letnega časa. Zato predstavlja izdelava jekel, ki se nagibajo k tvorbi kosmičaste strukture, (risavosti) določene težave v mesecih z visoko zračno vlago. Čim večja je vlaga v zraku, večja je vsebnost vodika v jeklu (slika 5).



Slika 4 — Vsebnost vodika v odvisnosti od letnega časa



Slika 5 — Vsebnost vodika v jeklu v odvisnosti od zračne vlage

Generatorski plin in mazut. Vsebnost zračne vlage v kurilnih plinih ima določen vpliv tudi na vsebnost vodika v jeklu. Z generatorskim plinom kurjene peči vsebujejo višji odstotek vodne pare, zato tudi ugotovimo višjo vsebnost vodika v jeklu. Z mazutom kurjene peči vsebujejo manjši odstotek vlage, kar zniža vsebnost vodika v jeklu.

Staro železo, oljnati ostružki — kot vložni material. Z odpadnim železom, ostružki ter grodljem prihajajo plini v jeklo v obliki FeO in Fe₃O₄.

Ferolegure. Same ferolegure, ki jih dobavimo vsebujejo pline, zato zahtevamo ferolegure s čim nižjo vsebnostjo plinov in vlage. Vsebnost plinov v ferolegurah se zelo razlikuje od ene do druge pošiljke. Za kvalitetno izdelavo magnetnih materialov je potrebno legure predhodno žariti, ker s tem zmanjšamo vsebnost vlage in plinov.

Vlažni dodatki (CaO, CaF₂). Ti vlažni dodatki vplivajo na povečanje vsebnosti plinov v jeklih. Seveda je vpliv manjši pri uporabi CaO v kosih kot pri uporabi CaO v prahu. Zato je treba CaO v prahu hraniti na suhem zaradi vlage in možnosti nastopa odnosno pojave hidratacije.

Ponovčna opeka. V porah ponovčne opeke se vedno nahaja nekaj vlage in kemično vezane vode. Po termični disociaciji difundira vodik v tekoče jeklo. Pri na novo pripravljeni ponovci se giblje vsebnost vodika do 2 ml/100 gr, dočim pri daljši uporabi ponovce pade vsebnost vodika na nekaj desetink ml. Da se prepreči prehod vodika iz opeke v jeklo, je potrebno ponovco dobro osušiti, kar velja predvsem pri izdelavi jekel, ki naj bodo brez kosmičev.

Kokilni lak. V metalurgiji uporabljamo dve vrsti kokilnega laka:

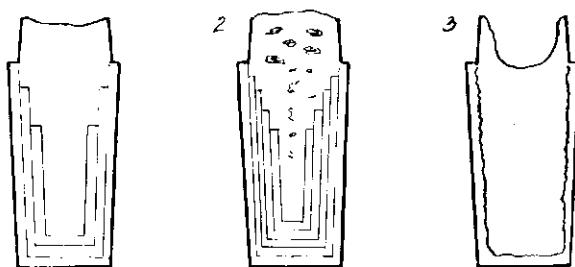
— kokilni lak, ki vsebuje kemično vezano vodo (npr. melasa),

— lake, ki ne vsebujejo vode.

Kokilni lak služi za premaz kokil v livni jami. V lakiranih kokilah obstaja večja možnost difuzije vodika v jeklo, dočim v suhih metaliziranih in nolakiranih kokilah ta pojav odpade. Zato je nujno treba uporabljati kokilne lake, ki ne vsebujejo vode, kajti s pravilno izbiro lakov lahko v veliki meri vplivamo na vsebnost vodika v jeklih.

PROBLEMATIKA VODIKA V MAGNETNIH MATERIALIH

Pri vlivanju jekla v kokile pa z zniževanjem temperature pada tudi topnost vodika v jeklu (slika 2). V primeru proizvodnje jekla sicer ni

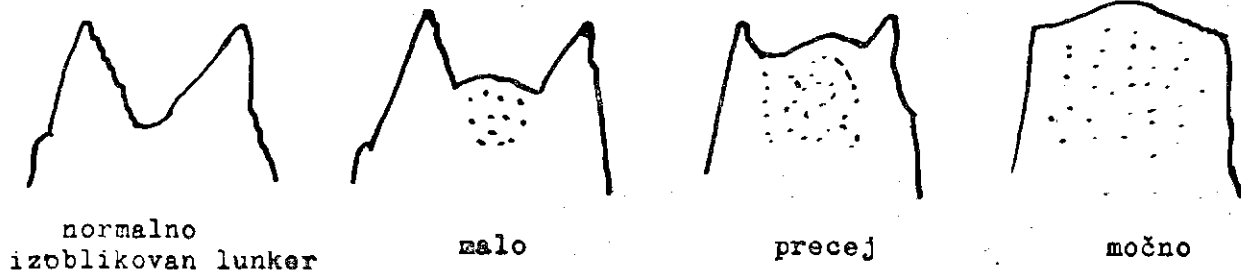


Slika 6 — Strjevanje bloka

Slika 6 — Strjevanje bloka

doseženo ravnotežno stanje, vendar lahko smatramo, da se topnost zmanjšuje po slični krivulji, oziroma ima vsaj težnjo, kot jo kaže diagram.

Iz slike je razvidno, da se v trenutku, ko se pri vlivanju jeklo dotakne kokilne stene, strdi tanka plast jekla. Temperatura se bistveno zniža. Topnost vodika je zmanjšana in iz teh plasti se izloča vodik. Nastanejo mehurčki, ki so usmerjeni v smeri padca temperature in so le nekaj milimetrov pod površino (približno 2–5 mm, kar je odvisno od stopnje nasičenosti z vodikom). Ko se jeklo strjuje, se vodik izloči še v tekoči del jekla, ki je že gost in ne more izhajati iz jekla. Zato jeklo ne posede normalno, ne naredi lunke, ampak »žene«. V najslabšem primeru je to izločanje tako močno, da jeklo teče preko kokilnih glav. Nastopa tako, kot je razvidno iz naslednje slike.



Slika 7 — Izblikovanje glave bloka

V primerih, ki so navedeni, je jeklo v glavi ingota oziroma v gornjem delu luknjičavo. Pri valjanju takih ingotov se površina odpre. Polizdelki so po vseh robovih raztrgani in niso uporabni. Nastopajo površinske razpoke.

PROBLEMATIKA VODIKA V FEROLEGURAH

Fero-silicij. Še pred kratkim se je zahtevala analiza ferolegur le za sestavne dele, dočim se v zadnjem času postavlja tudi pogoj za vsebnost plinov, ki služi kot orientacija pri izdelavi različnih vrst jekel. Metoda merjenja plinov mora biti čim krajša, da nudi metalurgu pregled v posamez-

nih fazah izdelave. Ker zahtevamo legure s čim nižjo vsebnostjo plinov, vse pošiljke stalno kontroliramo. Pri izdelavi magnetnih materialov je potrebno imeti kvaliteten fero-silicij.

Navajamo podatke vsebnosti plinov FeSi, ki je služil pri izdelavi teh jekel.

Dobavitelj	ml plinov/100 gr v dobavljenem stanju	ml plinov/100 gr v žarenem stanju
Jajce	5,0–11,3	2,6–5,9
Jegunovci	5,4–5,6	2,7–3,1
Dugi Rat (Split)	3,9–5,7	2,1–2,8

Tabela 1 — Vsebnost plinov v FeSi

Pri večini pošiljk, ki jih je odpremilo podjetje »Elektro-Bosna« Jajce, je razvidno, da se z žarjenjem običajno lahko odpravi le 20–35 % plinov. Žarjenje traja 6 ur pri temperaturi 850° C. Pošiljke z več kot 6,5 ml/100 gr ne pridejo v poštev pri izdelavi magnetnih materialov. Fero-silicij dobavljen iz tovarn Dugi Rat in Jegunovci ima nizke začetne vrednosti.

Različna vsebnost plinov v eni in isti vrsti legure je narekovala potrebo po raziskavi. V okvir raziskav so bile zajete vsakodnevne pošiljke različnih ferolegur, da bi dokončno ugotovili poleg analize glavnih sestavin tudi vsebnost plinov.

Zaključki raziskav o različni vsebnosti plinov in faktorji, ki vplivajo na to, so naslednji:

- plastnost (zgornja, srednja in spodnja plast legure),
- velikost zrn,
- način skladiščenja.
- poroznost.

Plastnost zelo vpliva na različno vsebnost plinov v leguri. Raziskave v tej smeri so dale naslednje rezultate.

Primer 1 — Fero-silicij, ki je bil dobavljen iz Ruš in vzet s treh plasti, je dal zelo različne vrednosti. Merjenja plinov izkazujejo določene nepravilnosti.

FeSi Ruše (zgornja plast) vsebuje 10,6 ml/100 gr plinov.

FeSi Ruše (srednja plast) vsebuje 9,3 ml/100 gr plinov.

FeSi Ruše (spodnja plast) vsebuje 6,6 ml/100 gr plinov.

Ti rezultati so iz iste pošiljke.

Primer 2 — Fero-silicij Ruše

FeSi Ruše (zgornja pl.) vsebuje 13,2 ml/100 gr

FeSi Ruše (srednja pl.) vsebuje 11,0 ml/100 gr

FeSi Ruše (spodnja pl.) vsebuje 9,2 ml/100 gr plinov.

Tabela 2 — Vsebnost plinov z ozirom na sloj

Velikost zrn. Raziskave v tej smeri vodijo k naslednjim zaključkom:

- Čim manjša in finejša so zrna, tem višja je vsebnost plinov.
- Zrna v velikosti pod 5 mm so bila neuporabna za analizo, ker dobimo pri določevanju netočne rezultate.
- Pravilna velikost zrn je nad 10 mm in več. V vzorcu take velikosti se določi realna vsebnost plinov.

Primer 1 — Navajamo rezultate vsebnosti plinov v FeSi velikosti pod 5 mm in nad 10 mm. Razlika vsebnosti plinov je razvidna iz spodaj navedene razpredelnice.

Oznaka legure		vsebnost plinov zrn pod 5 mm	vsebnost plinov zrn nad 10 mm
FeSi Jajce	»A«	8,8 ml/100 gr	4,3 ml/100 gr
FeSi Jajce	»B«	6,3 ml/100 gr	3,1 ml/100 gr
FeSi Jajce	»C«	11,3 ml/100 gr	6,0 ml/100 gr
FeSi Jegunovci	»D«	5,8 ml/100 gr	4,3 ml/100 gr
FeSi Dugi Rat	»E«	5,7 ml/100 gr	5,0 ml/100 gr
FeSi Jajce	»F«	11,0 ml/100 gr	5,9 ml/100 gr
FeSi Jajce	»G«	10,1 ml/100 gr	6,5 ml/100 gr
FeSi Ruše	»H«	13,2 ml/100 gr	8,8 ml/100 gr
FeSi Ruše	»I«	11,0 ml/100 gr	8,2 ml/100 gr

Tabela 3 — Vsebnost plinov v odvisnosti od velikosti zrn

Na osnovi tega zaključujemo, da je treba za pravilno določitev plinov upoštevati tudi velikost zrn legure in se izogibati velikosti zrn pod 5 mm.

Način skladiščenja. Fero-silicij je v času skladiščenja, pretovarjanja in prevoza izpostavljen vlagi, ki se tudi z žarjenjem pred uporabo ne da zmanjšati na dovoljeno mejo. Skladišče legur naj bo, če je le mogoče, vedno v za to pripravljenih bunkerjih. Z ozirom na način skladiščenja izkazuje legure različno vsebnost plinov. Legure, ki so občutljive na zračno vlago, nabavljamo v sodovih in zabojih. (FeW, Fe-Nb-Ta in ostali.)

Poroznost. Porozni komadi FeSi izkazujejo višjo vsebnost plinov kot lepi neporozni komadi.

Primer 1

FeSi — homogen vsebuje 4,4 ml/100 gr plinov

FeSi — porozen vsebuje 12,6 ml/100 gr plinov

Primer 2

FeSi — homogen vsebuje 7,0 ml/100 gr plinov

FeSi — porozen vsebuje 26,0 ml/100 gr plinov

Primer 3

FeSi — homogen vsebuje 7,1 ml/100 gr plinov

FeSi — homogen vsebuje 7,1 ml/100 gr plinov

Tabela 4 — Vsebnost plinov v odvisnosti od poroznosti

V tej smeri so bile številne raziskave; za primerjavo navajamo le tri primere. Poroznost je poleg plastnosti, velikosti zrn in načina skladiščenja važen činitelj, ki vpliva na različno vsebnost plinov v legurah.

Ostale ferolegure. Tudi ostale legure smo analizirali na vsebnost plinov. Do sedaj je bilo to še neraziskano. Navajamo rezultate, ki smo jih dobili od dobavljenih legur in rezultate žarjenih legur:

Legura		ml plinov/100 gr dobavljeno	ml plinov/100 gr žarjeno
Fe-Mn	(90 % Mn)	8,5	2,4
Fe-Mn	(90 % Mn)	21,4	2,0
Si-Mn	(75 % Mn, 25 % Si)	4,9	2,3
Si-Mn	(65 % Mn, 35 % Si)	21,9	2,9
Fe-Cr	(72 % Cr)	4,3	1,4
Fe-Cr	(68 % Cr)	4,0	—
Al	(99 % Al)	4,8	—
Fe-Mo	(70 % Mo)	3,5	—
Ni-mond	(99,5 % Ni)	3,3	—
Fe-Nb-Ta	(7,2 % Ta, 65,4 % Nb)	9,7	—
Fe-Ti	(40 % Ti)	12,2	—
Fe-V	(80 % V)	6,8	—
Fe-W	(64 % W)	14,0	—
Mn-metal	(98 % Mn)	20,1	3,4
Si-metal	(98 % Si)	2,6	—
Zr-Si	(40 % Zr, 60 % Si)	4,9	—

Tabela 5 — Vsebnost plinov v ferolegurah

APARATURE ZA DOLOČEVANJE PLINOV V JEKLIH

Vakuum ogrewna aparatura firme APLIED RESEARCH-LABORATORIES, ROTTERHAM, katere delovna temperatura je 850—900° C. Aparatura je zelo komplicirana in ker za določanje potrebujemo precej časa, neprimerna za industrijske namene. Čas trajanja za določanje je cca 2 uri. Bolj jo priporočajo v raziskovalne namene.

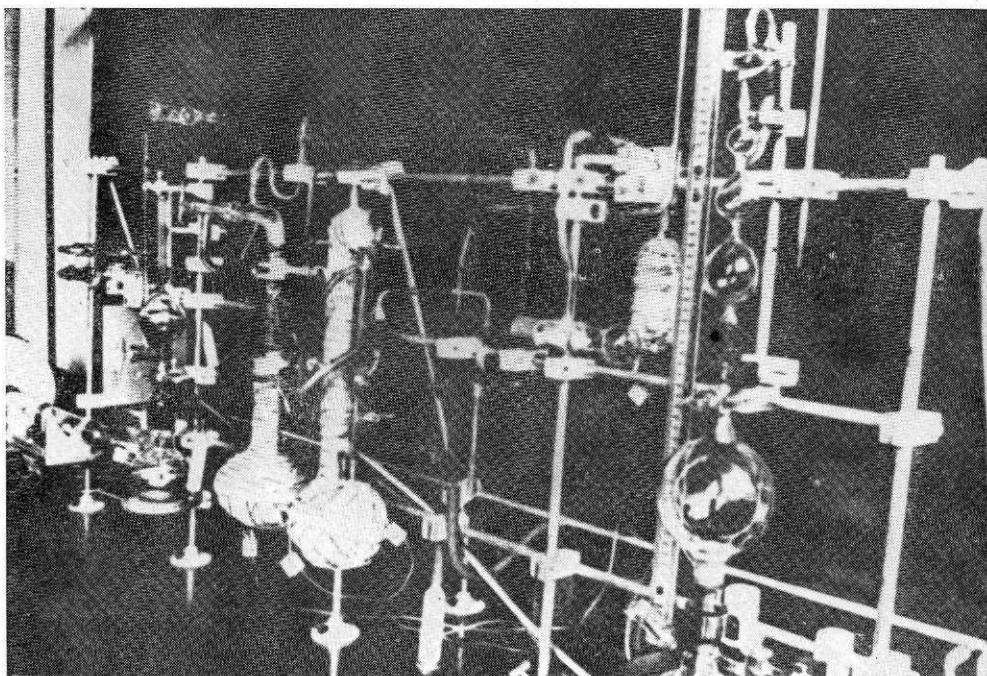
Predvakuumaska ogrewna aparatura po BAIKOVU, z delovno temperaturo 600° C in vakuumom 10⁻⁴ mm/Hg. Določitev traja 25 minut, kar je za obratne namene zadovoljivo. Aparatura daje po relativno hitrem postopku še uporabno oceno glede prisotnosti, odnosno vsebnosti vodika v jeklu. S to napravo smo določali pline v jeklu.

