

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

## VSEBINA

	Stran
Rekar Ciril — ZP Slovenske železarne NAJNOVEJSI RAZVOJ ŽELEZARSTVA MOŽ- NOSTI ZA SLOVENSKE ŽELEZARNE . . . . .	161
Dobovišek Bogomir — FNT Ljubljana NEKAJ MISLI OB SEDANJEM NAČINU OCE- NJEVANJA REAKTIVNOSTI TRDNIH REDU- CENTOV . . . . .	183
Kuzman Karel — Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani T. Razinger, Železarna Jesenice OCENA SPOSOBNOSTI DOMACIH JEKEL ZA MASIVNO PREOBLIKOVANJE V HLADNEM . . . . .	189
Prešeren Vasilij, Metalurški inštitut Ljubljana J. Segel, Železarna Ravne STUDIJ MOŽNOSTI UVAJANJA PROCESNIH RACUNALNIKOV NA ELEKTROOBLOČNI PECI . . . . .	199
Senica Marjan, Železarna Ravne VPLIV AKSIALNIH OBREMENITEV NA ŽIVLJENJSKO DOBO VALJCNH LEZAJEV . . . . .	207
TEHNICNE NOVICE . . . . .	213
Paulin Andrej — FNT Ljubljana MEDNARODNI SISTEM ENOT IN PREDLOG USKLAJENE UPORABE SIMBOLOV ZA OZNA- ČEVANJE FIZIKALNIH IN KEMIČNIH VE- LICIN . . . . .	213
Mesec Janez, Železarna Jesenice LASTNOSTI VAROV VARILNIH ŽIC ZA VAR- JENJE V ZASČITNI ATMOSFERI PRI UPO- RABI CO <sub>2</sub> . . . . .	221

LETO 7 ŠT. 4 1973  
ŽEZB BQ 7 (4) 161-224 (1973)

## VSEBINA

	Stran
Rekar Ciril — ZP Slovenske železarne	
<b>Najnovejši razvoj železarstva možnosti za slovenske železarne . . . . .</b>	<b>161</b>
DK: 669.162.1:669.162.21:669.18.013.5	
ASM/SLA: C21, D1, D2, D3, D5	
Dobovišek Bogomir — FNT Ljubljana	
<b>Nekaj misli ob sedanjem načinu ocenjevanja reaktivnosti trdnih reducentov . . . . .</b>	<b>183</b>
DK: 662:543.878	
ASM/SLA: RMj., P13b	
Kuzman Karel — Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani	
T. Razinger, Železarna Jesenice	
<b>Ocena sposobnosti domačih jekel za masivno preoblikovanje v hladnem . . . . .</b>	<b>189</b>
DK: 669.14.018.26:620.163.22	
ASM/SLA: CNm, Q23p, Q28h	
Prešeren Vasilij — Metalurški inštitut Ljubljana J. Šegel, Železarna Ravne	
<b>Študija možnosti uvajanja procesnih računalnikov na elektroobločne peči . . . . .</b>	<b>199</b>
DK: 669.187.2:681.31	
ASM/SLA: D5, U4k.	
Senica Marjan, Železarna Ravne	
<b>Vpliv oksidnih obremenitev na življenjsko dobo valjčnih ležajev . . . . .</b>	<b>207</b>
DK: 62-233	
ASM/SLA: T7d	
<b>Tehnične novice . . . . .</b>	<b>213</b>
Paulin Andrej — FNT Ljubljana	
<b>Mednarodni sistem enot in predlog usklajene uporabe simbolov za označevanje fizikalnih in kemičnih veličin . . . . .</b>	<b>213</b>
Mesec Janez, Železarna Jesenice	
<b>Lastnosti varov varilnih žic za varjenje v zaščitni atmosferi pri uporabi CO<sub>2</sub> . . . . .</b>	<b>221</b>

## I N H A L T

	Seite
Rekar Ciril — ZP Slovenske železarne	
<b>Die neuesten Entwicklungen im Eisenhüttenwesen, Möglichkeiten für die slowenischen Eisenhüttenwerke . . . . .</b>	161
DK: 669.162.1:669.162.21:669.18.013.5	
ASM/SLA: C21, D1, D2, D3, D5	
 Dobovišek Bogomir — FNT Ljubljana	
<b>Einige Gedanken über die gegenwärtige Bewartungsweise der Reaktionsfähigkeit der festen Reduktionsmittel . . . . .</b>	183
DK: 662:543.878	
ASM/SLA: RMj., P13b	
 Kuzman Karel — Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani	
T. Razinger, Železarna Jesenice	
<b>Die Bewertung der kaltmassiv Umformungsfähigkeit der Stähle . . . . .</b>	189
DK: 669.14.018.26:620.163.22	
ASM/SLA: CNm, Q23p, Q28h	
 Prešeren Vasilij — Metalurški inštitut Ljubljana J. Segel, Železarna Ravne	
<b>Studie über die mögliche Anwendung der Prozessrechner an elektrischen Lichtbogenöfen . . . . .</b>	199
DK: 669.187.2:681.31	
ASM/SLA: D5, U4k.	
 Senica Marjan, Železarna Ravne	
<b>Einfluss der aksialen Beanspruchungen auf die Lebensdauer der Wälzlager . . . . .</b>	207
DK: 62-233	
ASM/SLA: T7d	
 <b>Technische nachrichten . . . . .</b>	213
Paulin Andrej — FNT Ljubljana	
<b>Das internationale Einheitsystem und Vorschlag für eine koordinierte Anwendung der Symbole für die Bezeichnung physikalischer und chemischer Kenngrößen . . . . .</b>	213
 Mesec Janez, Železarna Jesenice	
<b>Eigenschaften des Schweissgutes der Schweissdrähte für die Schutzgasschweissung bei der Anwendung von CO<sub>2</sub> . . . . .</b>	221

## CONTENTS

	Page
<p>Rekar Ciril — ZP Slovenske železarne</p>	
<p><b>The newest development of ironmaking, possibility for Slovene ironworks . . . . .</b></p>	161
<p>DK: 669.162.1:669.162.21:669.18.013.5            ASM/SLA: C21, D1, D2, D3, D5</p>	
<p>Dobovišek Bogomir — FNT Ljubljana</p>	
<p><b>Some Thoughts about the Present Estimation of Reactivity of Solid Reducing Agents . . . . .</b></p>	183
<p>DK: 662:543.878            ASM/SLA: RMj., P13b</p>	
<p>Kuzman Karel — Fakulteta za strojništvo            Univerze v Ljubljani            T. Razinger, Železarna Jesence</p>	
<p><b>Estimation of Ability of Steel for Massive Cold Working . . . . .</b></p>	189
<p>DK: 669.14.018.26:620.163.22            ASM/SLA: CNm, Q23p, Q28h</p>	
<p>Prešeren Vasilij — Metalurški inštitut Ljubljana            J. Segel, Železarna Ravne</p>	
<p><b>On Possible Introduction of Process Computers for Electric Arc Furnaces . . . . .</b></p>	199
<p>DK: 669.187.2:681.31            ASM/SLA: D5, U4k.</p>	
<p>Senica Marjan, Železarna Ravne</p>	
<p><b>Influence of Axial Loads on Life of Roll Bearings . . . . .</b></p>	207
<p>DK: 62-233            ASM/SLA: T7d</p>	
<p><b>Technical News . . . . .</b></p>	
213	
<p>Paulin Andrej — FNT Ljubljana</p>	
<p><b>The international system of units and the proposal for the coordinated use of symbols denoting physical and chemical quantities . . . . .</b></p>	213
<p>Mesec Janez, Železarna Jesenice</p>	
<p><b>The properties of welds made by welding wires for shielded arc welding using CO<sub>2</sub> . . . . .</b></p>	221

## СОДЕРЖАНИЕ

- Rekar Ciril — ZP Slovenske železarne  
Самые последние новости развития металлургии; возможности словенских металлургических заводов . . . . . 161  
DK: 669.162.1:669.162.21:669.18.013.5  
ASM/SLA: C21, D1, D2, D3, D5
- Dobovišek Bogomir — FNT Ljubljana  
Некоторые размышления к современному способу оценки реактивности твёрдых окислителей . . . . . 183  
DK: 662:543.878  
ASM/SLA: RMj., P13b
- Kuzman Karel — Fakulteta za strojništvo  
Univerze v Ljubljani  
T. Razinger, Železarna Jesence  
Оценка способности стали для массивной деформации в холодном состоянии . . . . . 189  
DK: 669.14.018.26:620.163.22  
ASM/SLA: CNm, Q23p, Q28h
- Prešeren Vasilij — Metalurški inštitut Ljubljana  
J. Segel, Železarna Ravne  
Исследование о возможности введения вычислительсчётчиков для управления металлургическим процессом электродуговой печи . . . . . 199  
DK: 669.187.2:681.31  
ASM/SLA: D5, U4k.
- Senica Marjan, Železarna Ravne  
Влияние аксиальной нагрузки на продолжительность роликовых подшипников . . . . . 207  
DK: 62:233  
ASM/SLA: T7d
- Технические новости . . . . . 213
- Paulin Andrej — FNT Ljubljana  
Международная система единств и предложение согласованного употребления символов для обозначения физических и химических величин . . . . . 213
- Mesec Janez, Železarna Jesenice  
Свойства сварных швов сварочной проволоки для сварки в защитной атмосфере при употреблении CO<sub>2</sub> . . . . . 221