OPIS APARATURE ZA DOLOČEVANJE PLINOV V JEKLU PO BAIKOVU.

Aparatura sestoji iz:

- reakcijske cevi (1)
- evakuirnega ventila (2)
- brušene spojnice (3)
- trosmernega ventila (4)
- steklenega balona (5)
- Hg manometra s skalo (6)
- Mac Leodovega vakuummetra (18)
- Marsove silitne peči s pirometrom
- električnega upornega releja
- kovinskega stativa in porcelanske ladjice
- predvakuumске črpalke

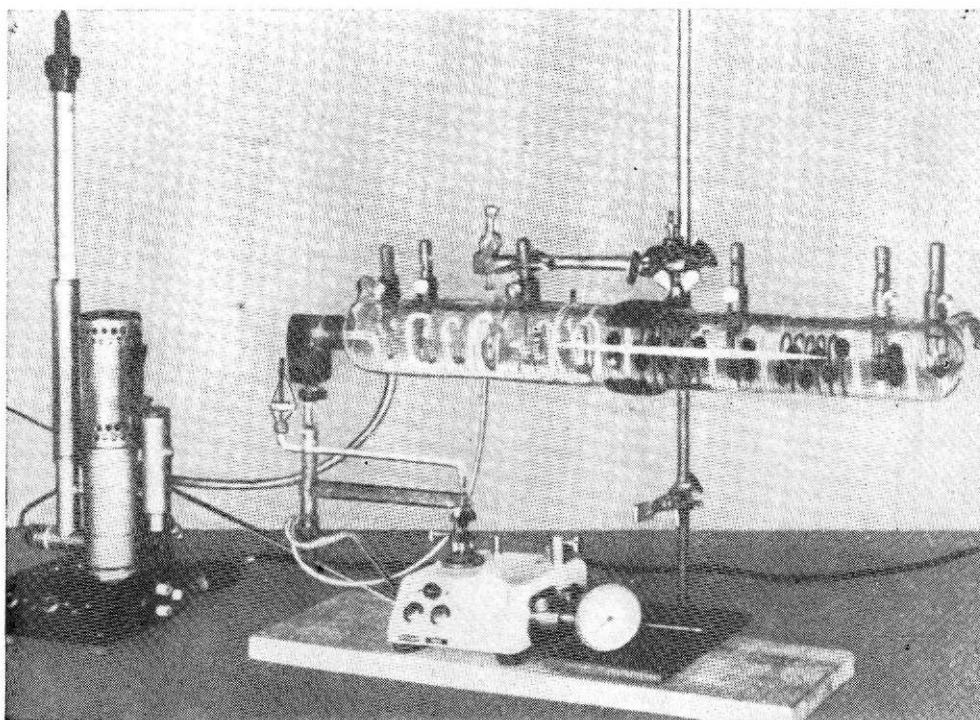
Reakcijska cev je izdelana iz kremenčevega stekla. Podrobnosti so razvidne s slike 11. V cevi se izvrši tako imenovana »vakuumaska ekstrakcija« plinov iz jekla pri temperaturi 600° C. Poleg Hg manometra je to najvažnejši del aparature. Pritrjena je na kovinsko stojalo.



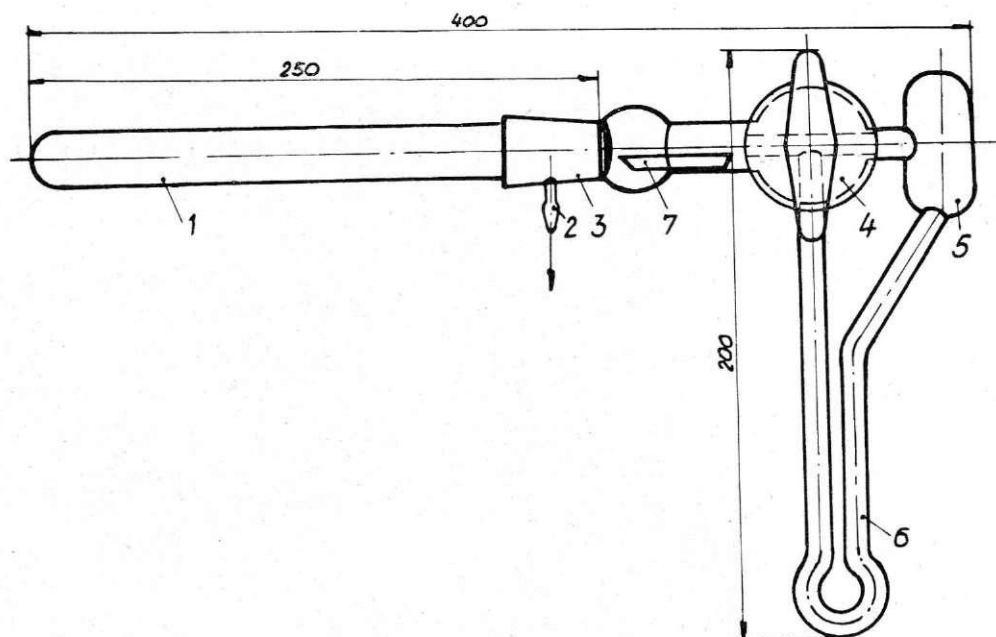
Slika 8 — Aparatura Applied Research-Laboratories, Rotterdam

Vakuum talilna aparatura po FEICHTINGERJU, z delovno temperaturo 2000° C. Opremljena je z avtomatskim plinskim analizatorjem. Uporabljamo jo v raziskovalne namene.

Evakuirni ventil, brušena spojnica, trosmerni ventil, stekleni balon in Hg manometer. Ti deli so izdelani iz Pyrex stekla. Brušena spojnica služi za spajanje re-



Slika 9 — Talilna aparatura po Feichtingerju



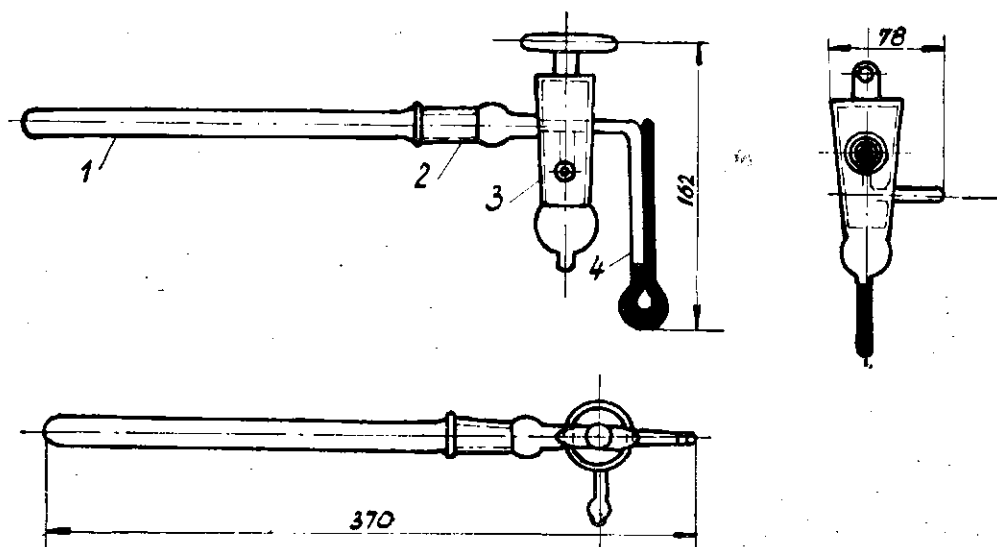
Slika 10 — Aparatura po Batalinu

akcijske cevi s trosmernim ventilom ter Hg manometrom. Z evakuirnim ventilom se izvede evakuacija reakcijske cevi, stekleni balon služi za izenačenje pritiska.

Porcelanska ladjica s P_2O_5 služi za sušenje eventualne vlage, ki nastane v aparaturi v času določevanja.

Marsova silitna peč s pirometrom ter upornim relejem. Silitna peč je namenjena za ogrevanje reakcijske cevi s preiskovanim vzorcem jekla. Z upornim relejem dosežemo potrebno temperaturo, ki jo kontroliramo s pirometrom.

MacLeodov vakuummeter, vakuum-ska predčrpalka. Z vakuummetrom preiz-



Slika 11 — Aparatura po Baikovu

kušamo vakuum, ki naj bo 10^{-3} do 10^{-4} mm/Hg. Vakuumska predčrpalka ustvarja predpisan vakuum.

Merjenje vakuumu izvedemo po predpisanem polnjenju vakuummetra in odzračanju.

ANALITSKA METODA DOLOČEVANJA PLINOV V JEKLIH

Princip: Metoda je osnovana na »predvakuumskem ogrevanju« vzorca pri delovni temperaturi 600°C in vakuumu 10^{-4} mm/Hg. Čas določitve je 25 minut. V osmih urah naredimo 8–10 analiz z »vakuumsko ekstrakcijo«, pri temperaturi 600°C ekstrahiramo v jeklu absorbirane pline.

Določevanje: Preiskovani vzorec jekla (legure) zatehtamo in vložimo v reakcijsko cev, ki jo zapremo z brušeno spojnico. Reakcijsko cev spojimo preko gumijaste cevi z vakuumsko predčrpalko in evakuiramo. Po kontrolnem merjenju z vakuummetrom segrevamo vzorec 25 minut v silitni peči pri 600°C . Po preteku tega časa prekinemo segrevanje, ohladimo reakcijsko cev z zrakom, na Hg manometru odčitamo mm/Hg. Iz odčitanih mm/Hg izračunamo vsebnost plina v vzorcu po naslednji formuli:

$$v = \frac{\Delta V \cdot \Sigma \cdot F (0,118) \cdot 100}{A} \quad (\text{ml H}_2/100 \text{ gr vzorca})$$

v = vsebnost vodika v ml/100 gr vzorca

ΔV = diferenca volumna reakcijske cevi v ml

Σ = vsota pritiska v mm Hg odčitana na manometru

A = zatehta v gr

F = faktor za vodik v iznosu 0,118

Vsebnost vodika oddajamo vedno v ml/100 gr vzorca. Gornjo formulo prevedemo v bolj enostavno, torej:

$$V_{H_2} = \frac{K \cdot \Sigma \cdot 100}{A} \quad (\text{ml/100 gr vzorca})$$

V_{H_2} = vsebnost vodika v ml/100 gr

Σ = odčitani pritisk na manometru v mm Hg

A = zatehta v gr

F = koeficient proporcionalnosti: združuje dve količini (ΔV in F — 0,118)

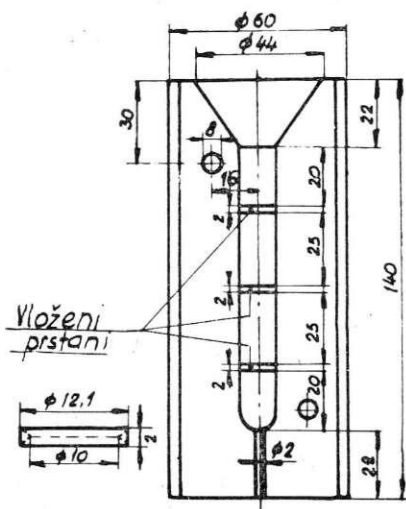
PROBLEMATIKA DELA, VZORČEVANJE, ANALIZA IN TOČNOST DELA

Difuzijska hitrost vodika v jeklu je pri sobni temperaturi zelo velika. Zato se mora vzorec jekla hitro ohladiti na temperaturo — 79°C ter na tej temperaturi ohraniti do izvedbe analize. Da zanesljivo dosežemo predpisano ohlajevalno hitrost, je potrebno upoštevati naslednje:

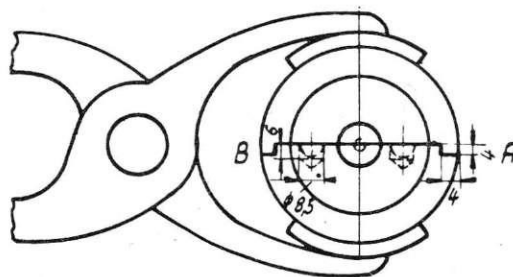
- kokila za odvzem vzorca mora biti kovinska
- vzorec mora biti čim manjši, ker le na ta način dosežemo ohlajevalno hitrost.

Kokila za odvzem vzorca sestoji iz polcilindričnega dela iz medenine in je opremljena s kleščami, ki drže kokilo skupaj. Detajli kokile so razvidni s slike 12 in 13.

Zunanje stene kokile morajo biti čiste in brez oksidnih plasti. Najprej izvršimo »slepo vlivanje« jekla v kokilo, po 10 sekundah odstranimo »slep



Slika 12 — Kokila za vlivanje vzorca



Slika 13 — Kokila za vlivanje vzorca — prirejena iz kokile za določitev ogljika

vzorec» iz kokile. Slepo vlivanje nam služi za segrevanje kokile same. Šele nato vzamemo »originalen vzorec«. Predpisano jemanje vzorca iz taline tekočega jekla je pogoj za realno vsebnost vodika v jeklu.

Dobre rezultate dobimo z jekleno kokilo, ki se uporablja za določanje ogljika, le da je spodaj prevrtna izvrtina 2 mm (slika 13).

Vzorec vzamemo iz taline tekočega jekla in pomirimo z Al žico. Nato tekoče jeklo vlijemo v kokilo. Paziti je treba, da je livna višina kokile izpolnjena, kar daje cilindrično obliko vzorca. Ko-

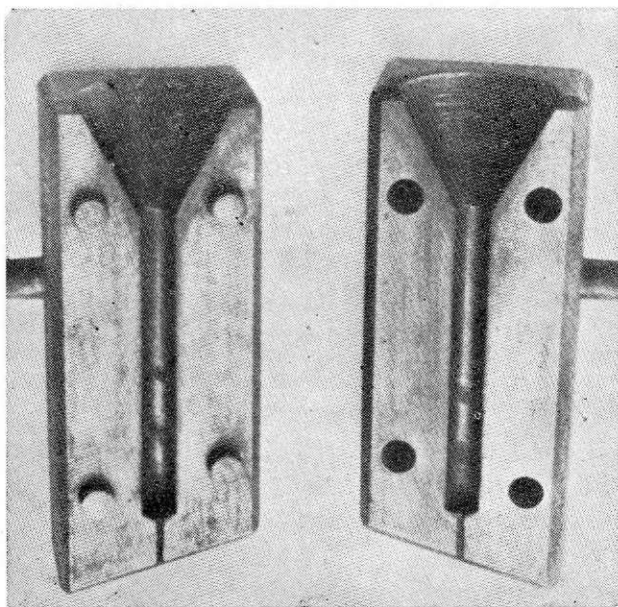
kilo nato hitro odpremo, preizkusimo, pomočimo v vodo ter mešamo cca 10 sekund. Po 10. sekundah mora biti temperatura vzorca še taka, da kapljice vode s površine vzorca takoj shlape.

Za analizo vsebnosti plinov je uporaben samo »srednji del« vzorca. Srednji del vzorca vložimo v trden CO_2 (-79°C) in hranimo v Dewarjevi posodi do pričetka analize. V primeru, da jemljemo vzorec dlje kot 30 sekund, so rezultati analize nezanesljivi in je tak vzorec treba zavreči.

Povprečen čas pravilnega odvzema vzorca iz taline tekočega jekla do shranjevanja v Dewarjevo posodo je 18–24 sekund. Vzorce z livnimi napakami in žlindrinimi vključki je nujno treba zavreči, ker sicer dobimo netočne rezultate.

V Dewarjevi posodi (-79°C) hranimo »srednji del« vzorca do začetka analize. Vzorec ima obliko cilindrične palice z dolžino 2–6 cm in premerom 12 mm. Površino vzorca (palice) mehansko očistimo, nato ponovno vložimo v trden CO_2 . Vzorec pustimo cca 5 minut v trdnem CO_2 , šele nato ga operemo z alkoholom, da odstranimo eventualne maščobe s površine vzorca. Vzorec vzamemo s pinceto iz alkohola in zatehtamo. Nato vložimo s pinceto zatehtan vzorec v reakcijsko cev, sklopimo aparaturu z vakuumsko predčrpalko in evakuiramo. Ostalo izvedemo po predpisanem postopku. Izračun vsebnosti vodika ter formula sta navedeni pri poglavju »Analitska metoda določevanja plinov v jeklih.«

Točnost rezultatov je odvisna od pravilnega odvzema vzorca, ki se ravna po DIN predpisih (1710–61)



Slika 14 a — Prirejena kokila za jemanje vzorca

MERJENJE PLINOV V ČASU IZDELAVE ŠARŽE

Merjenja so bila izvedena pri izdelavi visoko siliciranih jekel, da bi ugotovili nihanje vodika v visoko siliciranih jeklih.

Navajamo nekaj primerov gibanja vodika pri izdelavi visoko siliciranih jekel.

Celoten potek izdelave šarže smo spremljali z merjenjem vsebnosti vodika v posameznih fazah in različnih časovnih intervalih odvzema vzorca, kar je razvidno iz spodaj navedenih razpredelnic.

TRAFO — šarža 10816

Vzorec	Čas odvzema	Vsebnost plinov v ml/100 gr
1.	7.50h	4,7
2.	8.45	5,0
3.	9.10	3,0
4.	9.40	3,7
5.	9.55	4,1
6. končni vzorec	10.05	4,2

Šarža E 10820, kvaliteta TRAFO

Vzorec	Čas odvzema	Vsebnost plinov v ml/100 gr
1.	10.30h	3,2
2.	11.20	5,0
3.	12.00	4,8
4.	12.30	4,5
5. končni vzorec	12.40	4,5

Šarža B 2432, kvaliteta DINAMO

Vzorec	Čas odvzema	Vsebnost plinov v ml/100 gr
1.	12.45h	5,7
2.	15.15	4,0
3.	15.30	3,6
4. končni vzorec	15.45	3,6

Šarža B 2430, kvaliteta DINAMO

Vzorec	Čas odvzema	Vsebnost plinov v ml/100 gr
1.	20.00h	5,6
2.	21.10	4,6
3. končni vzorec	21.30	4,4

Šarža B 2427, kvaliteta DINAMO

Vzorec	Čas odvzema	Vsebnost plinov v ml/100 gr
1.	17.00h	5,2
2.	17.30	5,4
3.	18.20	5,0
4. končni vzorec	18.45	4,7

Tabela 6 — Vsebnost plinov v šaržah dinamo in trafo jekla

Zaključki. Čas odvzema vzorca 18 do 23 sekund. Vzorci zelo lepi. Pri odvzemu vzorca smo strogo upoštevali DIN norme. Iz gornjih razpredelnic vidimo, da vsebnost plinov pada in doseže vrednost cca 4 do 5,00 ml/100 gr.

Z aparaturu za določevanje vodika po BAIKOVU je dana možnost, da se analizirajo vsakodnevne pošiljke dobavljenih legur, kar je za kvalitetno izdelavo visoko siliciranih jekel velikega pomena. Obenem pa nudi metalurgu rezultate analiz na vsebnost vodika v času izdelave šarže. Sam postopek ne zahteva posebnih investicij, ki dejansko za uvedbo tega dela niti niso potrebne. V tem je velika prednost tega postopka, saj ga je možno osvojiti prav v vsaki železarni.

Pri vzporejanju rezultatov na vsebnost vodika v visoko siliciranih jeklih analiziranih na Jesenicah (po metodi BAIKOVA) in v Ljubljani na Metalurškem inštitutu (po metodi SHANAHANA) so zapažena določena odstopanja, zaradi tega, ker pri vakuumski ekstrakciji po BAIKOVU, kot zatrjujejo podatki iz tehnične literature, dobimo poleg vodika tudi nekaj ostalih plinov (kisik in dušik).

V količini vseh ekstrahiranih plinov je vodika 90—95 %, medtem ko po metodi SHANAHANA dobimo samo vodik.

Poizkusi, ki smo jih delali pri nas na Jesenicah vzporedno z Metalurškim inštitutom v Ljubljani, izkazujejo za vodik 10—12 % višje vrednosti.

Ta odstopanja so razvidna iz naslednje razpredelnice:

Vzorec	Metalurški inštitut Ljubljana	OTK Jesenice
1	5,3 ml/100 gr H ₂	7,1 ml/100 gr H ₂
2	6,7 ml/100 gr H ₂	7,7 ml/100 gr H ₂
3	6,9 ml/100 gr H ₂	8,2 ml/100 gr H ₂
4	6,0 ml/100 gr H ₂	7,0 ml/100 gr H ₂
5	5,7 ml/100 gr H ₂	6,4 ml/100 gr H ₂
6	5,0 ml/100 gr H ₂	5,7 ml/100 gr H ₂
7	5,9 ml/100 gr H ₂	7,4 ml/100 gr H ₂
8	5,5 ml/100 gr H ₂	5,9 ml/100 gr H ₂

Tabela 7 — Primerjava rezultatov po metodah »Baikov« in »Shanahan«

Metoda določevanja vodika po Baikovu se je izkazala kot zelo primerna v industrijske namene, tako po svoji hitrosti kot točnosti. Metalurgu nudi v relativno zelo kratkem času rezultate analize, ko izdeluje šaržo in daje pri pravilno odvzetemu vzorcu in ob upoštevanju vseh predpisov uporabne rezultate.

Literatura:

1. Prof. dr. ing. Eduard Houdremont: »HANDBUCH DER SONDERSTAHLKUNDE« Springer Verlag - Berlin 1943
2. Ing. B. H. Han »RASKISLENIE, DEGAZACIJA I LEGIROVANIE STALI« Metalurgizdat 1961 — Moskva
3. »STAHL UND EISEN« Heft 13/62
4. »RADEX RUNDSCHAU« HEFT 1/61
5. SLAVKO TARMAN: Diplomsko delo 1963

Osnove radiografije in izdelava diagrama za pogoje presevanja

Z razvojem sodobne tehnike se postavljajo vedno večje zahteve po vzdržnosti materialov in s tem zgrajenih objektov. Ekonomika gradnje teži za tem, da se faktor predimenzioniranja čim bolj zmanjša. To pa je mogoče doseči samo takrat, kadar sta vgrajeni material in tehnična izvedba gradnje podvržena zanesljivi kontroli. Zato se vzporedno z razvojem ostalih panog razvijajo tudi metode preiskav.

Za preiskave gotovih proizvodov in objektov so danes v glavnem znane tri metode, pri katerih ostane objekt nepoškodovan:

- a) Presevanje z rentgenom, betatronom in z radioaktivnimi izotopi.
- b) Ultrazvok
- c) Magnetofluks

Čeprav se danes vse tri metode uporabljajo v najrazličnejših izvedbah, ki so prirejene potrebam tehnike, nobena od njih ni univerzalna. Izbira metode je stvar strokovnjaka, ki dobro pozna tehnološke in mehanske lastnosti objekta kakor tudi metode preizkušanja. Le strokovnjak, ki pozna napake in ve, kje lahko nastopajo, povrhu pa so še kritične za objekt, bo znal izbrati metodo, ki bo zanesljiva in najbolj ekonomična. Večkrat se uporablja tudi kombinacija metod (npr.: Ultrazvok in presevanje).

Metode presevanja so danes že zelo izpopolnjene in se v svetu mnogo uporabljajo. Prav gotovo je presevanje ena od najvažnejših metod industrijske defektoskopije. Veliko se uporablja v ladjedelnstvu, livarstvu, pri gradnji letal, železnic, mostov in drugih najrazličnejših konstrukcijah. Največ pa se se uporablja pri preiskavah zvarov. Sodobne gradnje varjenih objektov si danes brez radiografske preiskave ne moremo več predstavljati. Industrijska radiografija danes postaja tudi v naših podjetjih tekoča industrijska praksa.

Osnove radiografskega postopka

Naloga radiografije je, da dá čim bolj jasno sliko projekcije napake v materialu, ki ga raziskujemo. Pri tem izkoriščamo dejstvo, da imajo različne snovi, ki so lahko za navadno svetlobo nepropustne, različno absorpcijsko sposobnost za x in γ žarke. Na tem so zasnovane vse metode radiografskih raziskav, metoda fotoemulzije, metoda s pomočjo fluorescenčnega zaslona, kseroradiografske metode in impulzne metode. Pri vseh si

ustvarimo sliko o homogenosti materiala tako, da registriramo intenziteto prepuščenih žarkov po površini projekcije telesa.

Velika prednost radiografije pred ostalimi metodami je v tem, da nam omogoča ugotoviti vrsto in lego napake v notranjosti in da pri tem ostane objekt cel. Da nam tudi dokument — film, ki je velikokrat pri končnih odločitvah o materialu tako potreben. Mnoga podjetja so s tem dokazala kvaliteto svojih izdelkov.

Konstrukterju, ki ve, da v objektu ne bo napak, je omogočena cenejša izvedba (varjenje namesto zakovičenja, vlivanje namesto kovanja) in pri dimenzioniranju lahko veliko prihrani, ker je faktor sigurnosti lahko manjši. Če vemo za položaj in vrsto napake, jo lahko odpravimo in se ji pri naslednjih izdelkih izognemo. Prav v tem je prednost radiografije pred ostalimi načini preiskave materiala, ki nam o vrsti in lokaciji napake ne daje takih podatkov — (ultrazvok). Priznati pa je treba, da za vse vrste napak (tanke razpoke, nespojena mesta), radiografske metode niso najbolj idealne. Le z veliko sposobnostjo in natančnostjo radiografa jih lahko odkrijemo. V takih primerih pa imajo prednosti ultrazvočne preiskave. Najcenejša in najzanesljivejša je kombinacija ultrazvoka z radiografijo, tako da najprej izvršimo ultrazvočno preiskavo in le na mestih, kjer se pojavijo napake, še radiografsko, da dobimo točnejšo sliko.

Positiven je tudi psihološki efekt na varilca, če ve, da bo njegov zvar radiografiran.

Da bi dosegli dobre in zanesljive rezultate pa je važno, da delamo z odgovarjajočo opremo in zanesljivim strokovno dobro podučnim osebjem, kajti izdelek radiograma s čim večjo zaznavnostjo je stvar radiografske tehnike dela in kombinacije vrste faktorjev, ki vplivajo na rezultat.

Lastnosti in nastanek x žarkov

V radiografiji se za izdelavo radiografskih posnetkov uporabljajo x in γ žarki, ki so po svojem bistvu elektromagnetni valovi in po naravi isti kot vidna svetloba, ultravioletni žarki in radiovalovi. Od teh se razlikujejo le po svoji manjši valovni dolžini, ki je lahko od enega do nekaj stotink Å. Razlika med x in γ žarki je v manjši valovni dolžini γ žarkov, kar jim omogoča večjo prodorno moč, in v načinu izvora. Izvor za x žarke je električna naprava — rentgen aparat. Izvor γ žarkov

pa so naravni radioaktivni elementi: radij, radon, mezotorij ali umetni radioaktivni izotopi.

Ker je uporaba γ žarkov v radiografiji poglavje zase, bo v nadaljnjem govoru le o x žarkih.

x žarki imajo zaradi svoje majhne valovne dolžine to lastnost, da prehajajo skozi vse materiale neodvisno od agregatnega stanja. Pri vsakem prehodu pa se jih del absorbira. Absorbicija bo tem večja, čim višje bo atomsko število materiala in čim večja bo valovna dolžina x žarkov.

Na emulzijo rentgen filma delujejo x žarki tako, da se po razvijanju v za to pripravljenem razvijalcu srebrovi halogenidi pretvorijo v črno kovinsko srebro.

Za nastanek x žarkov služi rentgenska cev, skozi katero teče istosmerni tok visoke napetosti. V električnem polju visoke napetosti (rentgenski cevi) teče tok elektronov skozi brezračni prostor, pospešen z visoko napetostjo. Če ta tok na svoji poti zadene na drugi pol električnega potenciala, se potencialna energija elektronov pretvori v kinetično. Pospešeni elektroni se zaustavljajo v anodnem materialu in pri tem nastajajo x žarki na dva načina:

1. Če prileti elektron v visoko električno polje atomskega jedra, se njegova hitrost zaradi delovanja tega polja na elektron zmanjša. V slučaju, da se elektron popolnoma zaustavi, se vsa njegova kinetična energija pretvori v x žarke.

2. Elektroni na svoji poti z veliko hitrostjo zadenejo na druge elektrone, ki krožijo okoli atomskega jedra. V takem slučaju se lahko izbije kak elektron iz notranje lupine atomskega jedra, kjer nastane prazno mesto, ki ga izpolni elektron iz zunanje lupine. Tako nastane žarčenje anodnega materiala.

Pri zaustavitvi elektronov na anodi pa se le majhen del energije, ki jo dajo elektroni, uporabi za tvorbo x žarkov (manj od enega procenta). Vsa ostala energija pa se pretvori v toploto. Zato je potrebno anodo zelo intenzivno hladiti, posebno, če je cev obremenjena z visoko napetostjo. Z ozirom na način hlajenja pa danes poznamo že celo vrsto izvedb rentgenskih cevi.

Rentgenske cevi

Rentgenska cev, visokonapetostni generator oziroma transformator, usmerni tokokrog in komandna plošča so štirje glavni deli vsake rentgenske aparature.

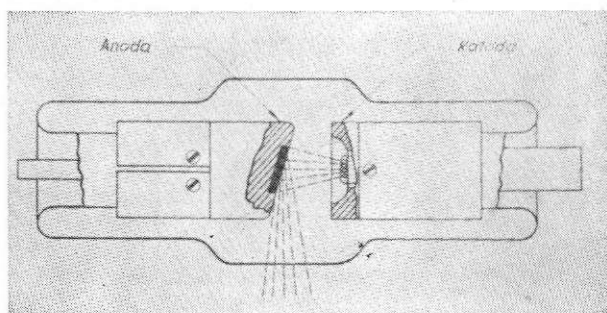
Cev predstavlja steklen balon, v katerem sta nameščeni: katoda — negativni pol in anoda — pozitivni pol. Iz žareče katode, ki je čašaste oblike, da usmerja tok elektronov, tečejo elektroni skozi brezračen prostor na anodo, kjer nastanejo x žarki. Količina elektronov je funkcija temperature katode, ki jo je mogoče spreminjati s tokom, ki katodo segreva (mA).

Anoda je običajno volframova ploščica, ki ima visoko tališče. Vdelana je v bakren blok, ki hitro odvaja toploto. Ker se okoli 99 odstotkov energije

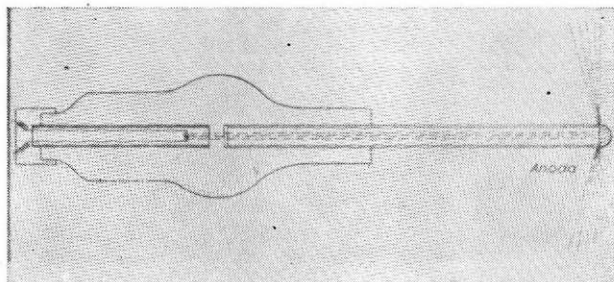
elektronov spremeni v toploto, mora biti hlajenje dovolj intenzivno, da se anoda ne raztali. Običajno je cela cev potopljena v olje, ki služi kot hladilno sredstvo in je tudi dober izolator. Obstajajo pa tudi aparature z vodnim sistemom hlajenja, druge spet z rotirajočo anodo itd.

Zaradi smeri nastalih x žarkov je anoda običajno nagnjena za 20 do 30° v smeri toka elektronov (glej sliko 1).

Za posebne namene, kjer nam je potrebno sevanje v krogu 360°, pa obstajajo specialne vrste cevi z votlo anodo. Snop elektronov teče od katode vzdolž cevi, ki je lahko dolga nekaj dm in udarja na koncu na anodo, ki usmerja x žarke v krogu 360°, kot kaže slika 2.



Slika 1 — Skica rentgenske cevi normalnega tipa, pri kateri je smer sevanja določena



Slika 2 — Skica rentgenske cevi z votlo anodo holandskega tipa, ki seva v krogu 360°

Kot izvor visoke napetosti električnega toka služi lahko generator, običajno pa, posebno pri novejših aparataturah, kar visokonapetostni transformator. Transformator je prikladnejši, ker je lahko manjših dimenzij in se lahko priključi na vsako mrežno napetost. Za stabilizacijo električnega toka se lahko uporabi še avtotransformator ali stabilizator.

Rentgen aparature

V industrijski radiografiji sta poznana v glavnem dva tipa rentgenskih aparatov: kompaktni tip in tip z visoko napetostnimi kabli. Pri prvem sta rentgenska cev in visokonapetostni transformator v neposredni zvezi in vgrajena v isto ohišje. Za povezavo med njima in komandno ploščo pa služi več žilni visokonapetostni kabel. Pri drugem pa je cev ločena od transformatorja oziroma generator-

ja in z njim zvezana s posebnim visokonapetostnim kablom. Ti kabli imajo posebno izolacijo in pri višjih napetostih postanejo zelo masivni in kruti ter zato pri premikanju podvrženi okvaram.

Izbira tipa aparature je odvisna od namena uporabe. Za delo na stalnem mestu — laboratoriju se bomo odločili za aparaturo z visokonapetostnimi kabli, za delo na terenu pa za kompaktno aparaturo.