Prof. Ciril Rekar  
ZP Slovenske železarne, Ljubljana

DK: 669.162.1:669.162.21:669.18.013.5  
ASM/SLA: C21, D1, D2, D3, D5

## Najnovejši razvoj železarstva, možnosti za slovenske železarne

### IZVLEČEK ČLANKA

Navedene so prognoze svetovne in jugoslovanske proizvodnje surovega jekla. V proizvodnji treh slovenskih jeklarn pa naj bi delež elektro jekla do leta 1985 dosegel vsaj 700.000 ton od 1—1,1 milijona ton. Obravnavani so odnosi grodelj — staro železo, potrebe bodočega uvoza starega železa iz inozemstva, domače in svetovne zaloge rude, koksov in drugih črnih premogov.

Kratek oris karakteristik treh železarn ZP poudarja zlasti problematiko jeseniške železarne.

Opisu najnovejših ukrepov in možnosti za znižanje porabe koksa in zvišanje proizvodnosti malih plavžev sledijo ocene kisikovih konvertorjev LWS, OBM, AOD in Uddeholmskega in možnost zamenjave SM peči z LWS konvertorjem na Jesenicah. IRSID-ovo kontinuirno žilavenje je navedeno kot etapa v razvoju železarstva.

Položaj in razvoj elektrojeklarn v ZP narekuje spremljanje »direktnih procesov«, proizvodnjo metaliziranih peletov ter razvojne koncepte mini železarn. Stroge kvalitetne zahteve uvajajo v jeklarne dupleks in tripleks postopke, pri katerih se vedno bolj uveljavljajo kot zaključni agregati indukcijske peči za srednje in mrežne frekvence z evakuiranjem in brez njega. Da je mogoče tudi najmanjše železarne smiselno racionalizirati, kaže primer mini železarne v Decazeville-u.

Proizvodnja koksa v Bakru po 1976, možnost kvalitetne proizvodnje nizkoogljčnih jekel v kisikovem konvertorju na Jesenicah priporočata, da Jesenice tudi v bodoče obdržijo proizvodnjo grodlja. Primrežane so med seboj štiri tehnološke alternative, ki kažejo, da je osnovno vprašanje jeseniške železarne preskrba s kvalitetnim jeklom po najugodnejših proizvodnih stroških in da ne bo lahka odločitev za najboljšo alternativo.

Prognoza bodoče proizvodnje našega in svetovnega železarstva.

Z izgradnjo obstoječih železarn v Sisku, Zenici, Nikšiću, Skopju in Smederevu — poleg obeh mini železarn v Splitu in Kumrovcu — pada delež železarn Jesenice, Štore in Ravne, združenih v ZPSŽ v jugoslovanski proizvodnji od leta do leta, če glegamo le na tone proizvedenega surovega jekla. Če bodo po srednjeročnem načrtu vse naše železarne v letu 1975 proizvedle cca 4,8 milijona ton surovega jekla, slovenske pa le 800.000 ton, bo njihov delež s 684.000 tonami v letu 1972 nasproti skupno 2.650.000 ton padel v letu 1975 od 25,8 % na 16,6 %. Če pa bodo slovenske železarne proizvedle v letu 1985 1 ali 1,1 milijona ton nasproti optimistično predvideni jugoslovanski proizvodnji za isto leto 11 milijonov ton, bo znašal delež proizvodnje surovega jekla slovenskih železarn le še 9,0 ali 10 %. Po vrednosti bo pa bistveno večji.

Ker bo proizvodnja surovega železa visokih peči na Jesenicah v letu 1975 dosegla komaj 200 tisoč ton — pod pozneje obravnavanimi pogoji — proizvodnja železarne Štore pa se bo orientirala na osnovi dosežkov zelo uspešne poskusne kampanje letos v februarju na specialne, eksportno in komercialno interesantne grodlje, ki se bodo doma in na tujih tržiščih mogli meriti z grodlji tipov Sorel in Kugra, bo treba kupovati potrebno belo surovo železo za naše tri elektrojeklarne, zlasti v nam najbližje stoječem Sisku, ki bo po letu 1976 proizvajal okrog 1,0 do 1,1 milijona ton belega grodlja, torej več kot ga bo ta železarna sama potrebovala.

Za naše razmere je upravičen račun, da se bo proizvedeno izgotovljeno jeklo vračalo od potrošnikov kot zbirno staro železo šele po 20 letih.<sup>1</sup>

Za preskrbo naših jeklarn bo torej tudi še po letu 1985 zaradi nezadostnih količin domačega starega železa potrebno uvažati največ za trdo valuto

velike količine starega železa — ali polizdelke — če ne bi manjkajoče železo sami proizvajali kot čisti metalizirani vložek in čisto tekoče surovo železo.

Če primerjamo proizvodnje, prognoze in rasti svetovne proizvodnje z našo, dobimo v sledeči tabeli navedene številke.

Tabela 1: Primerjava rasti surovega železa in jekla na svetu in v Jugoslaviji

	v milijon tonah in v %					
	Svetovna proizvodnja <sup>2</sup>			Jugoslavija <sup>1</sup>		
	grodelj 10 <sup>6</sup> to	sur. jeklo 10 <sup>6</sup> to	%	grodelj 10 <sup>6</sup> to	sur. jeklo 10 <sup>6</sup> to	%
1952	147,9	208	—	0,27	0,44	—
1962	252,4	352	+ 69	1,03	1,57	+ 240
1972	446,0	629	+ 79	1,82	2,65	+ 69
1975	520	740	+ 17	3,0	4,8	+ 82
1985	720	1100	+ 49	6,9	11,4	+ 138

Prognoze možnosti svetovne proizvodnje (brez Kitajske) do 2000 kaže slika 1 (izračunane so za nekatere možnosti in verjetnosti).

Svetovna proizvodnja surovega jekla zadnjih 25 let dosti redno narašča vsakih 10 let za ca. 70—79 % in se bo ta rast proti 1985 začela krčiti, pozneje pa še bolj, kot kaže prognoza slike 1; tudi razmerje med grodljem (jeklarski, sivi, ferozlitine) in surovim jeklom je bilo do lani približno kon-

stantno 71:100, se bo pa pozneje verjetno pričelo zmanjševati zaradi večjega vračanja starega železa in ker proizvodnja železolitarn ne narašča tako močno kakor jeklarska.

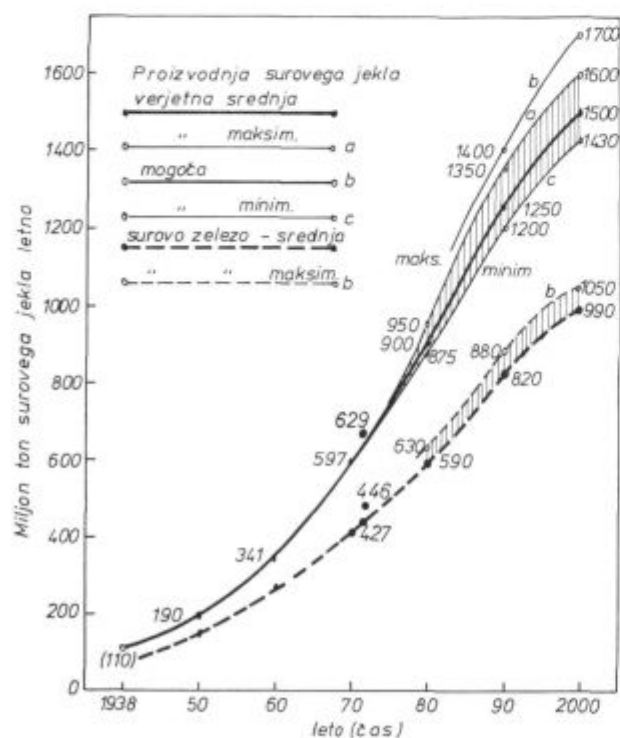
Precej drugačna je slika rasti jugoslovanske proizvodnje surovega jekla in grodlja. S startom 0,44 milijona ton surovega jekla v letu 1952 se je po izgradnji Zenice, Siska in deloma Nikšića, Jesenic in Raven sunkovito dvignila v l. 1962 za 240 % na 1,57 milij. ton in je dosegla lani 2,65 milij. ton — torej v obsegu normalne svetovne rasti za ca. 69 %. Po srednjeročnem načrtu pa naj bi zrasla v 3 letih do 1975 na 4,81 milij. ton, torej za 82 %, v sledečem desetletju do 1985 pa dosegla ca. 10,4 milij. ton, torej za 138 % več. Po predvidevanjih naj bi v istem razdobju zrasla svetovna proizvodnja le za ca. 50 % in dosegla letno proizvodnjo surovega jekla okrog 1.100 milij. ton. Na glavo prebivalca in leto je znašala 1972 svetovna proizvodnja 160 kg surovega jekla, jugoslovanska pa 123 kg. Leta 1962 pa so bili rekorderji proizvodnje jekla Japonska, ČSSR, ZRN in Švedska z 915, 873, 709, 642, medtem ko so si bile SSSR, Avstrija in ZDA slične s svojimi 509, 540 in 590 kg (Luxemburga s ca. 16000 in Belgije s ca 1500 kg s temi ne primerjamo).