Področje uporabe rentgenskih aparatov pa je omejeno z vrsto in debelino materiala, ki ga preizkušamo. Maksimalna debelina pri presevanju materiala je namreč funkcija valovne dolžine uporabljenih x žarkov, če so ostali pogoji neispremenjeni. Čim manjša je valovna dolžina x žarkov, ki jih daje rentgenska cev, tem večja je lahko debelina presevanega materiala. Valovna dolžina žarkov pa je funkcija napetosti, ki žene elektrone skozi cev in je tem manjša, čim višja je napetost. Torej je uporaba rentgenskih aparatov omejena z maksimalno napetostjo, ki jo lahko prenese rentgenska cev.

Industrijski rentgenski aparati so običajno grajeni za napetosti od 95 do 400 KV, kar omogoča presevanje jekla do 90 mm. V Ameriki so poznane izvedbe rentgenskih aparatov tudi do 2000 KV, vendar je izvedba take aparature tehnično zelo težka in zato tudi redka. V novejšem času se za presevanje večjih debelin vse bolj uporabljajo tako imenovani industrijski »betatroni«, ki omogočajo presevanje jekla tudi do 400 mm. Čas presevanja za 150 mm jekla npr. znaša le 5 minut, če se presevanje vrši s 30 MeV betatronom. Poznana pa je tudi že uporaba sterco-betatronov, s katerimi se da z enkratnim presevanjem določiti tudi globina lege napake.

Železarna Jesenice ima industrijski rentgenski aparat »DRAVA«, ki je proizvod RR iz Niša. Po tipu je to kompaktna aparatura. Maksimalna obremenitev aparata je možna 200 KV, 5 mA, kar omogoča presevanje jekla do 70 mm s solnimi ojačevalnimi folijami in do 45 mm s svinčnimi ojačevalnimi folijami. Aparat je predviden za režim dela 1:1 (delovanje — odmor za hlajenje cevi). Izvedba aparature je primerna za delo v laboratoriju in na terenu, kjer je možna priklopitev na električno omrežje napetosti 110 V, 220 V, ali 380 V.

DIAGRAM EKSPOZICIJE ZA RENTGENSKI APARAT »DRAVA« RR — NIŠA

Pri praktičnem delu z rentgenskim aparatom je treba hitro in čim bolj enostavno določevati pogoje presevanja. Da pa dobimo dober radiogram presevanega kosa (primerka), je potrebno poleg vrste rentgenske aparature upoštevati še naslednje faktorje:

- a) vrsto in debelino materiala, ki ga presevamo
- b) napetost toka
- c) jakost toka

- d) čas presevanja
- e) zaželeno počrnitev radiograma
- f) vrsto filma in ojačevalnih folij
- g) oddaljenost filma od izvora x žarkov
- h) pogoji razvijanja in fiksiranje eksponiranega filma.

Vsi naštetih faktorji so si v medsebojni odvisnosti in že pri manjšem odstopanju vrednosti katerega koli, se počrnitev in s tem zaznavnost na radiogramu močno spremeni.

V praksi se lahko precej faktorjev fiksira, ostale pa medsebojno poveže v diagram, iz katerega bi hitro in enostavno lahko določili pogoje, ki bodo najugodnejši za presevanje določene debeline. Kjer se vrši presevanje preizkušancev različnih debelin in za delo na terenu je diagram ekspozicije nujno potreben. Brez diagrama je delo zamudno in za poizkusna presevanja se porabi veliko časa in rentgenskih filmov.

V Raziskovalnem oddelku Železarne Jesenice je bil izdelan diagram ekspozicije za rentgensko aparaturo »DRAVA« 200 KV, 5 mA. Diagram je rezultat praktičnih presevanj različnih debelin jekla pod različnimi pogoji na film Ferrania IC s svinčnimi ojačevalnimi folijami. Za ostale filme, ki so navedeni v diagramu, pa so določeni korekturni faktorji, ki odgovarjajo pogojem diagrama.

Praktična izvedba

V diagramu so od prej naštetih faktorjev, ki vplivajo na izdelavo radiograma, fiksirani naslednji:

a) Vrsta aparature

Pri preizkusu smo uporabljali aparaturo »DRAVA« 200 KV 5 mA. Praktična primerjava rezultatov, dobljenih pri presevanju pod enakimi pogoji med aparaturo »DRAVA« in aparaturom Scifert, je pokazala znatna odstopanja. Diagram ekspozicije odgovarja le za aparaturo, s katero je bil izdelan.

b) Počrnitev diagramov

(Počrnitev je logaritem razmerja jakosti svetlobe, ki pade na film in jakosti svetlobe, ki jo film propušča. Počrnitev 1, 2, 3 dobimo, če film propušča 10, 1 ali 0,1 odstotka svetlobe.) Počrnitev radiograma mora biti dovolj velika, da napake lahko pridejo do izraza. Pri grobo zrnatih filmih, pri katerih se običajno uporabljajo solne ojačevalne folije, zaznavnost s povečano počrnitvijo raste samo do določene meje. Pri prevelikih počrnitvah pa nastopi tako imenovana solarizacija zrn, ki zaznavnost zmanjšuje. Pri počasnih fino zrnatih filmih, ki se uporabljajo brez ali s svinčnimi ojačevalnimi folijami, pa zaznavnost s počrnitvijo raste. Počrnitev pa je omejena s načinom čitanja radiograma. Radiograme s počrnitvami od 1,3 do 2,2 informativno lahko čitamo pri dnevni svetlobi ali navadni električni luči. Pri večjih počrnitvah in za točnejše čitanje pa se uporabljajo posebni iluminatorji, ki so izdelani v ta namen.

Radiogrami na film ferrania IC se delajo s počrnitvijo od 1,9 do 2,5. Naš diagram je izdelan za počrnitev 2,2.

c) Pogoji razvijanja

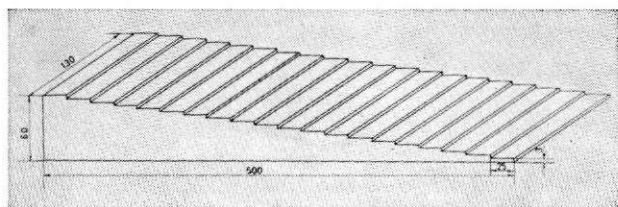
Vsi radiogrami naj bodo razvijani pod enakimi pogoji in v svežem razvijalcu! Pri izdelavi našega diagrama je bil uporabljen domači razvijalec FRX 2 pri temperaturi 18° C.

d) Vrsta filma in ojačevalnih folij

Diagram je izdelan s filmom ferrania IC in s svinčenimi ojačevalnimi folijami. To je fino zrnat, počasen, visoko kontrasten film, namenjen za uporabo brez ali s svinčenimi ojačevalnimi folijami. Pri debelinah do 30 mm dobimo z njim zelo dobre rezultate zaznavnosti in se v Železarni Jesenice trenutno največ uporablja.

Vsi ostali faktorji pa so zajeti v diagramu in se lahko poljubno spreminjajo.

Za izdelavo končnega diagrama je potrebno najprej izdelati vsaj štirikrat po štiri diagrame počrnitev — debelina pri štirih različnih časih presevanja. V vsakem pa naj bodo vrisane krivulje uporabljenih napetosti pri jakosti toka (4 mA). Da dobimo podatke za te krivulje, je treba presevati pri istih pogojih različne debeline jekla. V ta namen izdelamo stopničasti klin, kot ga kaže slika 3.



Slika 3 — Stopničasti klin za presevanje različnih debelin jekla

Na klinu naj bodo debeline od 3 do 60 mm. Če klin večkrat presevamo, dobimo na filmih različne počrnitve, ki jih lahko fotometrično izmerimo in vnesemo v diagrame počrnitev — debelina (slika 6).

Od števila stopnic, to je izmerjenih počrnitev na enem filmu, je odvisna točnost krivulje in s tem točnost končnega diagrama.

Za izbiro časov in napetosti je treba določiti minimum in maksimum. S poizkusi določimo približne pogoje za presevanje debeline 3 in 60 mm, ki nam služijo za orientacijo.

Pri izbiranju razdalje med izvorom in filmom se mora upoštevati nastopanje geometrijske neostrine, ki za dober diagram ne sme presegati 0,25 pri debelini do 60 mm.

Izračun najmanjše razdalje izvor - film:

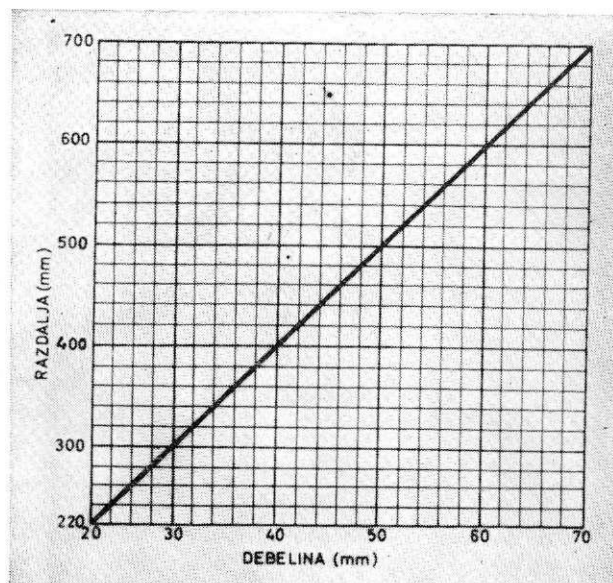
F = razdalja izvor - film

Ø = premer izvora x žarkov

x = geometrična neostrina

b = razdalja detalj - film

$$F = \frac{\phi \cdot b}{x} + b$$



Slika 4 — Diagram najmanjše možne razdalje med izvorom - filmom pri določenih pogojih

Izračunane najmanjše možne razdalje so vnesene na diagram na sl. 4. Presevanje na najmanjši možni razdalji pa se priporoča le pri večjih debelinah, ker se z manjšo razdaljo povečuje x in s tem manjša zaznavnost na radiogramu.

Za izdelavo diagrama se izbere razdalje 700, 600, 500 in 300 mm.

Ravno tako si poljubno izberemo štiri različne čase: 3 min., 7 min., 18 min. in 45 min., ki so si v približnem logaritmичnem zaporedju, kar omogoča večjo točnost pri risanju diagrama.

Klin z vsemi stopnicami presevamo pri šestih različnih napetostih (100, 120, 140, 160, 180 in 200 KV), štiri različne čase za vsako razdaljo. Če izmerimo počrnitve na filmih, dobimo tabelo, kot jo kaže tabela 1. Tabela odgovarja počrnitvam, če je razdalja med izvorom in filmom 700 mm.

Vseh 24 presevanj ponovimo še na razdaljah 600, 500, 400 in 300 mm. Tako dobimo pet tabel, iz katerih vnesemo vrednosti v diagrame počrnitev — debelina. Za razdaljo 700 mm nam te diagrame prikazuje slika 5.

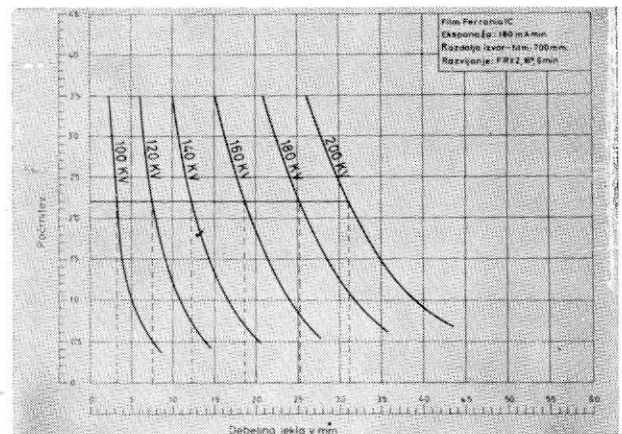
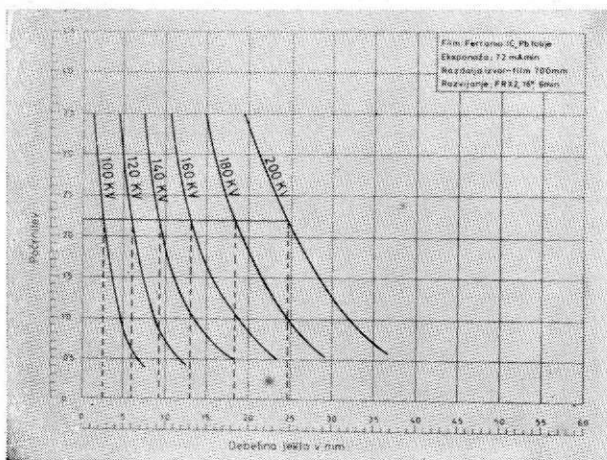
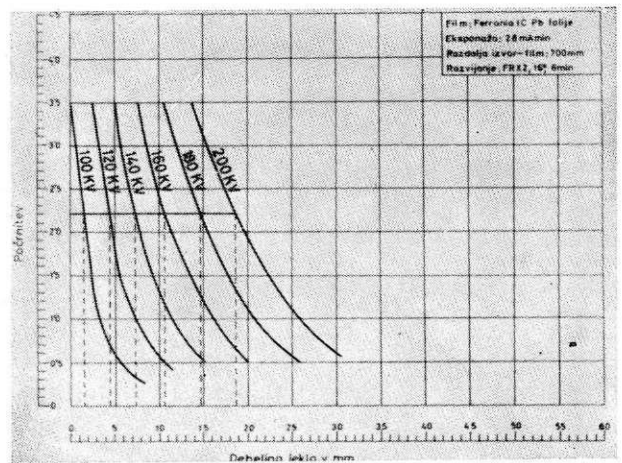
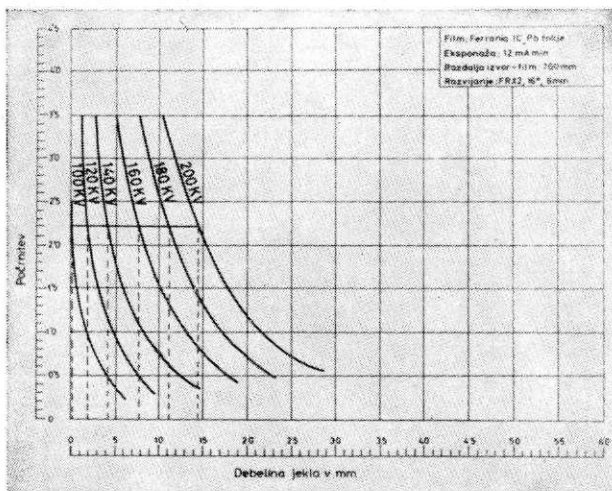
Pri zaželeni počrnitvi, v našem primeru 2,2, potegnemo horizontalo. Iz presečišč s krivuljami potegnemo vertikale na absciso. Tako dobimo vrednosti debeline materiala. To so vrednosti, ki nam dajo enako počrnitev filma pri štirih različnih časih presevanja. Če te vrednosti vnesemo v diagram debeline — čas in jih zvezemo, dobimo premico, ki predstavlja zvezo med debelino materiala in časom presevanja. Take premice vrišemo za vseh šest napetosti na diagramih za vse razdalje (slika 6).

Premice napetosti v diagramih ekspozicije predstavljajo odnos debeline jekla (na abscisi) in ekspozicije (na ordinati), ki je vnesena kot pro-

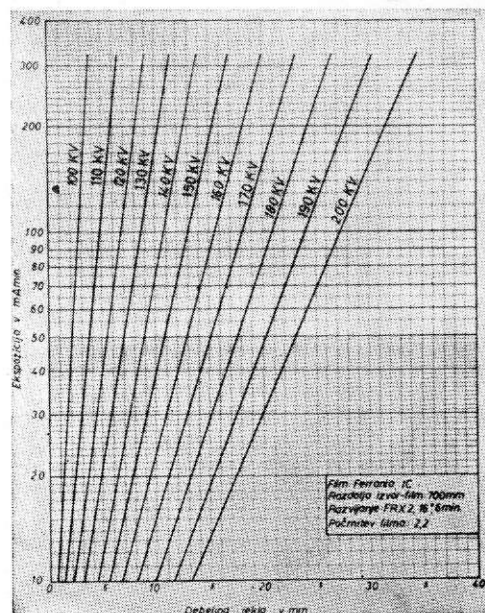
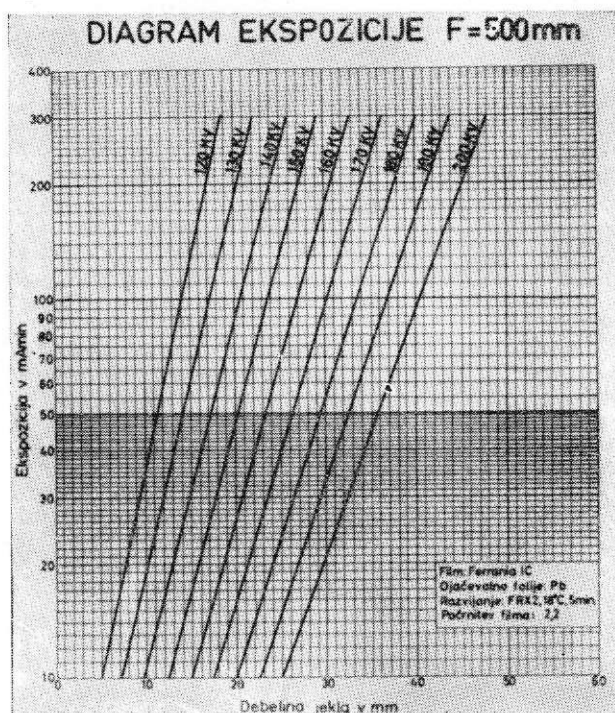
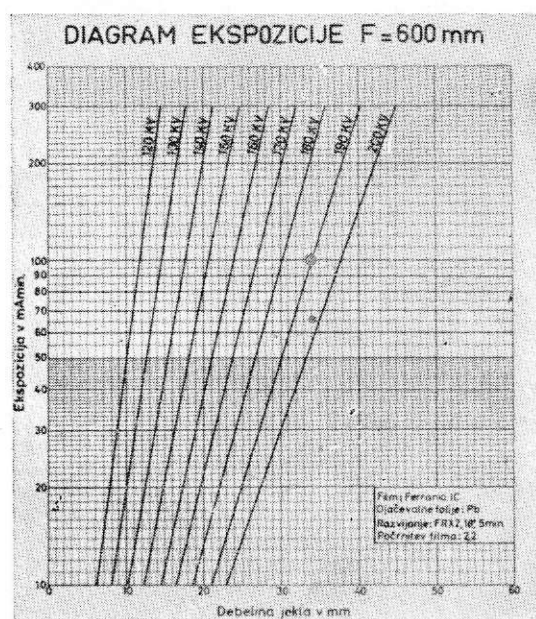
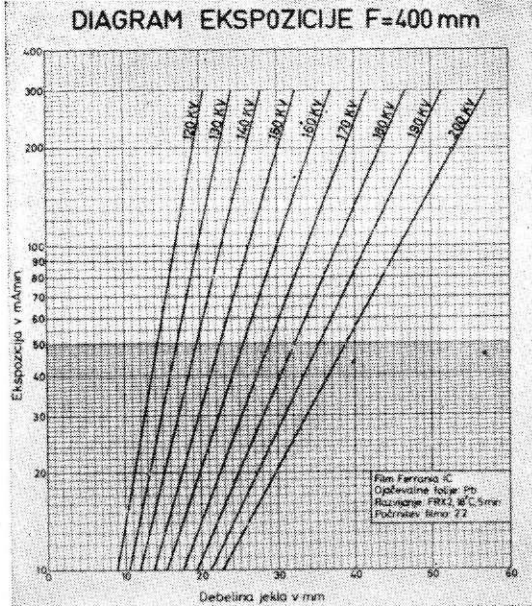
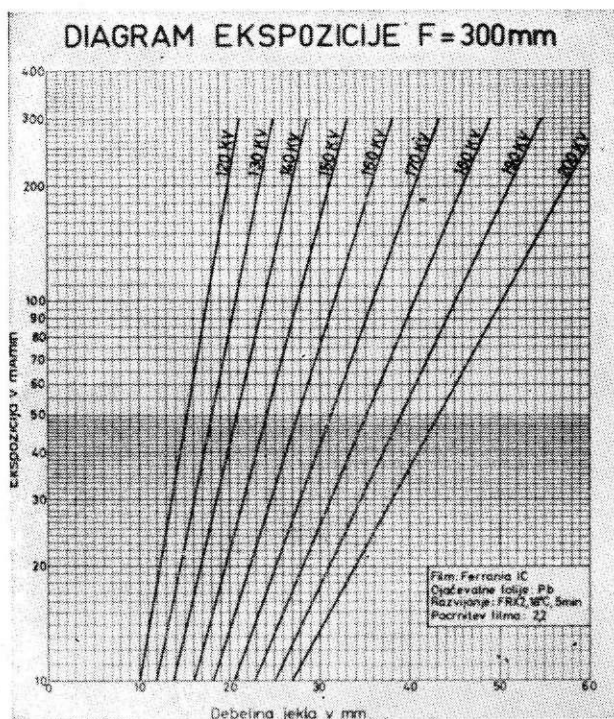
TABELA POČRNITEV FILMA

Debelina v mm	2,5	5,5	8,5	11,5	14,5	17,5	20,5	23,5	26,5	29,5	32,5	35,5	38,5	Oznaka na filmu
4 mA, 3 min.	100 KV	0,75	0,27											A 1
	120 KV	2,70	0,80	0,40	0,28									A 2
	140 KV	3,90	1,97	0,95	0,53	0,36								A 3
	160 KV		3,25	2,00	1,20	0,80	0,50	0,32						A 4
	180 KV			3,20	2,15	1,41	0,90	0,61	0,41					A 5
	200 KV				3,20	2,10	1,51	1,10	0,80	0,66	0,51			A 6
4 mA, 7 min.	100 KV	1,45	0,50	0,25										B 1
	120 KV	3,60	1,57	0,78	0,33									B 2
	140 KV		3,10	1,72	1,00	0,49	0,39							B 3
	160 KV			3,00	1,77	1,06	0,68	0,46						B 4
	180 KV				3,28	2,40	1,52	1,00	0,70	0,50				B 5
	200 KV					3,35	2,52	1,90	1,35	0,89	0,64	0,48		B 6
4 mA, 18 min.	100 KV	1,80	0,60	0,26										C 1
	120 KV		2,50	1,09	0,43	0,30								C 2
	140 KV			2,79	1,47	0,88	0,53	0,37						C 3
	160 KV				2,91	1,78	1,18	0,66	0,44	0,34				C 4
	180 KV					3,39	2,40	1,72	1,21	0,75	0,50	0,31		C 5
	200 KV							3,22	2,55	1,86	1,34	0,94	0,67	C 6
4 mA, 45 min.	100 KV	3,80	0,83	0,33										D 1
	120 KV		3,85	1,83	0,80	0,43								D 2
	140 KV				2,60	1,43	0,79	0,49						D 3
	160 KV						2,42	1,65	1,05	0,68	0,46			D 4
	180 KV							3,70	2,51	1,83	1,32	0,87	0,62	D 5
	200 KV									3,25	2,56	1,86	1,34	D 6

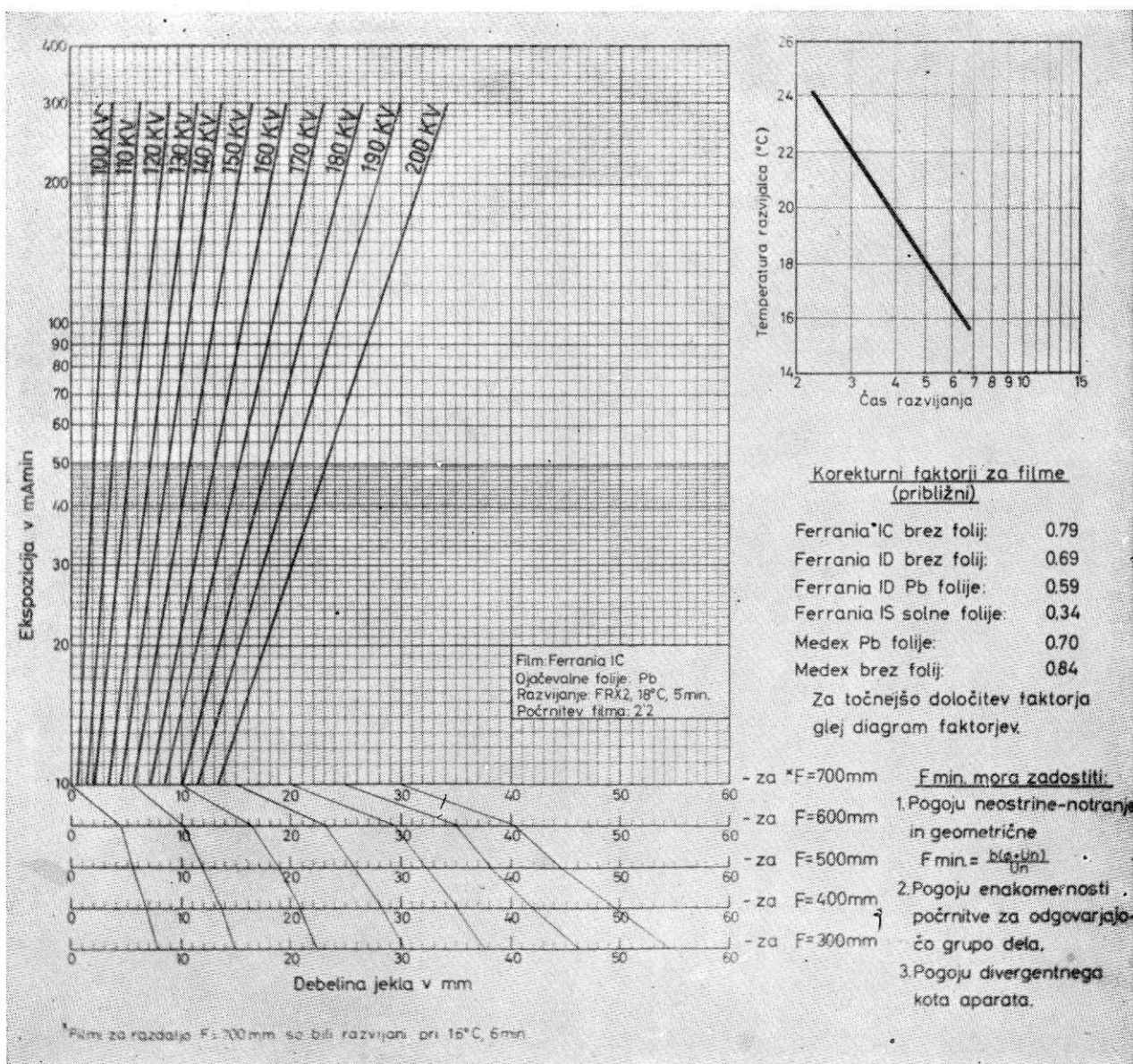
Tabela 1 — Tabela počrnitev na filmih pri presevanju različnih debelin jekla pri različnih pogojih



Slika 5 — Diagrami počrnitev — debelina za jeklo presevano na razdalji 700 mm in različnih pogojih ekspoziranja



Slika 6 — Diagrami ekspozicije za presevanje na razdaljah 300, 400, 500, 600 in 700 mm



Slika 7 — Diagram ekspozicije izdelan po podatkih praktičnih presevanj z rentgenskim aparatom DRAVA RR Niš 200 KV

dukt časa in jakosti toka. Zaradi večje preglednosti je skala na ordinati logaritična.

Diagrame ekspozicij vseh petih razdalj medsebojno povežemo na ta način, da v diagram za razdaljo 700 mm vrišemo še štiri abscise z razdelitvijo, ki predstavlja debelino jekla v milimetrih. Iz diagramov ekspozicije za posamezne razdalje je razvidno, da pri istih pogojih presevanja na vsaki manjši razdalji lahko presevamo večjo debelino. Dobljene vrednosti vnesemo na abscise raz-

dalj in jih pri debelinah 5, 10, 20, 25 in 30 mm zvežemo. Tako dobimo odnos razdalj z osnovnim diagramom, ki je v našem primeru za razdaljo 700 mm (slika 7).

Razen pogojev presevanja je na diagram vrisan odnos temperature razvijalca na čas razvijanja, kar je treba upoštevati pri praktični uporabi diagrama. Nakazani so tudi trije osnovni pogoji, ki jim je treba zadostiti pri izbiri razdalje med izvorom in filmom.

Diagram se praktično lahko uporablja tudi pri uporabi drugih filmov in folij. Debelino, ki jo moramo presevati, pomnožimo s korekturnim faktorjem, ki ga seveda za vsako vrsto filma določimo. Nekaj faktorjev je že določenih tudi v našem diagramu. Pri istih pogojih, ki jih določa diagram, večkrat preseevamo klin na film ferrania IC s svinčenimi folijami in na film, ki mu hočemo določiti faktor. Iz razlike počrtnitev pri enakih debelinah določimo korekturni faktor. Faktor se s spremembo napetosti in debeline precej spreminja, zato je

opisana določitev lahko samo približna, vendar za praktično uporabo dosti točna.

K izdelavi diagrama nas je vodila potreba po hitrem in enostavnem določanju pogojev presevanja. Teoretično določanje pogojev je precej zamotano in za prakso neprikladno. Diagram je izdelan po enostavnem praktičnem postopku, ki ga je lahko ponoviti in prilagoditi tudi drugim pogojem. vključena kar med opis postopka in je le tolikšna, kolikor je potrebna pri praktični izdelavi diagrama.

Ing. Urban Ciril

DK 621.783

Nova potisna peč v valjarni debele pločevine 2400 Železarne Jesenice

V valjarnah ogrevamo vložke (bloke, brame, ingote) v posebnih pečeh do zahtevane temperature za valjanje. Vse ogrevne peči pa niso enake vrste, temveč so se z razvojem tehnike postopoma spreminjale konstrukcije teh peči in sicer deloma ali pa v celoti tako, da ločimo več vrst peči, ki se med seboj bistveno razlikujejo. »Klasičnega« tipa so predvsem talne in komorne peči. Talne peči uporabljajo danes pretežno za ogrevanje težkih blokov (10 ton) v Blooming valjarnah, kjer se pojavljajo v posameznih cnotah, ali pa v sodobnih valjarnah zelo pogosto tudi v skupinah po 3 ali celo 6 talnih enot v eni skupini. V valjarnah, ki predelujejo predvaljane težke bloke, ali pa surove bloke - brame od 1 do 4 tone v končne proizvode (profile, žico in pločevino), pa danes največ uporabljajo potisne peči kot višjo razvojno stopnjo nekdanjih komornih peči.

Seveda pa obstajajo v raznih valjarnah, zlasti tam, kjer na valj. progah vroče predelujejo lažji vložek pod 1 tono, poleg potisnih peči razne druge izvedbe, kot npr. krožne peči z vrtljivim dnom, dalje tunnelske peči s premičnimi gredicami, vendar tudi v teh valjarnah prevladujejo potisne peči. Potemtakem lahko trdimo, da predstavljajo potisne peči v vseh valjarnah z vročo predelavo jekla universalno obliko, zato so tudi problemi v zvezi s te vrste pečjo najbolj aktualni.

Namen te razprave je:

1. Opisati konstruktivni razvoj potisne peči v valjarni 2400, in vzroke, zakaj je do rekonstrukcije nujno prišlo.

2. Seznaniti vse prizadete z osnovnim problemom pri potisnih pečeh: o kopičenju varilne žilindre in o najnovejših rezultatih iz prakse, ki to preprečujejo.

ad 1. Tudi potisne peči so doživle velike konstrukcijske spremembe, predvsem v mehaniziranem transportu jeklenega vložka skozi peč.

Logična posledica postopnega povečevanja teže vložka (brama ali ingot) je tudi postopno opuščanje uporabe fizične sile človeka, ki ga, kakor posod drugod, vedno bolj nadomešča stroj. To velja zlasti za izvlačanje blokov iz peči, kar danes delamo s strojnim potiskanjem.

V potisno peč lahko vlagamo brame ali ingote v eni vrsti — enovrstne peči, če pa jih potiskamo vzporedno v dveh vrstah, jih imenujemo dvovrstne potisne peči. Te zadnje dandanes prevladujejo, ker so iz toplotno-tehniških vidikov neprimerno bolj prikladne in tudi iz ekonomskega stališča bolj utemeljene. Kjer so dane možnosti, kurijo potisne peči z zemeljskim plinom, zelo pogosto pa tudi s koksarniškim ali plavžnim plinom, oziroma mešanico obeh.

Seveda pa se tam, kjer teh možnosti ni, to je konkretno pri nas, kurijo potisne peči z generatorskim plinom. Dandanes opremljajo ogrevne in potisne peči z avtomatskimi napravami za reguliranje plina in zraka v pravilnem razmerju z napravami za regulacijo ustreznega vleka dimnih plinov in za kontrolo temperature v vsaki zoni posebej. V valjarnah z veliko kapaciteto valjarniških strojev naletimo na dvovrstne potisne peči, ki so po svojih dimenzijah že pravi velikani, s skupno ko-

ristno — ogrevno površino 160 do 200 kvadratnih metrov.