#### Ocena prognoze za Jugoslavijo

Če bi hoteli uresničiti načrt, da bi proizvodnja surovega jekla zrasla od 2,65 milijona ton lanske proizvodnje na 11,4 milijona ton v letu 1985, bi rabili za teh dodatnih ca. 8,8 milijona ton (brez investicij v rudnike, energetiko, transport) — skromno računano — za vsako tona na leto ca.  $8,8 \times 250$  USA dolarjev, torej ca. 2,2 milijardi \$. Upoštevajoč obstoječo zadolženost naše železarske industrije in gospodarstva sploh, mislim, da tak načrt ni realen. Realen je še toliko manj, ker taka proizvodnja ne more biti ustvarjena brez ostalih njo celo presegaajočih paralelnih investicij.

Ne oziraje se na večkrat že izdelane in popravljene srednje in dolgoročne načrte jugoslovanskih železarn, bom poskusil sestaviti proizvodni načrt naših železarn, če upoštevam le tiste investicije, ki so v teku ali imajo možnost, da bodo izvedene pred letom 1985. V letu 1985 bi bila naša proizvodnja surovega jekla in surovega železa približno takale. (Naj bo dovoljeno odstopanje  $\pm 10$  % zlasti pri Zenici, Nikšiću in ZPSZ. Mislim, da za leto 1985 še nismo upravičeni, da bi poleg močnejše Zenice s ca. 2,5 m. ton že delala »Železarna Prijedor« — s ca. 2,0 milij. ton začetne kapacitete).

Predpostavljam, da v letu 1985 visoke peči v Varešu ne bodo več obratovala, da bo »Železarnica Skopje« glavni del surovega železa proizvajala v visokih pečeh (po tehnologiji Aciéries de Normandie), da bosta Ilijaš in Store v svojih elektroredukcijskih pečeh proizvajala kvalitetni sivi grodelj iz uvoženih hematitov in da bodo elektro jeklarne ca. 150.000 ton grodlja dobivale od viškov sedaj obstoječih plavžev. (Glej tab. II.)



Slika 1  
Prognoza svetovne proizvodnje jekla in železa (brez Kitajske)

Tabela II:

Železarna	surovo jeklo v tonah	od tega elektro jeklo v tonah	surovo železo v tonah
ZPSZ	1.100.000	700.000	260.000
Sisak	950.000	60.000	1.100.000
Zenica	2.500.000	120.000	1.650.000
Smederevo	950.000	20.000	590.000
Skopje	1.250.000	260.000	900.000
Nikšić	300.000	300.000	—
Split in Kumrovec	250.000	250.000	—
	7.300.000	1.710.000	4.500.000

Po mojih izračunih postavljeni proizvodni načrt je iz finančnega investicijskega gledišča močno optimističen, čeprav bi tedaj prišlo (ne upoštevajoč uvoz) na vsakega Jugoslovana in leto šele okrog 330 do 350 kg surovega jekla. Optimistična je tudi predpostavka, da bodo mogli biti paralelno izgrajeni energetski objekti in še ne obstoječa kovinska in strojna industrija, ki naj bi predelali dodatne — nove — cca 4,6 milijone ton surovega jekla.

Koristno si je ogledati nekaj statističnih podatkov zadnjih let o svetovni proizvodnji, porabi, uvozu (in seveda izvozu) Fe-rud, proizvodnji grodlja in v primerjavi te s proizvodnjo surovega jekla. Svetovna proizvodnja železovih rud, Fe v rudah, surovega železa, surovega jekla v  $10^6$  tonah — surovega železa in surovega jekla v kg na prebivalca in leto je bila v preteklih letih sledeča (tab. III.)

Tabela III:

Leto	Proizvodnja rude			Proizvodnja		
	povpr. % Fe	ruda v $10^6$ ton	Fe v $10^6$ ton	surovo žel. v $10^6$ ton	sur. jeklo v kg/pr. 2	sur. jeklo v kg/pr. 1
1965	52,2	624	325	326	99	460
1970	54,8	763	418	427	118	597
1971	55,2	770	424	423	115	583
1972	55,2	759	418	446	119	629
1972 Jugosl.	38,9	3,49	1,35	1,76	85	2,65

V letu 1972 so nekateri veliki proizvajalci nakopali rude s povprečno 55,2 % Fe, uvozili rude, proizvedli grodlja v  $10^6$  tonah in v kg/prebiv. in leto na primer. (Gl. tab. III.)

Očitno je, da so potentni proizvajalci jekla tudi potentni proizvajalci grodlja, ne glede na to, ali imajo doma rude in ali so te bogate. Razen SSSR so med navedenimi vsi tudi veliki uvozniki bogatih rud.

Tabela IV:

Države	Proizvodnja			Uvoz Proizv. grodlja		
	rude	% Fe	$10^6$ ton Fe	$10^6$ ton Fe	$10^6$ ton	kg/preb./l
OECD	127	41,5	53	48	112	298
SSSR	208	54,0	113	—	92	373
ostale SEV	11,5	21,1	3,3	20,0	26,1	249
Japonska	1,4	58,0	0,8	70,0	74	695
USA	76,3	58	44	23,0	80,6	385

Celo nasproti državam SEV brez SSSR je Jugoslavija s 85 kg grodlja proti 249 kg na prebivalca in leto v ozadju in za okrog 30 % pod svetovnim povprečjem (gl. vire pod 2 in 3.)

#### Ocena preskrbe z rudami ljubijjskih rudišč

Proizvodnja surovega železa na Jesenicah, v Sisku, Zenici in Smederevu gravitira k ljubijjskim, Zenica še k slabšim vareškimi rudam. Železarna Skopje bo izkoriščala zlasti rudnik Tajmište.

Ljubijjske (A+B+C<sub>1</sub>+C<sub>2</sub>) rezerve rude so bile 31. 12. 1971 ocenjene (ugotovljene) za centralna, južna, vzhodna rudišča, za Vidrenjak in Omarsko na 307 milijonov ton, verjetno so pa blizu 470 milij. ton (vračunan brand in bazične revne rude). V letu 1972 je bilo iz ljubijjskih rudnikov odpremljeno 2 milijona ton, v glavnem iz centralnega rudišča. V jeseni je tam pričela obratovati nova pralnica, ki daje dobro rudo s 53 % Fe, ima pa letno kapacitete le ca. 700.000 t pri izkoristku 81,5 %.

Čeprav je odkopna kapaciteta ljubijjskih rudnikov danes pri ca. 4 milijonih ton letno, pa tako zvišanje proizvodnje v ljubijjskih rudnikih ni v skladu niti z ugotovljenimi niti z domnevnimi rezervami, ki bi bile izčrpane v 30 ali v 20 letih. Tudi če bo proizvodnja belega grodlja narasla v železarnah, ki gravitirajo k Ljubiji od ca. 3,3 milijona ton na ca. 5,1 milijona ton, bodo te visoke peči želele dobiti ca 4,7 milijona ton Fe, predvsem v prani rudi, za kar bi bilo potrebno odkopati ca. 11 milijonov ton surove rude.