V smeri potiskanja so sodobne potisne peči razdeljene v posamezne zone in sicer običajno v tri:

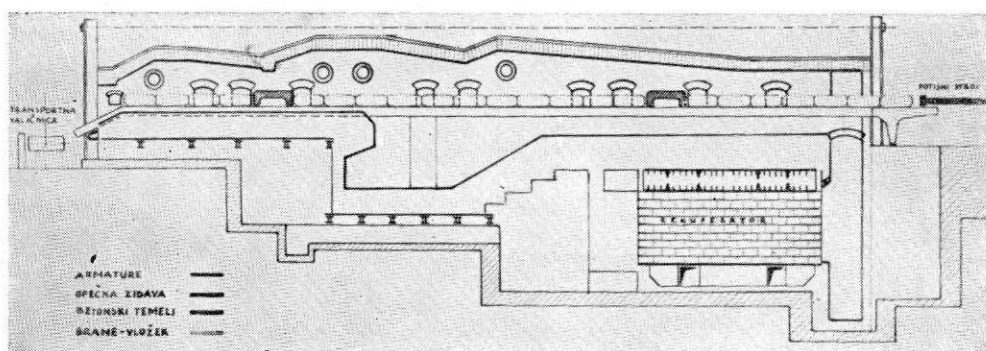
a) predgreveno, običajno brez gorilcev, v kateri se vložek ogreva v protitočni struji dimnih plinov, ki zavzema po velikosti 46 % celotne ogrevne površine peči;

b) ogrevno zono, kjer so gorilci ob strani, v novejših izvedbah čelno. Ta zona se deli v zgornjo in spodnjo, po velikosti pa zavzema 31 % ogrevne površine;

c) žarilna — izenačevalna zona, kjer so gorilci samo zgoraj in sicer čelno, po velikosti pa obsega 23 % celotne ogrevne površine peči.

Stara potisna peč v valjarni 2400 je imela na vsaki strani po 4 stranske gorilce. Zrak se je predgrevl v keramičnem rekuperatorju, od koder je vročega sesal ventilator. Kapaciteta peči je bila 8.8 ton/h ali 114.5 kg/m²/uro.

Peč ni bila strogo razdeljena na posamezne zone, zato tudi ni bila možna učinkovita avtomatska regulacija peči. Koristna ogrevna površina je bila 77 m². Tako po storilnosti, kakor tudi v kvaliteten pogledu stara potisna peč sploh ni več odgo-varjala našim tekočim proizvodnim zahtevam.



Slika 1 — Vzdolžni presek stare potisne peči z uporabo figurnih bram

Profil stare peči, kot je razvidno iz slike 1, je dopuščal samo grobo razdelitev v 2 zoni in sicer v predgreveno in ogrevno zono. Spodnje ogrevne zone sploh ni bilo, zato brame niso bile dobro pregrete in so bile valjane v absolutno prenizkem temperaturnem območju. Ker ni bilo izenačevalne zone, je prišlo tudi do velikih temperaturnih razlik med zunanjo steno brame in sredino — lahko celo za več kot 60°. Posledice vseh teh pomanjkljivosti so bile očitne in dalekosežne. Že med samim valjanjem bram so nastopale težave, kajti premalo pregrete brame niso dopuščale večjih odvzemov, čas valjanja se je zato podaljšal in končna temperatura valjanja je bila globoko pod zahtevanim območjem. Zaradi neodgovarjajočih mehanskih lastnosti, ki so bile rezultat teh odstopanj, je moralo priti do naknadnih termičnih obdelav pa tudi upogibi (slojavost) niso ustrezali.

Pri nešteti prevzemih ladijske pločvine je odpadlo ali pa bilo naknadno termično obdelano najmanj 30—40 % pločvine prav zaradi neustreznih upogibov, ki jim je bila vzrok slojavost. Natančne metalografske preiskave so dokazale, da je vsaj 60 % slojavosti pri pločvini treba pripisati

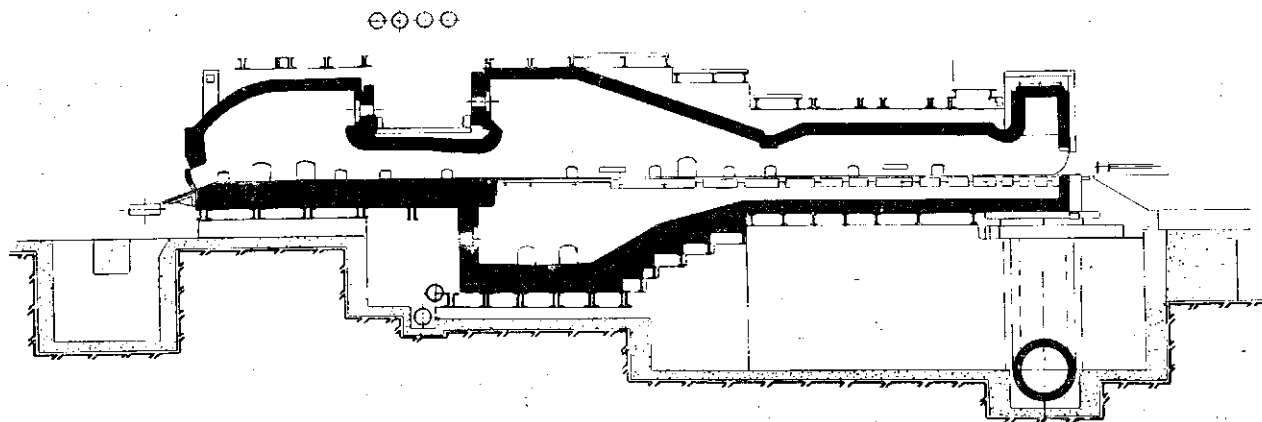
ravno nezadostnemu pregretju vložka v stari potisni peči.

Ta kvalitetna zahteva po intenzivnejšem ogrevanju vložka, s čimer bi odstranili vse navedene težave, je nujno narekovala, da smo pričeli z rekonstrukcijo stare peči. Prav isto zahtevo pa je narekovala tudi vse večja potreba po povečanju kapacitete.

V prvih mesecih poskusnega obratovanja rekonstruirane peči so sicer nastopile nepredvidene težave predvsem zaradi tenkostenskih glisažnih cevi, ki so večkrat spuščale vodo. Vendar moramo resnici na ljubo priznati, da je projektant pravilno predvidel 12 mm glisažne cevi, ker pa jih tedaj ni bilo mogoče nabaviti, smo bili prisiljeni vgraditi tenkostensko 7 mm glisažne cevi.

Šele pri letošnjem remontu v februarju smo vgradili odgovarjajoče 12 mm glisažne cevi, uvožene iz Belgije, in s tem preprečili zastoje.

Ostale objektivne težave so nastopale tudi zaradi varilne žlindre, ki se je nabirala na dnu izenačevalne zone. Z vgraditvijo posebne phane mase 1963 leta je bil tudi ta problem uspešno rešen.



Slika 2 — Vzdolžni presek nove potisne peči

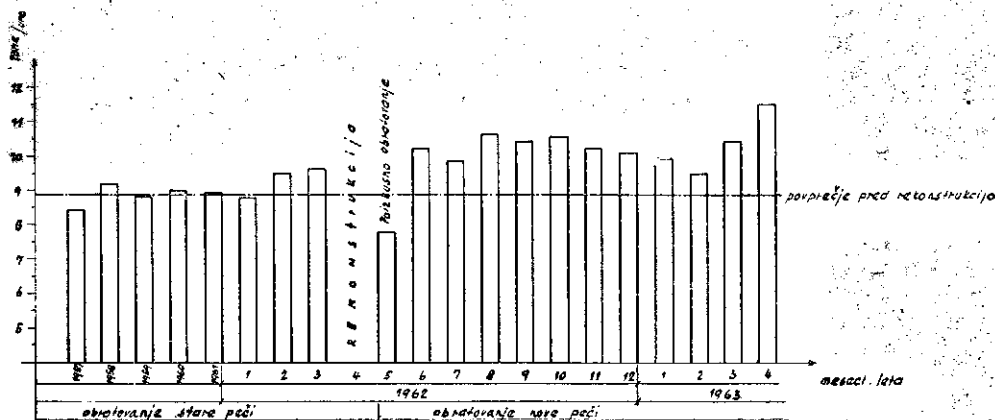
Osnovne prednosti pri naši novi potisni peči v primerjavi s staro pečjo se kažejo predvsem v naslednjih tehničnih podatkih:

Dosežena temperatura valjanja je 1160° do 1180° C, vložek v peči pa se ogreva do temperature 1260° do 1280° C.

Pri stari peči pa smo dosegli najvišjo začetno temperaturo valjanja 1080° do 1100° C, vložek v stari peči pa smo ogreli največ do temperature 1200° C. Ker je nova peč strogo razdeljena v zone: predgreveno, ogrevno zgornjo in spodnjo in še v izenačevalno zono, se brame dobro pregrejejo. Tem-

peraturna razlika med zunanjo steno brame in sredino se je zmanjšala v primerjavi s staro pečjo za več kot polovico, tako da znaša le še $20-25^{\circ}$; zmogljivost nove peči je 14 t/h ali $190\text{ kg/m}^2/\text{h}$. Peč ima v zgornji ogrevni zoni 4 čelne gorilce, prav tako tudi v spodnji in v izenačevalni zoni po 4 čelne gorilce. Ker je peč grajena na temeljih stare peči, je ohranila iste dimenzije in neizpremenjeno koristno ogrevno površino 77 m^2 .

Nova potisna peč je opremljena z avtomatsko regulacijo, ki jo je prav tako izvedla domača tovarna TIO-Lesce v kooperaciji z Ascanio iz Berlina.



Slika 3 — Diagram storilnosti stare in nove potisne peči

Kot je razvidno iz diagrama, je storilnost nove potisne peči znatno nad povprečjem storilnosti stare peči. Obstaja realna možnost, da se storilnost še bolj poveča, če se poveča tudi povprečna teža vložka brame, kar že dalj časa ni mogoče zaradi dimenzionalno neodgovarjajočih naročil.

Visoka, celo rekordna proizvodnja v naši valjarni je bila dosežena marca in aprila 1963 prav

po zaslugi nove potisne peči, ki je dosegla dne 28. III. že 14.6 t/h ali pa dne 29. III. zopet 15.2 t/h , kar je že precej nad nominalno storilnostjo 14 t/h . Vse te številke in podatki zgovorno pričajo, da je peč tako konstrukcijsko kot tudi toplotno-tehniško nadvse uspešno prenovljena.

Peč take velikosti in oblike je prva take vrste narejena doma in sicer vse od zasnove projekta

pa do zadnje vgrajene opeke.

Vrednost skoraj še enkrat večje storilnosti nove potisne peči je v primerjavi s staro še toliko večja, ker ne zavzema prav nič večjega tlorisa, saj je grajena na temeljih stare potisne peči. Torej ni večja kapaciteta nove potisne peči logična posledica večjih dimenzij, temveč izključno in samo rezultat projekta, ki je upošteval moderno obliko zonskih potisnih peči s čelnimi gorilci in spodnjim ogrevanjem.

Smotrno izdelan projekt, ki je upošteval vse sodobne principe gradnje takih objektov, predstavlja toplotno-tehniško zelo uspešno in obenem za domače pojme tudi smelo rešitev povečanja kapacitete rekonstruirane potisne peči v valjarni 2400.

Poleg večje storilnosti ugotavljamo pri novi potisni peči najpomembnejši napredek predvsem v kvalitetnem pogledu. Ker se brame po zaslugi spodnje ogrevne zone in izenačevalne zone res dobro pregrejejo, je v glavnem odpadla naknadna termična obdelava vseh neodgovarjajočih mehaničnih lastnosti.

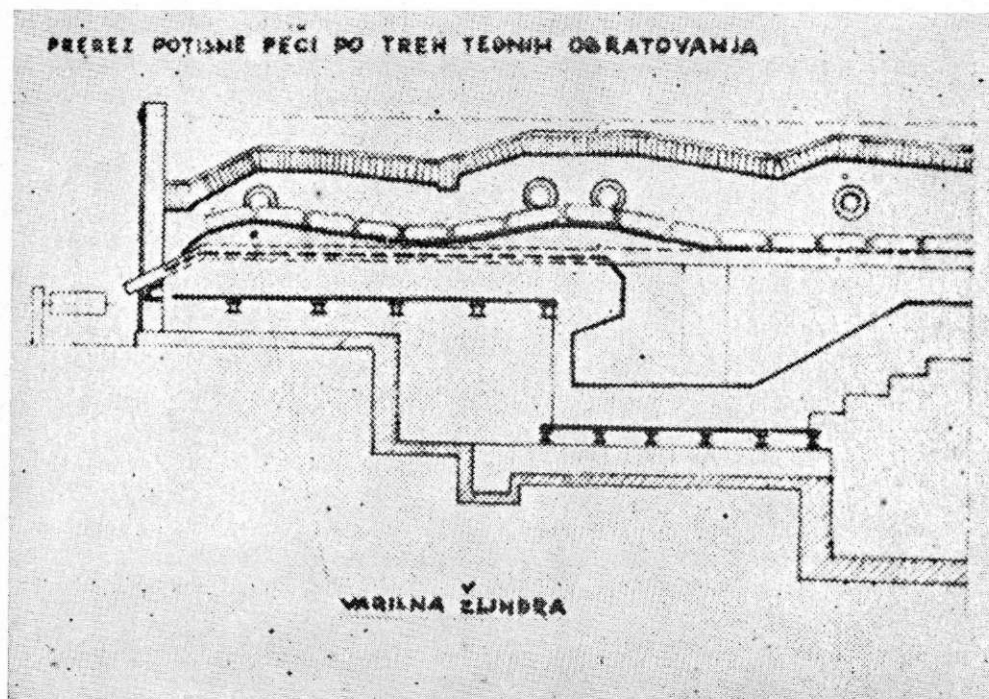
Pri prevzemih ladijske pločevine pa ugotavljamo razveseljivo dejstvo, da je pojav neustreznih upogibov skoraj v celoti odpadel. Danes so le še sledovi slojivosti, dočim smo pri pločevini, valjani iz bram, ki so bile ogrevane v stari potisni peči, ugotavljali 30—40 % neustreznih upogibov. Tako predstavlja nova peč tudi v tem pogledu nov korak naprej pri reševanju zahtevne kvalitetne problematike v proizvodnji debele pločevine.

ad 2. Pri sodobnih potisnih pečeh — velikanih, po svojih dimenzijah in popolnih avtomatih, po strojni in instrumentalni opremini še vedno naletimo na odprta tehnična vprašanja. Osnovni problem, ki je tudi pri sodobnih pečeh še vedno aktualen, je skrajševanje hoda peči zaradi kopičenja varilne žilindre na dnu. Vsem varilcem, valjavcem in sploh vsem, ki delajo v valjarnah, je znano, da predstavlja tako imenovano izbijanje tlaka oziroma čiščenje varilne žilindre v potisnih pečeh najtežje fizično delo v valjarnah sploh. Ta način odstranjevanja varilne žilindre, ki je še dandanes v veljavi, zahteva izreden fizični napor, kajti s težkimi drogovi in kladivi izbijajo žlindrino maso tako rekoč zrno za zrnem.

Varilna žindra ima namreč v strjenem stanju izredno žilavo odpornost proti drobljenju.

Znano je dejstvo, da žindre nimajo tališča, ampak preidejo postopoma v določenem temperaturnem intervalu iz trdnega preko testenega v tekoče stanje. Običajno so grajene potisne peči tako, da je v njih nastala žindra v testenem stanju, ali kakor pravimo v udomačenem strokovnem jeziku — »peč dela na suho žindro«. Pri ogrevanju jeklenih blokov, bram ali ingotov v potisnih pečeh se pri masovnih C — jeklih, zlasti pri tistih vrstah z nižjim C, tvori v določenem temperaturnem območju med 1000° in 1300° C varilna žindra. Ta žindra je sestavljena pretežno iz bazičnih oksidov in je lahko naslednje sestave:

Fe_2O_3	FeO	MnO	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5
13.97	82.17	0.42	1.30	0.17	0.60	0.08	0.027



Slika 4 — Presek z varilno žindro zalitega dna stare potisne peči po treh tednih obratovanja

Po elementih, ki so navzoči v žlindri, pa kaže analiza naslednje:

Fe	Mn	C	S	P
73.61	0.33	0.22	0.59	0.012

Sama konstrukcija potisne peči onemogoča odstranjevanje nastale varilne žlindre med obratovanjem. Brame ali ingoti pri potiskanju prekrivajo namreč skoraj celotno ogrevno površino. Zaradi tega je med obratovanjem nemogoče čistiti varilno žlindro, ki se nabira na dnu.

Kot je razvidno s slike 4 zavzame žlindra zlasti v žarilno izenačevalni zoni tak obseg, da je nadaljnje potiskanje bram zaradi tega močno ovirano in končno preneha obratovati z žlindro zalita peč.

V osnovi si prizadevamo, da bi se tvorilo pri ogrevanju jekla v potisnih pečeh kar najmanj varilne žlindre. V ta namen delamo razne preventivne ukrepe, predvsem glede pravilnega vodenja toplotnega režima v peči. Zlasti za C-jekla in nizko legirana jekla velja pravilo: razvijati toplotni režim ogrevanja kar najbolj enakomerno, ker se le na ta način lahko izognemo prekomerni tvorbi varilne žlindre.

Razen določene temperature je bistveno važna tudi pravilna doba oziroma čas ogrevanja. Čas, ki poteče od trenutka, ko doseže ogrevano jeklo zahtevano optimalno temperaturo (to je na začetku izenačevalne zone) pa do dejanskega začetka valjanja, imenujemo kritično dobo ogrevanja. Ta kritična doba je na osnovi dognanj iz prakse točno določeni časovni interval, ki je odvisen v glavnem od debeline bloka ali brame in od vrste jekla.

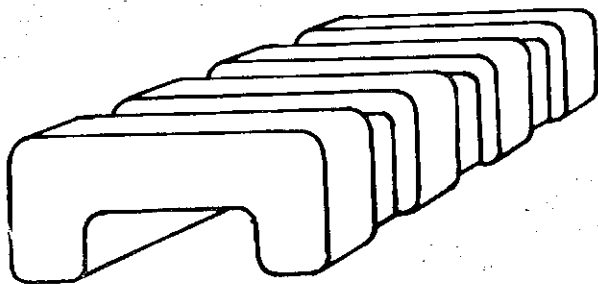
Toda s temi in podobnimi preventivnimi ukrepi lahko samo omejimo tvorbo varilne žlindre, ne moremo je pa preprečiti.

Ker se varilna žlindra v ogrevnih pečeh kljub temu tvori, jo je treba konec koncev le odstranjevati. V praksi si običajno pomagamo tako, da dno peči, ki je obloženo z varilno žlindro, najprej hladimo z vodo, ki povzroča tu in tam razpoke, da je čiščenje sploh mogoče. Odveč je pripomba, da voda pri tem kvari obzidavo in s tem občutno skrajšuje življenjsko dobo, to je čas, ki poteče med enim in drugim remontom. Toda tudi pri polivanju z vodo je delo težko, naporno in zelo zamudno. Tako smo npr. pred leti pri stari potisni peči periodično izbijali tlak vsako drugo soboto in nedeljo skupaj. Celokupni zastoj zaradi izbijanja tlaka so bili torej zelo veliki in so znašali v letu 1958 skupno 34 delovnih dni in 19 ur, ki so bile izgubljene za proizvodnjo.

V praksi smo zato poizkušali vse mogoče, da bi to delo odpravili, ali vsaj olajšali in zmanjšali zastoj na minimum. Razne ideje so se porajale, tako smo npr. predvidevali, da bi z dviznim oboikom sprednjega dela stare peči olajšali delo pri izbijanju s pomočjo žerjava. Vendar so bili izrečeni utemeljeni pomisleki glede slabega tesnjenja

itd. Prišli smo celo do zelo zahtevnega predloga, do premičnega dna v sprednjem delu peči, kar pa je seveda zaradi tehnično skoraj nerešljivih problemov in ogromnih stroškov ostalo le na papirju.

Tudi v strokovno-tehniški literaturi vsaj do leta 1958 ni bilo nič znanega v tej smeri. Šele v letu 1958 so v železarni Alčevski v SZ prvokrat uvedli novi postopek za čiščenje varilne žlindre na osnovi tako imenovanih »figurnih sljabov«. Figurna brama je v bistvu votel jekleni odlitek brame, ki se na vsaki izmeni najmanj enkrat potiska med pravimi bramami na levi in desni strani potisne peči kot kažeta sliki 1 in 5.



Slika 5 — Figurna brama za odstranjevanje varilne žlindre v potisni peči

Ko smo uvedli ta postopek v začetku marca 1959 tudi pri nas, je odpadel izredno težak problem čiščenja dna peči. Ta način dela ne povzroča posebnega napora, peči ni treba ustavljati že v sobotah, temveč le ob nedeljah. Na ta način pridobimo veliko časa in s tem povečano proizvodnjo vroč valjane pločevine. Ta postopek čiščenja dna peči omogoča tudi neprimerno večjo vzdržnost peči, ker odpade kvarni učinek vode. Čiščenje poteka v vročem stanju pri normalni temperaturi, zato se voda pri tem ne uporablja kot hladilno sredstvo razen v nedeljah, ko se še vedno čisti v hladnem stanju.

Figurne brame torej omogočajo tekoče odstranjevanje suhe žlindre in tako dosežemo vsaj delno ravno in čisto dno.

Da se je po uporabi figurnih bram zaradi bistvenega zmanjšanja zastojev dvignila proizvodnja, dokazujejo doseženi rezultati proizvodnje v zadnjih letih, ki so vsem dobro znani, zato jih tu ponovno ne navajam.

Danes se figurne brame ali »sljabi« uporabljajo že v mnogih valjarnah širom po Evropi pod različnimi imeni, tako npr. jih imenujejo v SZ »figurni sljabi«, v Italiji »cavalle« itd. Tudi pri naši novi potisni peči figurne brame še nadalje s pridom uporabljamo pri odstranjevanju varilne žlindre iz izenačevalne zone.

Čeprav je ta postopek čiščenja zelo učinkovit, pa vendar predstavlja bolj ali manj enostransko rešitev problema, kajti popolno, kontinuirno obra-

tovanje potisne peči na ta način še vedno ni zagotovljeno. Še vedno je treba peč ustavljati vsaj v nedeljah in temeljito očistiti dno v izenačevalni zoni, še vedno se mora peč, čeprav šele po daljšem razdobju 3—4 mesecev, vendarle ustaviti in izbijati tlak v hladnem stanju.

Vendar so v najnovejšem času stremljenja po kontinuirnem obratovanju potisnih peči, kjer ne bi bilo niti najmanjših zastojev, pripeljala do novega napredka v tej smeri. Najnovejši dosežki kažejo, da so se šele sedaj uspešno lotili tega problema pri korenu. Vse dosedaj se je reševalo zgolj mehansko — stran čiščenja in odstranjevanja varilne žilindre, sedaj pa stopa v ospredje težje, zato pa tudi bistveno vprašanje, kako izdelati tako vrsto ognjestalne obloge dna, ki bo imela takšne fizikalno-kemične lastnosti, da se varilna žilindra z oblogo sploh ne sprime.

Bistvo tega problema namreč ni v sami tvorbi varilne žilindre, katero, kot smo že ugotovili, lahko omejimo, ne moremo je pa popolnoma preprečiti, temveč v dejstvu, da se varilna žilindra pri visoki temperaturi v testenem, še bolj pa seveda v tekočem stanju, kemično veže z ognjestalno oblogo, s katero se v teku časa popolnoma skepi.

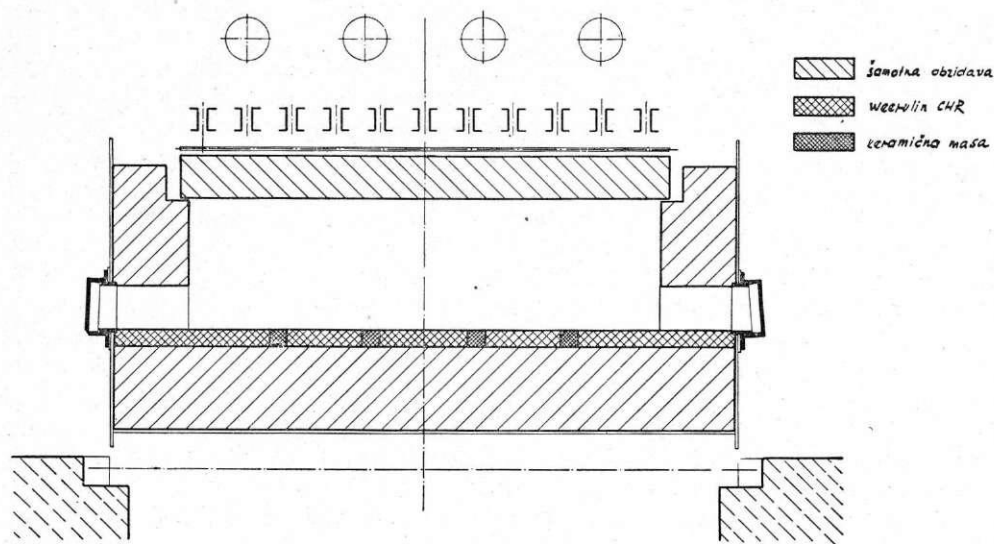
Po napornih in vztrajnih raziskavah, kako preprečiti spajanje varilne žilindre, je slednjič uspelo izdelati phano maso, ki ima vse zahtevane lastnosti take obloge. Kot kažejo rezultati je ta problem sedaj dokončno odstranjen iz vsakdanje prakse. Ta iz sintra-kromove rude phana masa je odporna proti kemičnemu spajanju s testeno varilno žilindro, ni pa odporna proti mehanski obrabi na površini. Brame, ki se potiskajo skozi peč, drse po tej oblogi in ta se izrablja. Zato so potrebne še tračnice iz posebne mase, ki je odporna tudi proti mehanski izrabi. Ta kombinirana izvedba obloge

dna iz dveh phanih mas se je po izkušnjah valjarne debele pločevine v Salzgitteru izredno dobro izkazala. Nemška firma Weerpas-Lingen je namreč v tej železarni izdelala tako oblogo, ki omogoča kontinuirno obratovanje potisne peči že 15 mesecev brez ustavljanja oziroma brez izbijanja tlaka.

Na osnovi izkušenj v omenjeni valjarni smo tudi pri naši novi potisni peči v teku remonta v mesecu februarju leta 1963 izvedli oblogo dna iz phane mase. Uporabili smo posebno phano maso »Veerulin CHR« od zap. nemške firme Weerpas-Lingen za oblogo dna v izenačevalni zoni in posebej phano maso, odporno proti mehanski obrabi za drsne tračnice prav tako v izenačevalni zoni. Konstrukcijsko izvedbo dna iz phane mase ki smo jo uporabili pri nas, nam nazorno kaže sl. 6.

Kot sem že omenil pa se varilna žilindra v tekočem stanju še hitreje kemično veže z navadno ognjestalno oblogo kot pa žilindra v testenem stanju. Zato je tudi vzdržnost nove obloge iz phane mase odvisna predvsem od agregatnega stanja varilne žilindre. Predpogoj za vzdržnost nove obloge iz Weerulin CHR-mase je torej, da imamo v izenačevalni zoni žilindro v testenem, nikakor pa ne v tekočem stanju. Da dosežemo ta predpogoj, ki ga pri naši novi peči dejansko tudi že dosegamo, je vsekakor zasluga nove »Askania« avtomatike, ki omogoča pravočasno in pravilno regulacijo razmerja zrak-plin in temperature.

Po enem letu obratovanja se je s phano maso izdelano dno v izenačevalni zoni izredno dobro obneslo. Navzlic neprimerno slabšim toplotno-tehničkim pogojem ogrevanja vložka (naša peč je kurjena z generat. plinom, dočim so peči v inozemstvu kurjene s koksovim in plavžnim, ali pa celo z zemeljskim plinom) nismo utrpeli še niti enkrat najmanjšega zastoja zaradi čiščenja dna



Slika 6 — Prečni presek nove potisne peči po vgraditvi phane mase v dno izenačevalne zone

v izenačevalni zoni.. Dno je ravno, phana masa pa kaže dobro vzdržnost vsaj za 1 leto.

Zaradi neugodnega vložka zlasti glede oblik, opravka imamo namreč z bramami ne pa s sljabi, nastopajo določene težave. Ker nimajo brame ostrih robov, kot jih imajo sljabi, tudi ne potiskajo pred seboj varilne žilindre, kot je to slučaj pri tistih potisnih pečeh z vgrajeno phano maso, kjer se pojavlja kot vložek sljab. Zato smo prisiljeni še

vedno v vsaki vrsti na vsakih 8 ur potiskati vmes tudi po 1 figurno bramo, ki omogoča naslednje:

1. Figurna brama potiska zaradi ostrih robov vsaj delno varilno žilindro pred seboj.

2. Omogoča, da se skozi njo lahko očisti vsa preostala varilna žilindra skozi stranska delovna okna in to sproti brez ustavljanja.

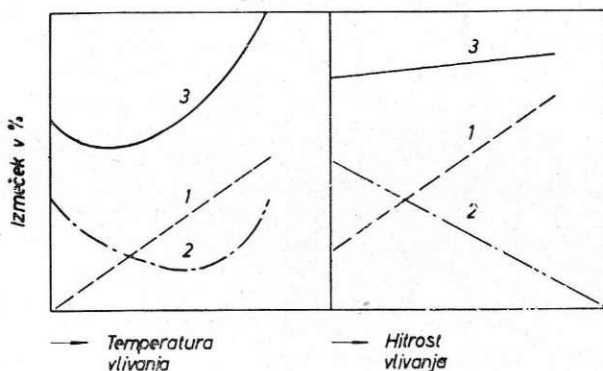
Na ta način smo krenili še en velik korak naprej v smeri kontinuirnega obratovanja nove potisne peči brez zastojev.

Ing. Stanko Čop

DK 620.191

Pojav luknjičavosti na blokih

Mazanje kokil izboljšuje površino odlitih blokov, vendar to privede včasih tudi do nezaželenih pojavov, kakor so n.pr.: podpovršinska luknjičavost, mrežasta površina in s tem risavost na valjanih profilih. Napake, ki nastopajo na površini blokov kot prelitja in lusnine, se z dobrim mazanjem kokil v znatni meri lahko odpravijo. Vendar so tu še drugi faktorji, ki vsak zase vplivajo na kvaliteto odlitih blokov. V veliki meri so napake odvisne od temperature in hitrosti vlivanja.



Legenda		
1	-----	razpoke
2	-----	prelivanje
3	-----	druge napake

Sl. 1 -- Izmeček na blokih v odvisnosti od pogojev vlivanja

Pri vsakem jeklu obstaja neki interval hitrosti in temperature vlivanja, kjer je najmanj napak na blokih. Ako uporabljamo dobre kokilne premaze, je možno, da te, sicer ozke intervale, razširimo in s

tem omogočimo, da pri danih pogojih, ki sicer odstopajo od optimalnih, dobimo čim več dobrih blokov.

Osnovne lastnosti dobrih kokilnih premazov so:

- toplotna izolacija
- hlapnost
- sposobnost, da dajo pri vlivanju redukcijske pogoje.

Poleg vrste premaza vplivajo na potek vlivanja: temperatura kokil in jekla pri vlivanju, hitrost vlivanja, vrsta jekla, pogoji in način vlivanja in debelina uporabljenega premaza.

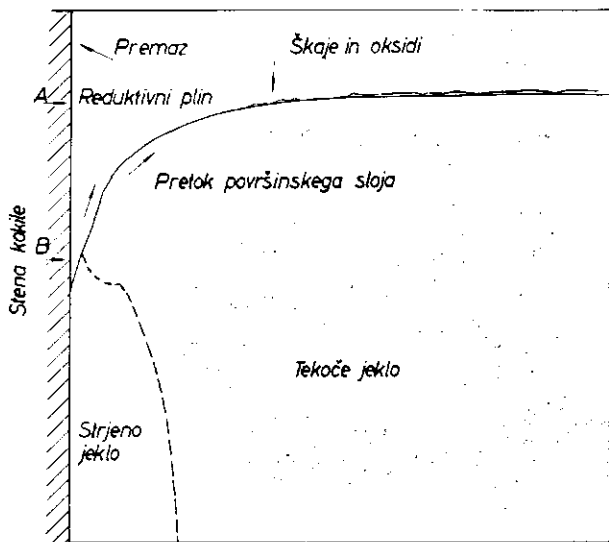
TEORETIČNA RAZMOTRIVANJA

Delovanje premazov, posebno tistih, ki vsebujejo večje količine hlapnih snovi, je deloma odvisno od količine toplote, ki jo premaz absorbira do takrat, ko pride v dotik s površino jekla. Premaz izpareva nad površino jekla, tvori med steno kokile in dvigajočim se jeklom plinsko blazino in s tem preprečuje oksidacijo površine. Nastala plinska atmosfera ali pa tekoča plast izolira tekoče jeklo od kokilne stene. Matematično je dokazano, da je toplota, ki jo absorbira premaz, zadostna za izhlapevanje premaza, če se toplota ne odvaža prehitro preko sten kokil.

a) Prehod toplote s prevajanjem:

Računsko so ugotovili, da je temperatura stene kokile, v pogojih, kakor nastopajo pri vlivanju jekla, v višini zgornjega meniska jekla (točka A) 20°

(slika 2), v točki B, ki je blizu spodnjega dela meniska, pa 90° nad prvotno temperaturo kokile. Razlika se pojavi zato, ker se je zaradi prevajanja toplote stena kokile že toliko ogrela, da nastopi razlika v temperaturi.