Če bo proizvodni načrt »Ljubije« za vseh pet rudišč realiziran, bo mogla »Ljubija« dobaviti v tisoč tonah<sup>4</sup>:

	v letu 1975/76	po letu 1976
surove rude	5,100	10,490
prane in sušene rude	4,475	9,115
Skupno bo od skopane rude	10,000	21,700

To pomeni, da naj bi »Ljubija« povišala odkop od lanskim (1972) ca. 2,0 milijonov ton najprej na čez 10,0 milijonov ton, za kar bi poleg investicij v rudnike morali zgraditi še do 6 pralnic in 2 sušil-



nici (za Tomašico), po tem obdobju pa naj bi se dvignil odkop na skoraj 22 milijonov ton in bilo bi zgrajenih še 5 pralnic in 2 sušilnici.

Predpostavljamo, da bo Zenica za skupno ca. 1.550.000 ton železa vsipala v svoje plavže vareske koncentrate s 350.000 ton železa, 1.200.000 ton železa pa kot surove ljubijske limonite in prane rude;

da bo Smederevo polovico potrebnih količin Fe (ca. 300.000 ton) prejemal kot prano rudo iz Ljubije z 52 % Fe, kar odgovarja ca. 700.000 ton odkopane rude.

Potem bi v smislu tabele II morali rudniki »Ljubija« odkopati:

za plavže v Zenici . . . .	3,1 milij. ton rude
za plavže v Sisku . . . .	2,4 milij. ton rude
za plavže na Jesenicah . . .	0,4 milij. ton rude
za plavže v Smederevu . . .	0,7 milij. ton rude

za navedene plavže vsega 6,6 milij. ton rude, katero bi bilo potrebno skoro 2/3 prati in s tem obogatiti.

Ko bo pozneje pričela rabiti rudo še projektirana železarna v Prijedoru, bi se ta količina dvignila v I. fazi za 3,1 na ca. 10,0 milijonov ton kopa letno. Za nadaljnje 3,1 milij. ton ali vsega na čez 13 milijonov ton bi morala Ljubija odkopati, če bi morala dodatno oskrbovati še projektirani drugi plavž z 2000 m<sup>3</sup> v Smederevu. To pomeni, da bi Ljubija izčrpala svoje rezerve rude z nad 45 % Fe v ca. 25 letih.

Oddaljenost rudnikov Ljubija do Zenice znaša 308 km, do Siska le 104, do Jesenic 404, do Smedereva 539 km. Da se življenjska doba Ljubije podaljša, bi bilo upravičeno, da bi se Smederevo orientiralo na dovoz ruskih rud po Donavi, Jesenice pa na dovoz bogatih rud preko 228 km oddaljene, torej skoro za polovico bližje luke za rudo v Bakru.

Pri za 11 % zvišanih tarifah pride 1000 kg Fe v prani ljubijski rudi na 520 N din, v aglo-rudi s 45 % Fe na 485 N din, v Itabiri (baza 65,5 % Fe) na 550 N din. V Smederevu je ljubijska ruda proporcionalno dražja.

Pri vsipih le ljubijske rude v jeseniških plavžih bi znašale količine žlinder ca. 650 do 600 kg, pri ugodnih mešanih vsipih, npr. Itabira + Ljubija pa pod 400 kg na t grodlja; temperatura zraka in % O<sub>2</sub> bi morala biti višja, poraba koksa bi se zmanjšala od ca. 650 na 500—550 kg, to je za ca. 80 do 120 din (pri delu brez olja, katerega bi plavži sprejeli okrog 70 kg/tono). Proizvodnost bi proporcionalno zrasla in s tem bi se zmanjšali vsi ostali fiksni stroški topilniških in drugih obratov. Če bodo v Ljubiji hoteli zvišati proizvodnjo rude le za okrog 5,0 milijonov ton in če bodo zgradili prepotrebne pralnice itd., bo to zahtevalo za vsako tono na leto vsaj 100 \$ investicij. Pri 10-letnem odplačevanju in 10 % obrestih bi znašala odplačila in obresti ok. 370 din za 1000 kg Fe v rudi, 1000 kg Fe frco. Jesenice bi stalo: 520 + 370 = okrog 800 do 900 din.

To je za 40 do 45 % dražje kot stane 1000 kg Fe v Itabiri frco. Jesenice.

Elektroplavži v Iljašu, zlasti pa plavž v Štorah pri proizvodnji specialnega grodlja so odvisni od uvoza čistih Fe-rud z najnižjim % Mn, P in ostalih elementov.

Da bi se življenjska doba ljubijskih rudišč podaljšala, je torej utemeljeno, da se plavži v Smederevu, ki so daleč od Prijedora in ki imajo svojo luko ob Donavi, oskrbujejo z rudami iz Ukrajine ali centralnih rudišč SSSR, — Jesenice pa deloma z bogatimi rudami iz Brazilije, Mauretanije in podobno preko Bakra.

### Oris naših treh železarn

Železarna Ravne, Štore in Jesenice so s svojo malo proizvodnjo posebno poglavje našega železarstva, zlasti velja to za Jesenice, ki so mogle začeti uveljavljati zelo pozno za današnji razvoj in možnosti potrebne obnove, modernizacije in veljavne ekonomske principe. Med seboj se te tri železarnice po zmogljivosti in proizvodnih programih razlikujejo, se pa tudi dopolnjujejo. V nekaj letih bodo mogle zares predstavljati logično in organsko celoto. Mimo tega ležijo na ozemlju, kjer znaša potrošnja predelovalne strojne industrije, obrti, gradbeništva in prebivalstva okrog 500 kg na leto in prebivalca. To se pravi — upoštevajoč še odjemalce preko Sotle in Kolpe — da njihova proizvodnja, zlasti če jo bodo izvozile velik del za potrebe tega okoliša, niti ne bo zadostovala.

Karakteristike teh treh železarn bi v glavnih črtah mogli takole orisati:

Ravne so se po osvobojenju s preišljenimi in sistematičnimi investicijami razvile od neznatnega proizvajalca plemenitih jekel v važno podjetje s kvalitetnim programom. Železarna more proizvajati v svojih petih elektroobločnih in dveh indukcijskih pečeh letno do 220.000 ton jekla. To so v glavnem nizko, srednje, visoko legirana konstrukcijska, orodna, brzorezna jekla, ki bodo valjana, vlečena, kovana, ulita. Ravne kot jeklarna plemenitih jekel ima kapacitete, ki so za tovrstne proizvajalce zelo velike. Temu primerno imajo visoke prodajne cene in pri majhni tonaži je med vsemi tremi jeklarnami njihova prodajna realizacija relativno najvišja. V glavnem so Ravne že izgrajene. Investicijska sredstva potrebujejo, da bi znašal delež dokončnih izdelkov v celotni realizaciji vsaj 60 %.

Štore so z jeklarske strani mini-železarna, ki končuje gradnjo 40-tonske elektro obločne peči, štirižilni »Concast« livni stroj za gredice 100 do 140 Ø. Valjarna je že zgrajena, in sicer bo znašala njena kapaciteta z malimi dopolnitvami letno 150.000 ton žice, drobnih in srednjih profilov ter ploščatega jekla, zlasti peresnega. Tudi če bi ostala stara martinovka v obratu, bo v Štorah proizvodnja jekla postala za potrebe valjarne premajhna. Prej ali slej bodo morali dobiti drugo elektro peč.

Paralelno z jeklarsko proizvodnjo teče zelo važna livarska proizvodnja. Livarna kokil naj krije potrebe slovenskih železarn. Livarna valjev in nodularne litine imata velike možnosti za nadaljnji razvoj. To potrjuje predvsem dejstvo, da je elektroredukcijska peč s kapaciteto 18.000 KVA v poskusni februarški kampanji letos dokazala, da more z uvoženim hematitom Itabira proizvajati specialne vrste surovega železa za nodularne ulitke, ki tem daje neposredno izredno ugodno in čisto feritsko strukturo, ne da bi bilo za to potrebno posebno žarjenje. V Jugoslaviji bo potreba tovrstnega grodlja znašala 25.000—30.000 ton, 25—20.000 ton pa bo lahko prodano v sosednje države za ceno, ki je približno za 1/3 višja od cene za hematitni grodelj. V zadnjih petih letih se je namreč proizvodnja nodularne litine v Evropi skoraj podvojila in dosegla ca. 1,4 milijone ton, v USA pa se je povečala za 2 in polkrat na preko 2 milijona ton. Njen delež je proti navadni litini v Evropi v razmerju 1:10, v USA že 1:5. Da bodo navedeni načrtani program mogli brez kvalitetnih nihanj izvesti, bo potrebno pri TH peči uvesti dupliciranje z mrežno indukcijsko pečjo, kjer naj se sestave grodljev korigirajo in prilagodijo željam kupcev. Brez uvedbe najhitrejših kemičnih analiz — za potrebe plavža in jeklarne — tak nenadni kvalitetni razvoj ne bo mogel uspeti. Primerni aparati (na primer analiza 36 elementov v 50") so dragi. V principu v Štoreh ni osnovnih tehnoloških problemov. Potrebni bodo seveda še veliki napor, da se bodo »nove šture vhodile«. Gradnja nove jeklarne in dodatnih objektov je angažirala velika investicijska sredstva in bo trajalo nekaj let, da bodo najhujše finančne skrbi prebredene.

Jesenice, nekdanja največja jugoslovanska, danes največja slovenska železarna, je po osvoboditvi povečala 5 obstoječih SM peči in postavila dve novi, postavila 2 elektropeči po 60/70 ton; plavža — nekoliko rekonstruirana — sta dobila 1969/1970 novo aglomeracijo in pa predvideni mnogo večji plavž, nove večje kauperje. Vendar novi večji plavž ni bil grajen, ostala sta oba prejšnja plavža neznatno rekonstruirana, s premerom talilnika 3.3 m. Potrebne pa bodo še rekonstrukcije v okviru rednih velikih remontov.

V aglomeraciji in pri plavžih bo potrebno odpraviti številne druge pomanjkljivosti. Poleg izboljšav in ukrepov za razširjenje proizvodnje je bila zgrajena nova vroča valjarna na Beli (bluming-Kvarto, Steckel-valjarna, žična valjarna, HO-profil, jeklovlek), ki jo morajo dopolniti s sodobnimi opremami za hladno valjanje vroče valjanih trakov in pločevin, kvalitetna mehka elektrojekla, slabo in srednje legirana jekla in nerjaveče pločevine. Enako potrebno je povečati kapacitete žičarne.

Tak program je izredno zahteven iz investicijskega in tehnološkega gledišča. Edino znatno povečanje letne proizvodnje — znatno glede obsega realizirane vrednosti — bo omogočilo hitrejši odpis bremen. Za to pa je predpogoj kvalitetno surovo

jeklo, katerega proizvodni stroški bodo odvisni od tehnološke poti, za katero se bo potrebno na osnovi treznih in objektivnih primerjalnih študij odločiti.

Preden pričnemo obravnavati, katere naj bodo te odločitve, si oglejmo, kaj je bilo v železarski tehnologiji v zadnjih letih novega, kar bi moglo biti za nas, posebno za Jesenice, sprejemljivo in koristno.

## ZELEZARSKE NOVOSTI

Za majhnost naših treh železarn so pomembne le tiste novosti in smeri razvoja, ki odgovarjajo njihovim proizvodnim in kvalitetnim programom in realnim možnostim.

### Proizvodnja grodlja v plavžih

Pri projektiranju novih rekonstruiranj obstoječih plavžarskih obratov, pri vodenju plavžarske proizvodnje je glavna pozornost posvečena kvaliteti rude, odgovarjajoči pripravi rudnega vsipa in vsipa sploh.

Bogatenje, pranje, sušenje, po potrebi praženje, drobljenje, mletje, klasiranje se praviloma opravljajo pri rudnikih. Tam, kjer med temi operacijami nastane mnogo frakcij pod 200 do 400 mikronov (prevladujejo naj frakcije pod 100- $\mu$ m) se opravlja proizvodnja in žganje peletov prav tako pri rudniku ali pred vkrcanjem. V železarnah proizvajajo pelete le, če so rudniki zelo blizu ali če je žganje kombinirano z metalizacijo ali s predredukcijo in za to obstojijo ugodni pogoji.

Stroj za sintranje vlažnih mešanic rud od 0—3 mm (0—5 mm), 4—5 % koksa 0—3 mm in apnenca 0—1 mm na rešetkah (običajno DW-Lloyd stroj) je postal najvažnejši agregat sodobnih plavžarskih obratov. Proizvedeni sinter mora biti trden, vsebovati vsaj 90 % Fe kot  $Fe_2O_3$ , torej zelo reduktiven, mora biti toliko bazičen, da je vsip plavža samohoden. Odvisno od kvalitete in termostabilnosti surove ali pražene rude je običajno v vsipu plavžev 50—80 % sintra.

Ker je le pri fizikalno in kemično nespreminjajočih se sestavah vsipa mogoče doseči maksimalne proizvodnje plavžev brez motenj in zastojev, mora plavžar zahtevati najboljšo opremo za predpriprave, klasiranje, tehtanje in kemijske kontrole. Če so ti pogoji doseženi, postane plavž termični agregat z najmanjšo možno porabo koksa, oz. kalorij, ki dela z regularnostjo parnega stroja.

Sodobni Dwight-Lloyd »sinter trakovi« imajo naprave za nasutja od 350—500 mm višine, po potrebi v slojih, delajo z 20 mm debelim slojem 5—15 mm (5—20) sintra na rešetkah (»posteljica«), vžig nasutja je širok, globok in enakomeren. Ne uporabljajo več separatnih hladilnih trakov, ampak raje povečujejo celotno sesalno površino traku za ca. 30—35 % za ohlajenje in močnejšo oksidacijo sintra, ki ga po drobljenju in klasiranju z običajnimi trakovi transportirajo do silosov plav-

ža. Cone sesanja, preprihovanja, izkoriščanja toplote se z zasunki morejo regulirati. Na takih trakovih proizvedeni sintri imajo stopnjo oksidacije okrog 95 %, so trši, po drobljenju dajejo enakomernejše granulacije in bistveno manj povratka, v splošnem pod 20 %.

Tako opremljene in tehnološko vodene aglomeracije dajejo netto sintra z zrnom nad 15 mm skoro 40 ton na m<sup>2</sup> sesalne površine/24<sup>h</sup> (na pr. Decazeville 14 m<sup>2</sup> sesalne, 3,5 m<sup>2</sup> centralne, 7 m<sup>2</sup> hladilne površine). Le pod takimi pogoji je tudi mogoče doseči, da rabijo mali plavži brez starega železa v vsipu in brez mazuta pri vsipu z 500—550 kg žlindre in temperaturi zraka okrog 950° C le 510 kg koksa (300 m<sup>3</sup> — plavž v Decazeville).

V aglomeracijah se izogibajo delati sinter z bazičnostjo 1.1—1.3, ki je slabo reduktiven. Prevladujejo proizvodnje sintrov z  $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} = 1.6—1.8$ , tako da pri odgovarjajočem deležu čiste, termostabilne kosovne — pražene ali surove rude — plavži delajo z žlindrami od 0,9—1,1 bazičnosti.

Izjema so siliko aluminatne rude, kjer z ekstremnim dodatkom pod 1 mm zmletga apnenca (90 % pod 500 mi) proizvajajo sinter z bazičnostjo 4,4—4,7, da iz FeO — silikoaluminatov nastanejo dobro reduktivni kalcijski feriti (Mondeville: plavž 825 m<sup>3</sup> kor. vol. — žlindre 1000 kg/tono. — zrak 1200°; žrelni plin 80—90° C, 16 % CO<sub>2</sub>; 515 kg koksa + 72 kg mazuta in katrana/tono).

Ker imajo le Jesenice dva mala plavža s Ø 3,3 m in cel. volumni 162 m<sup>3</sup> pri peči I in 143 m<sup>3</sup> pri peči II, oziroma s površinama talilnikov po ca 8,6 m<sup>2</sup>, velja le za te oceniti, koliko in pod katerimi pogoji bi ta dva plavža zmogla dati največjo možno količino grodlja na dan in uro. Jasno je, da se taki plavži ne morejo meriti glede specifičnih storilnosti in porab koksa z rekordnimi številkami, kot so na primer: plavži 14 m Ø — 10.000 ton gr/24<sup>h</sup> — 300/350 kg žl., — 385 + 70 = 450 kg suhega koksa na tono grodlja — če računamo, da je razmerje kg koksa enak kg mazuta — temperatura zraka 1150—1250° C in sl. Mali plavži morejo sicer racionalno proizvajati grodelj, vendar pa bo ta vedno dražji kot ga dajejo sodobni veliki plavži. Že samo deleži osebnih, splošnih, vzdrževalnih in upravnih stroškov so bistveno višji. To pa more biti kompenzirano z odgovarjajočo kvalitetno jeklarsko proizvodnjo, za katero bo plačana proporcionalno višja cena: specialna jekla, specialni končni izdelki.