Sl. 2 – Temperatura stene kokil zaradi prevajanja toplote

b) Prenos toplote s sevanjem:

Ko se pri vlivljanju približuje tekoče jeklo katerikoli točki kokile, se zaradi sevanja površine prenaša toplota, ki jo lahko izračunamo po formuli:

$$Q = \frac{\sigma T^4}{2} \text{ kcal/cm}^2, \text{ s}$$

Ko se jeklo približuje tej točki, se količina toplote poveča in se takrat, ko opazujemo neko točko

med zgornjim in spodnjim delom meniska, približuje vrednosti:

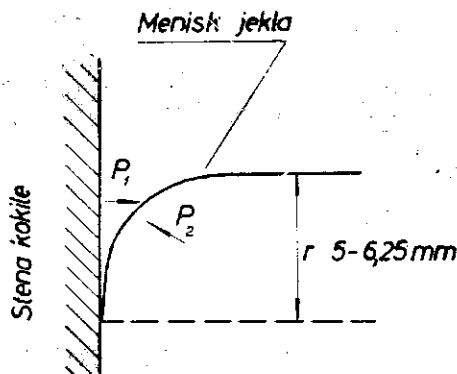
$$Q = \sigma T^4$$

Količina toplote, ki jo sprejme stena kokile zaradi sevanja, znaša 7 kcal/cm²,s, lahko pa naraste do največje vrednosti, ki je 14 kcal/cm²,s v točki neposredno pred dotikom jekla s kokilo.

Ako opazujemo točko, ki je oddaljena 25,4 mm nad površino jekla, dobi ta delec stene pri hitrosti vlivljanja 50 cm/min. 30 kcal/cm²,s. Ta toplota zadostuje za izparenje vseh hlapnih primesi iz tankega kokilnega premaza, če se toplota ne odvaja prehitro preko sten kokil. Te pogoje so ugotovili s poskusi, kakor jih opisuje D. R. Thornton (1).

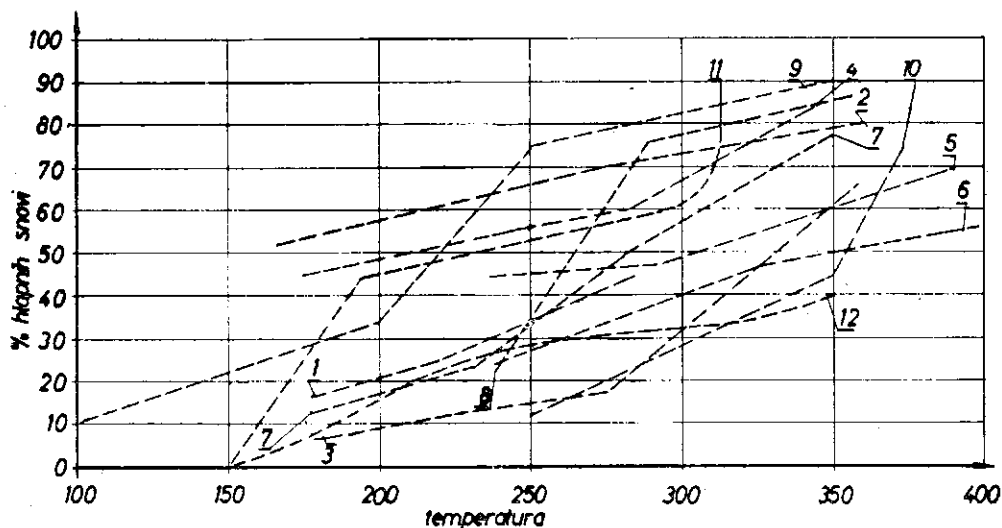
c) Oblika meniska površine jekla:

Geometrična oblika in višina meniska je odvisna od površinske napetosti jekla in od kota med tekočim jeklom in steno kokile. Ako vzamemo v približku površinsko napetost jekla z 1.200 din/cm²,



Slika 3 – Oblika meniska jekla

dobimo višino meniska 5 do 6,25 mm (slika 3). Kot je odvisen od sil molekularne privlačnosti med tekočim jeklom in steno kokile. V normalnih pogojih je ta kot, če kokile niso premazane, 140–150°. Če so kokile premazane, kjer premaz popolnoma izolira



Legenda					
1	Color	1956	5	Color	KS
2	Color	BK 1957	6	Color	KST
3	Color	1959	7	Katran	
4	Color	BK 1960	8	Eugenol mittel	
9	Avstrijski	Donawitz			
10	Mazut				
11	Bitumenski premaz št. 2				
12	Katran črnega premoga				

Slika 4 – Frakcije pri različnih premazih

tekoče jeklo od stene kokil, je lahko kot do 180° , kar velja za idealni slučaj. Močno pa vpliva na hlapne premaze, je ta kot $140\text{--}160^\circ$, menisk jekla velikost kota tudi vrsta jekla. Ako uporabljamo je brez oksidov.

V jeklarnah in v literaturi najdemo nešteto predlogov za najboljše premaze, ali kakor jih imenujemo kokilne lake. Važni pri ocenjevanju le-teh so pogoji vlivanja: temperatura in hitrost, način vlivanja (od vrha ali na lijak), vrsta jekla, velikost kokil, način mazanja, temperatura kokil in ne nazadnje tudi izločanje hlapnih snovi pri mazanju. V jeklarni smo več mesecev delali poskuse z različnimi premazi. Nehlapni premazi kot n. pr.: grafit, saje, Al v prahu, soda z dekstrinom, melasa in stearin, nam niso dali zadovoljivih rezultatov. V splošnem se ta način mazanja za vlivanje na lijak ne obnese, ker ne daje pri vlivanju rob tekočega jekla ob steni kokile. Sama površina blokov je bila lepa, tik pod površino je bilo polno drobnih plinskih mehurjev. Okside in drobne strjene skorje jekla vleče ob stene kokile tako, da izgleda sloj pod površino, kot da bi jeklo neprestano prelivalo.

Na sliki 4 so podani podatki za 10 vrst hlapnih premazov, katere smo preizkušali pri vlivanju. Iz teoretičnih osnov je razumljivo, da so najboljše hlapni premazi. Vrsta premaza nima bistvenega vpliva na vlivanje, če se da nanesti na steno kokile v tankem sloju. D. R. Thornton (1) priporoča debelino sloja 0,1 mm pri bitumenskem premazu. Za 10 kokil s težo bloka 4 t pri debelini sloja 0,1 mm zadostuje 4,5 l bitumenskega laka.

Ako mažemo hladne kokile s katerimkoli premazom, bo ta debelo nanesen na kokilo. V času do vlivanja se del tega ocedi proti nogi kokile, kjer se sloj še odebeli. Pri vlivanju premaz ne more izhlapeti, jeklo ga zalije tako, da se vplini pod površino jekla. Plinski mehurčki ostanejo tik pod površino bloka, kjer se jeklo v trenutku, ko se dotakne stene kokile, strdi. Ta škodljivi vpliv povečamo še, če vlivamo z večjo hitrostjo. Vlivanje prehiteva izhlapevanje premaza. Mehurji pod skorjo ingota (2) nastanejo zaradi plinov, ki se proizvajajo ob steni kokil pri dotiku z jeklom, zaradi plinov, ki se sproščajo iz kokilnih premazov ali zaradi vlage.

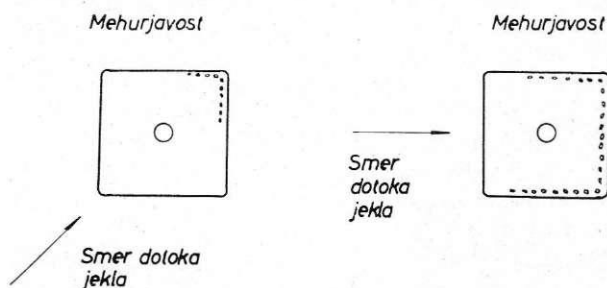
Ako ocenjujemo premaze pri mazanju vročih ali toplih kokil, moramo premaze ločiti v 3 skupine, hitro sušee, srednje hitro sušee in zelo počasi sušee.

Lake tovarne »Color« lahko uvrstimo v skupino hitro sušeeh premazov. Izdelani so iz bitumena z dodatkom topila. Ko te lake brizgamo s pripravo za mazanje na stene vročih ali toplih kokil, topilo takoj izhlapeva.

Med srednje hitro sušee premaze prištevamo lahko Eugenol-mittel in katran. Ta dva imata pri nižjih temperaturah približno 24 % hlapnih snovi, ostalo so frakcije od $280\text{--}350^\circ$. Pri mazanju ti laki ne izločajo vseh hlapnih snovi, tako da se premaz še deloma razleze po površini in da precej enako-



Sl. 5 — Vpliv turbulence pri vlivanju



Sl. 6 — Podpovršinska luknjičavost

meren sloj. Vendar oba izločata katranske hlape, zato je delo s temi neprijetno. Posebno katran še ne da popolnoma enakomernega sloja, opaziti je še nabiranje debelejših mest. Jeklo C 0445 V, vlito v 1 t kokilo, mazano s katranom, kaže slika 5. Ingot je bil ogrevan v valjarniški peči, nato ohlajen in lužen. Po odstranitvi ška je so se pokazale luknjice, na strani, ki je bila nasprotna dotiku jekla v kokile. Pri kokilah, ki so bile mazane s kokilnim lakom ali s katranom, se je vpliv turbulence običajno pokazal na ploskvah, ki so bile nasprotno smeri dotekajočega jekla. (slika 5)

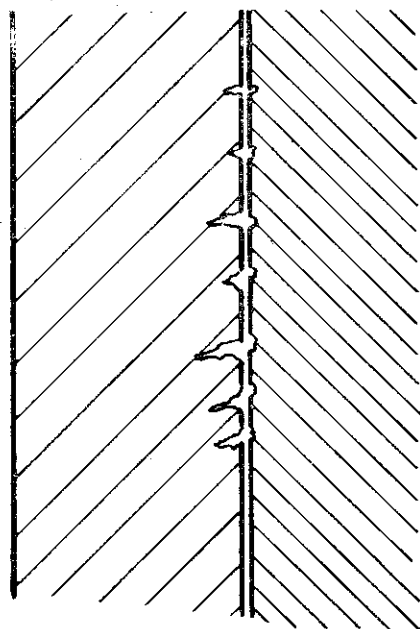
Hitrost vlivanja je bila 37 cm/min., temperatura vlivanja $1480^\circ\text{C} + \text{K}$. Pojave luknjičavosti smo opazili pri večjem številu šaržev, vpliv turbulence jekla je bil izrazit ravno pri omenjenih premazih.

Počasi sušee ali nepopolno osušen premaz da mazut. Pri mazanju mora biti dobro ogret na $100\text{--}110^\circ$, frakcije do 250° da le 11 %. Ko padejo pri brizganju kapljice na vroče stene kokil, se te ne osušijo, ampak se enakomerno razlezejo po površini. Možno je namazati zelo tanko, kar je za manjše formate kokil in za večjo hitrost vlivanja najprimernejše. Če mažemo kokile na posebnem prostoru, odvišni mazut steče s kokile. Kadar mažemo že postavljene kokile, moramo spodnji del kokile pustiti suh, ker na ta del steče mazut iz zgornjega dela kokil. Mazati smemo le malo pred vlivanjem, v nasprotnem slučaju se premaz močno osuši in sloj je pretanek za dobro vlivanje. Kadar se v kokile ne vlija, je treba te mazati pri $180\text{--}100^\circ$.

Poskusi z dobrim lakom in z mazutom mazanih kokil pri jeklih vlitih s hitrostjo 40–50 cm/min. so dali najboljše rezultate. Ni bilo opaziti vpliva turbulence, kakor pri prej omenjenem primeru. Ingoti, ki smo jih po ogrevanju v valjarniški peči lužili, so pokazali lepo površino, razen na mestih, kjer je jeklo prelivalo. Zato se z večjo hitrostjo 40–50 cm/min. to da preprečiti in doseči dobro površino, mehansko zadrževanje strjene skorje pa dosežemo z lesenimi okvirji dimenzije 40×25 mm, ki jih pred vlivljanjem položimo na dno kokil. Pri vlivljanju zoglejijo in zadržujejo strjeno skorjo od stene kokil. V zadnjem času uporabljajo nekatere jeklarne impregnirane kartonske okvire, ki se zelo dobro obnesejo za normalno konične kokile, za obratno konične pa ne.

D. R. Thornton poroča, da je katran pri sušenju izgubil 28 %, bitumenski premaz pa od 38–42 % hlapnih snovi, kar odgovarja pri katranu temperaturi 240° , pri bitumenskem premazu pa 180° . Iz temperature kokil ni možno točno sklepati, koliko hlapnih snovi bo premaz izgubil med sušenjem. Lahko sklepamo, da premazi, ki imajo znaten del hlapnih frakcij med 180 – 240° , dajejo bolj enakomerno debel sloj, kakor oni, ki imajo pretežno del teh frakcij pri še višjih temperaturah. Topila v premazih samo olajšajo mazanje, vendar ti takoj izhlapijo. K enakomernosti sloja ne pripomorejo, v kolikor ni naprava za mazanje toliko popolna, da že sama v obliki megle enakomerno razprši premaz po steni.

Enostavni primer škodljivega vpliva predebelega sloja kaže slika 7.



Sl. 7 – Odtis mrežaste stene kokil na bloku

Izrabljene kokile imajo mrežasto površino. Pri mazanju se te drobne razpoke zapolnijo s premazom. Ako pri vlivljanju natančno opazujemo trenutek, ko pride v stik s talino, vidimo, da talina ob steni vre. Premaz je na tem mestu predebel, da bi izhlapel prej, preden ga jeklo prekrije. Vpliv premaza je tako močan, da dobimo odtis negativne oblike.

Pri vlivljanju samo z Al pomirjenega, posebno še pri z Al legiranem jeklu z 0,2 % Al dobimo belo površino. Analiza teh vključkov da 65 % Al_2O_3 . Obstaja neka reakcija med kokilnim premazom in Al v jeklu. To jeklo vlito v kokile, ki so mazane z naftalinom, ne da omenjene reakcije. Rusi priporočajo naj se pri Al jeklih da na dno kokil 75 do $150 \text{ cm}^3 \text{ CCl}_4$.

Pri jeklih z 1,5–3 % Si se vidi pri kateremkoli bitumenskem ali katranskem premazu izredno reakcijo med premazom in jeklom. Vplivanje premaza je tako močno, da je čisti tekoči rob širok tudi nekaj cm.

V literaturi so razni podatki za kokilne premaze in temperature kokil pri mazanju. Po ameriških podatkih (3) je optimalna temperatura 120 – 175° in mazano s tekočo smolo, s prahom smole, z melaso, Al prahom in grafitom. Rusi (4) priporočajo temperaturo kokil 80 – 100° . Če kokile hladimo z vodo, se ne smejo mazati prej kakor 30 min. po hlajenju z vodo, da voda lahko izpari iz por. Priporočajo premaz z manj kot 0,5 % vlage.

Iz omenjenih izkušenj sledi, da morajo imeti premazi določene lastnosti.

Prednost hlapnih premazov je v tem, da pri vlivljanju dajo redukcijsko atmosfero. Zelo važno je, da se plini izločajo nad talino jekla. Temperatura izparevanja ne sme biti prenizka, da se ne bi pri mazanju že vse osušilo.

Premaz mora imeti določen del nehlapnega ostanka, ki izolira jeklo od stene v momentu dviganja jekla. Ne sme kemično reagirati z jeklom. Imeti mora pravilno viskoznost, da se lahko namaže. Imeti mora visoko temperaturo vnetišča, da se ne vžiga pri mazanju. Mazati se mora tanko. Čim višja je temperatura jekla, debelejši je lahko premaz in čim večja je hitrost vlivljanja, tanjši mora biti premaz.

LITERATURA

1. D. R. Thornton: An investigation of the function of ingot mould dressings, Journal of the Iron and Steel Institute, vol. 183, str. 300–315, julij 1956.
2. The Iron and Steel Institute, special report Nr. 63, Surface defects in ingots and their products, 1958.
3. Martenovskoe proizvodstvo stali, 1947.
4. M. I. Kolosev, A. P. Kulbackii: Razlivka stali, 1957.