Pri plavžih je mogoče oceniti njihovo storilnost najboljše s količino koksa (koks + olje), ki more zgoreti pred šobami v talilniku in katerega ne sme biti več kot nastalega plina pred šobami talilnik prenese. Tega bo toliko manj, kolikor manj bo prišlo v talilnik goriva (koksa in olja), kolikor manj bo jalovega dušika (z O<sub>2</sub> obogačen zrak), kolikor manj bo žlindre (bogata vsipa); vsip naj ne bo pregost, razdelitev plina naj bo enakomerna, granulacija vsipa enakomerna in primerna za pretok plinov pri kratki pogrezni dobi, količina žlindre

in grodlja po teži večja kot je aerodinamični pritisk plinov (temp. od 800—1000° C, pr ca. 0,6 atm), da ne pride do kipenja vsipa na poti navzdol v talilnik.

Pod optimalnimi in ne spreminjajočimi se pogoji moremo za peč I in II računati z 0,80 kg koksa na m<sup>2</sup> talilnika in uro — zrak 950°; O<sub>2</sub> v zraku do 23 %, 70 kg mazuta, obseg indir. redukcije = 50 % brez apnenca v vsipu — žlindre največ 380 do 400 kg. Pri porabi brutto koksa 600 kg (550 kg koksa + 50 kg olja) bi morali dati obe peči dnevno vsaj 550 ton grodlja ali do 190.000 ton grodlja letno. Iz čistih rud izdelan grodelj je plemenit, čist in tekoč vložek za predelavo v plemenita jekla.

Zaradi bistveno nižjih cen za težka olja so bili v zadnjih 10—15 letih opravljeni številni poskusi in študije<sup>5</sup>, kako zvišati vbrizgavanje olj in s tem znižati porabe koksa. Ker so obratovalni pogoji raznih plavžev, obseg reaktivne cone, izkoristek CO in podobno zelo različni, rezultati niso enotni. Faktorji zamenjave koksa z oljem variirajo od 0,9 do 1,5, količina olj pa se pri enostavnem vbrizgavanju v šobe gibljejo med 30—100 kg. So večje, če so temperature zraka višje, na pr. 1100 do 1250° C, če je zrak obogačen s kisikom — na 23, 25, 27 % O<sub>2</sub>. Čeprav se s tem zvišajo izkoristki CO in H<sub>2</sub>, se znižajo specifične proizvodnosti plavžev manj, kot bi pričakovali. Splošno je pri tem ovira količina saj, ki se pri večjih dodatkih olj zaradi nepopolnega izparevanja in zgorevanja pred šobami prične tvoriti; zavirati regularnost obratovanja in izkoristek CO; zlasti pa saje ovirajo čiščenje plina in delovanje čistilcev.

Raziskovanja in poskusi, ki sta jih v zadnjih letih opravljali IRSID<sup>6</sup> in ATH<sup>7</sup>, obetajo zamenjavo koksa z oljem po IRSID-u na tono grodlja za ca. 140 do 180 kg. S posebno šobo, podobno Venturi-cevi se vpihava vroč zrak, ki v dolgem cilindričnem delu, kjer se je presek zožil na ca 10 % vstopnega preseka dobi nadzvočno hitrost. V del, kjer se šoba začne širiti, se vbrizgava olje. Do 160 ali celo do 200 kg olja na tono grodlja je bilo mogoče pri poskusih vbrizgati in doseči popolno zgorevanje brez tvorbe saj. (»Tuyères à onde de choc«). Pri porabi 600 kg koksa na tono grodlja in zamenjanem faktorju samo 1,0 bi to pomenilo, da bi se mogla pri malih plavžih znižati poraba koksa n. pr. od 600 na 440 ali celo 400 kg/t.

V plavžu v Hagondange, ki ima 12 pihalnic, bodo opravljeni industrijski preizkusi s takimi šobami v teku daljše dobe. Dali naj bi vse parametre, potrebne za oceno in primerjavo proizvodnih stroškov, ki so kompleksni problem: cena koksa ali olja, dodatni stroški za zvišanje pritiska, za zvišani kisik, vprašanje optimalnih izkoristov CO in H<sub>2</sub>, optimalnih storitev, sestave žrelnih plinov ter njihovo kemično in ekonomsko oceno itd.

ATH na drugi strani še ni zaključila svojih poskusov, s katerimi je do sedaj dosegla popolno izparjanje in sežig mazuta s tem, da mazut kot emulzijo s paro (3 do 15 kg H<sub>2</sub>O/t) vbrizga v vroči

zrak, doseže pop. izparenje in preko nešteti »mikro eksplozij« popolno pretvorbo mazuta v CO in  $H_2$ .

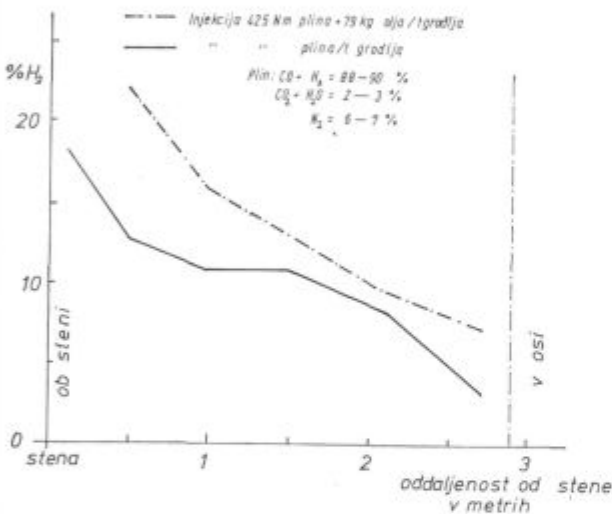
C. R. M. je ob koncu leta 1972 zaključil 8 mesecev trajajoče poskuse na plavžu tvrdke Cockerill v Seraingu<sup>8</sup>. Kot je razvidno že iz študije, citirane pod (5) bi bila najuspešnejša zamenjava koks z gazifikacijo olj zunaj plavža in z vpihavanjem od  $CO_2-H_2O-C_2H_4$  očiščenega in na 1000—1100°C pregretega plina v trehuh plavža. Po predposkusih v C. R. M. so bili leta 1971 industrijski poskusi izvršeni v plavžu s premerom talilnika 4,5 m, ki je normalno proizvajal okrog 450 ton Thomas-grodlja dnevno, pri porabi 545 kg koks, 76 kg olja na tono, temperaturi zraka 800°C in z zamenjalnim faktorjem koks/olje ca. 1,02. Na razpolago so imeli na uro 8000 Nm<sup>3</sup> plina z 88—90% CO + H<sub>2</sub>; z le 2—3% CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O in z 6—7% N<sub>2</sub>. Rudni vsip je pretežno mineta. Slika 2 kaže razdelitev plina, vpihovanega

Ostali podatki: koks z 85% C, temp. zraka 800°C, zračna vlaga 10 g/Nm<sup>3</sup> suhega zraka, (Si) — 0,5%. Zaključna serija 4 je trajala prekratko, da bi mogel biti posplošen doseženi prihranek ca. 245 kg koks, ki presega vse do sedaj znane rezultate. Umevno je, da po taki poti zvišan obseg indirektna redukcije zviša tudi proizvodnost.

### Vpihovanje kisika v konvertorje skozi dno

Se nedavno se je zdelo, da bo žilavenje s kisikom v LD (LDAC oziroma LDOLP) konvertorju izpodrinilo vse Thomas konvertorje in vse SM in podobne ognjiščne peči. Zlasti so temeljile take napovedi na izredni storilnosti največjih LD in LDAC konvertorjev, kakovosti njihovih jekel, možnostih, da se ves proces žilavenja eksaktno kontrolira in avtomatizira<sup>9</sup>. Tedaj tudi ni kazalo, da se bo posrečilo vpihovanje kisika skozi dno, zlasti da bi rešili številne razmeroma majhne, vendar pa ekono-mične Thomas jeklarne v minetnih področjih.

Napori francoskih in belgijskih jeklarjev po rojstvu LD-konvertorja v letu 1950/52, da bi izkoristili pri Thomas konvertorjih kisik za vpihovanje skozi dno, katerega bi hladili z vodno paro, s CO<sub>2</sub> in podobno, so pripeljali šele 1969. leta do uspeha. Za hlajenje so tedaj pričeli uporabljati najprej naravni plin, potem pa učinkovitejša kurilna olje. Število bakrenih šob so pri 24 t Thomas konvertorju št. 7 v Rombas zmanjšali od 300 na 6 — notranja bakrena cev Ø 20 mm za vpihovanje kisa 165 Nm<sup>3</sup>/min in 12 atm, zunanja železna s spiralnimi rebri za dovajanje hladilnega olja — 10 atm, 85,8% C — 13,4% H<sub>2</sub> in 31/t jekla (gl. sl. 3 in 4). — proces in konstrukcija konvertorja se imenuje LWS (po investitorjih — Creusot-Loire, de Wendel, Spruncks & Co.). Poročila o tem so obširna in detajlna<sup>10</sup>. — Ker je žilavenje skozi dno manj burno, je bilo mogoče zvišati nivo taline od 78,5 na 96 cm, težo pa od 24 t na 30 t. — Izdelana jekla so



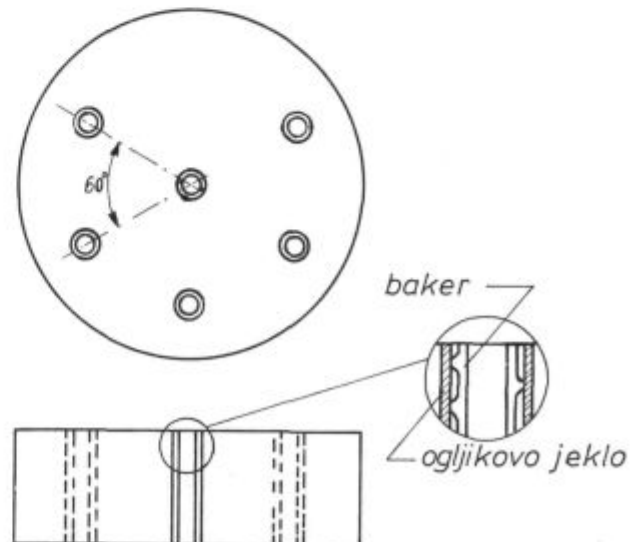
Slika 2

Razdelitev plina v plavžu Ø 4,5 m Séraing

brez olja in razdelitev plina, vpihovanega z 79 kg olja. Zlasti v tem primeru je mogoče ugotoviti, da je razdelitev plina proti sredini ugodna in da se vpihani plin in olje aditivno dopolnjujeta v svojem delovanju glede prihranka koks. Rezultate navaja tabela V.

Tabela V.

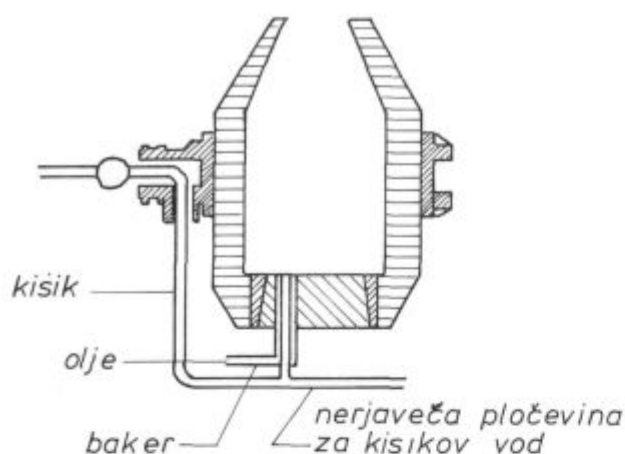
	Preskusne periode			
	1	2	3	4
Koks ... v kg/t grodlja	545	523	439	310
Olje ... v kg/t grodlja	76	—	79	125
Reformiran plin v Nm <sup>3</sup> /t grodlja	—	412	425	425
Zamenjalni faktor kg koks/kg olje	1,02	—	1,02	1,02
Zamenjalni faktor kg koks/Nm <sup>3</sup> plina	—	0,24	0,24	



Slika 3

Razporeditev šob v LWS konvertorju

## Shema LWS konvertorja



Slika 4  
LWS konvertor v Rombas

imela C: 0,02—0,04 %, Mn: 0,03—0,07 %, P ca. 0,025 %, S ca. 0,015 %, N<sub>2</sub> ca. 0,0015 %, H<sub>2</sub> — 0,0004 do 0,0007 %, O<sub>2</sub>: 0,08—0,10 %; temperatura se dvigne na 1615° C. Zlindra ima normalno sestavo Thomas žlinder s 17 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, % Fe je za 3 % višji, % MgO pa nižji. Obrabi dna in sten sta sinhronizirani in je poraba dolomita pri 500 šaržah ca 3—5 kg/t jekla. Proizvodni in časovni izkoristek sta se pri LWS konvertorju zvišala za okrog 67 %. — Zaradi razkroja olja znaša % H<sub>2</sub> 0,0005—0,0008, zato jeklo med 50—60" premešajo s CO<sub>2</sub> —, N<sub>2</sub> — ali Ar ter se H<sub>2</sub> zniža na 0,00025 do 0,00035 (2,8 — 3,9 cm<sup>3</sup>/100 gr).

Izdelane bilance kažejo, da je mogoče uporabljati znatne količine odpadkov ali metaliziranih peletov; pri grodlju s ca. 0,8—1,0 % Si, 4 % C in 0,6 % Mn bi bilo mogoče šaržirati teh v količinah 25—30 % kovinskega vložka. Namesto 64 Nm<sup>3</sup> O<sub>2</sub> pri fosforjem grodlju in 30 % odpadkov se rabi pri jeklarskih grodljih ca. 52/60 Nm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>; šarže se podaljšajo za ca 5' (žilavenje 15' mesto 10').

Ob ogledu prvega 24-tonskega Thomas-konvertorja za 30 ton v Rombas (junij 1973) po LWS postopku so se ob 400 talinah postopoma zatatile 3 šobe od šestih. Te tri so prevzele obremenitev s kisikom za vseh 6. Zelo uspelo je tudi vpihovanje na pod 500 mi zmlatega apna skozi šobe. Ena sama šoba prenese 1/3 vsega apna, ki je potreben za tvorbo fosfatne žindre. — Izplakovanje H<sub>2</sub> v jeklu vršijo z N<sub>2</sub> in z zrakom med zadnjimi 40—60" —. Ker so vse regulirne in deloma avtomatizirane instalacije pri tem prvem LWS konvertorju vidne, je le tu mogoče zasledovati delovanje črpalk za olje, pritiske, dodatke O<sub>2</sub> — zraka — dušika — potek žilavenja. — Presenetli zmanjšanje akustičnih efektov. LWS postopek je nov, velik uspeh v jeklarstvu.

V minetnih revirjih začenjajo predelovati obstoječe Thomasove na LWS-konvertorje: kvaliteta

jekla je enaka jeklom LD, oziroma LDAC konvertorjev; brez spremembe notranjih dimenzij se zviša teža talin za okrog 30 %, proizvodnost pa za 25—30 %; zdržnost obzidja je večja; lažje je avtomatizirati proces. Ni še rešeno vprašanje enostavnega čiščenja plinov brez zgorevanja, ker zvišani % H<sub>2</sub> v plinu razširi eksplozijsko področje in bo verjetno, zlasti pri manjših konvertorjih, potrebno vžgati plin pod kotli s prebitki zraka, podobno kot v prvi fazi razvoja LD konvertorjev.

Ker so proizvodni stroški SM-jekel previsoki celo tam, kjer imajo odveč koksarniškega plina in katranov, jeklarne so pa zadosti visoko grajene, se SM peči podirajo in zamenjujejo z LWS konvertorji. V jeklarni v Hagondange so na primer v 5 mesecih porušili 1 SM-peč za 170 ton in 4 SM peči za 120 ton. 2 Thomas konvertorja za 45 ton predelujejo v LWS za 60 ton in bo en sam zmozel proizvodnjo, ki bo za ca. 20 % večja kot je bila proizvodnja 4 SM peči. Prav tam bodo v LWS konvertorja predelali še 2 Thomas za 25 ton. To se dogaja tudi v ostalih Thomas jeklarnah, gradijo se pa tudi novi objekti in konvertorji za 60, 100, 120 ton, ki so grajeni kot simetrične, centrične LD hruške.

**OBM konvertor**<sup>1)</sup> je tehnološko in konstruktivno podoben LWS konvertorju. U. S. Steel Corp. in Maxhütte so v letih 1970/71 razvile svoj prvi 40-tonski konvertor, kjer O<sub>2</sub> prav tako vpihajo skozi dno, le da je tu hladilno sredstvo naravni plin. Ta sicer manj učinkovito hladi šobe, vendar zadostno. Po zaključnem izplakovanju in premešanju z N<sub>2</sub> — Ar odpravijo tudi tu v jeklu raztopljeni H<sub>2</sub> do zahtevanih najmanjših ppm.

V Franciji, Luksemburgu in Belgiji je nujno zamenjati Thomas konvertorje z LWS — in ustaviti drage SM jeklarne. Na področju OBM konvertorja pa naj ta predvsem omogoči ustavev SM peči kapacitet od 80 do 250 ton.

Za LWS in OBM konvertorja lahko rečemo, da sta na pohodu in se z njima začne renesansa že na smrt obsojenega Thomas konvertorja, pa tudi postopno odmiranje SM peči po 100 letih njene dominacije v proizvodnji kvalitetnih jekel, ki pa je nasproti O<sub>2</sub> — konvertorskim jeklom predraga. Ta dva konvertorja bosta gotovo postala nevarna tekmeča LD in LDAC konvertorjem.

Ce jeseniški železarji dosežejo in obdržijo proizvodnjo surovega železa pri 200.000 ton letno, bi z vložkom 70 % tekočega grodlja in 30 % lastnih odpadkov, starega železa, metaliziranih peletov mogli s proizvodnjo 35-tonskega LWS konvertorja ustvariti letno ca. 260.000 ton (2 zaporedni talini po 35 ton), pri zvišani proizvodnji ca. 300.000 ton grodlja pa 400—450.000 ton kvalitetnega O<sub>2</sub> - konvertorskega jekla, zlasti mehkih silicijevih in visokolegiranih kvalitet, kjer naj bo % C pod 0,02 %. SM peči 1—5 bi bile porušene, SM peči 6 in 7 bi mogli biti za rezervo. Ker LWS-konvertor namesto naravnega plina rabi kurilno olje — pride predvsem v poštev. Kot kaže študijski predprojekt, bi mogla biti po-

stavljen v obstoječo martinarno taka konvertorska instalacija brez večjih konstrukcijskih sprememb in posegov.

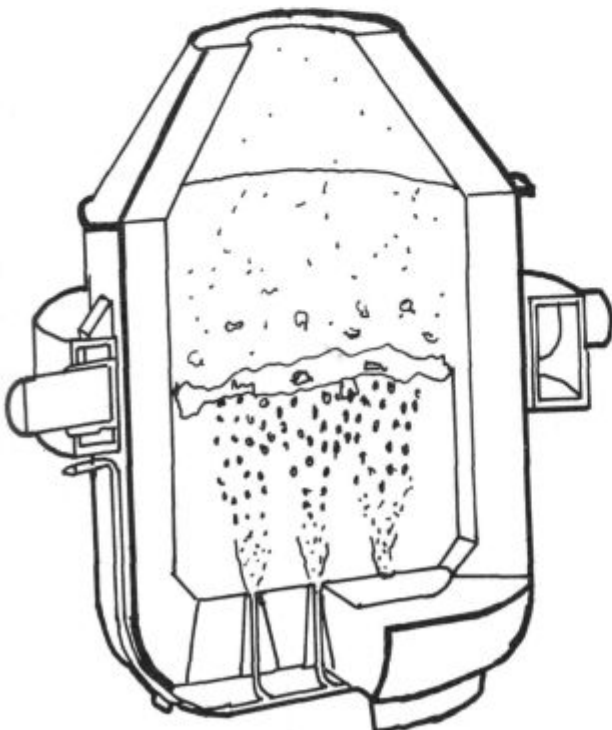
Zelo ugodno je hitro zaporedje konvertorskih šarž tam, kjer se vlivajo jekla na »konti-strojih«. Ti so Železarni Jesenice potrebni in so tudi predvideni. Več o teh možnostih pozneje.

Linde Division od UNION-CABIDE — Corp. in Joslyn so 8 let razvijali **AOD-konvertor**, ki je bil namenjen s kapaciteto 17 ton za proizvodnjo Cr in CrNi nerjavnih in visokotemperaturnih jekel<sup>12</sup>.

Žilavenje v konvertorju v elektro-obločni peči prejštaljenega surovega jekla poteka z O<sub>2</sub> in Ar, katerih razmerje se menja od 3:1 na 2:1 in končno na 1:2. Po fazi odžvepljanja, legiranja, dezoksidacije sledi še izplakovanje z Ar. Na tono jekla porabijo 15—25 m<sup>3</sup> O<sub>2</sub> in 18—23 m<sup>3</sup> Ar. Tako tehnologijo uporablja tudi jeklarna v ILssa-Viola, ki proizvaja letno za 40.000 ton takih jekel, spada pa k C. M. I.

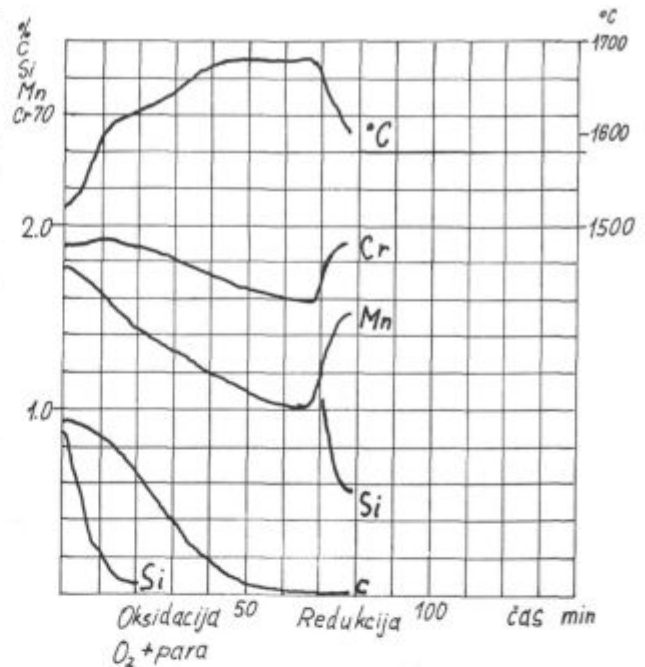
Princip prvotno s paro hlajenega LWS konvertorja sta za proizvodnjo Cr-CrNi-nerjavnih jekel za **Uddeholm** v jeklarni Degerfors razvila O. Johnson in A. Eriksson<sup>13</sup>. Shema poskusnega konvertorja in potek štirih faz procesa — oksidacija Si — oksidacija C — dezoksidacija in redukcija s Fe Si — izplakovanje vodika z Ar brez vakuuma — kaže ta sliki 5 in 6. Poraba Ar je znižana na ca. samo 1 Nm<sup>3</sup>/t jekla ter se zniža % H<sub>2</sub> na 5 ppm. 70-tonski konvertor je v gradnji.

V kateremkoli kisikovem konvertorju iz čistega grodlja in čistih odpadkov izdelano jeklo je kvalitetno, je tudi kvalitetnejše kot so ogljična in nizko



Slika 5

Projekt konvertorja za Uddeholm postopek



Slika 6

Potek žilavenja po Uddeholm postopku

legirana martinska in elektrojekla. Konvertorji LWS in OBM so torej določeni za proizvodnjo kvalitetnih jekel, zlasti tistih z zelo nizkim C. Žilavenje je mirnejše, obraba sten in dna enakomerna, vzdržnost zelo velika, proizvodni stroški ugodni.

Zaradi nižjih višin so tudi gradbeni in investicijski stroški manjši. To pa so prednosti, ki so pomembne pri sodobnih malih proizvodnih enotah, ne pa toliko pri kapacitetah jeklarn od 4 do 10 milijonov ton surovega jekla.

#### IRSID-ovo kontinuirno žilavenje

Istočasno, ko so se francoski metalurgi trudili rešiti problem vpihavanja kisika skozi dno konvertorjev, je IRSID v svojem inštitutu v Maizières lès Metz razvijal tehniko in instalacijo za kontinuirno žilavenje grodlja<sup>14</sup>. Mala industrijska naprava za žilavenje ca. 25 ton grodlja na uro je bila nato grajena od 1969 do 1971 v bližnji Thomas jeklarni v Hagondange. Ob zaključku dvoletnega kampanjskega obratovanja je bilo v začetku decembra 1972 predvajano delovanje te naprave za »affinage continu« pred številno mednarodno strokovno publiko, ki je mogla ugotoviti uspešnost tega postopka in veliko specifično storilnost majhnega in nizkega reaktorja, katerega je tudi mogoče postaviti v vsako SM- ali Thomas jeklarno.

Izredno intenzivna specifična storilnost je dosežena z dejstvom, da skozi kratko kopje vpihavana kisik in zmleto apno na neprekinjeno dotekajoče surovo železo povzročata penečo se emulzijo grodlja — žilindre — plina. V zelo kratkem času tako žilavljena emulzija jekla s ca. 0,04—0,06 % C preko

praga odteka v dekantator, kjer se žilindra in jeklo ločita in vsak po svojem koritu neprekinjeno odtekata. Izžilavljeno jeklo doteka v 40-tonsko peč z indukcijskim kanalom za mrežno frekvenco in 800 KVA moči, kjer jekla dezoksidirajo, po potrebi naogljčijo, legirajo in po ca. eni uri odlijejo v šaržno ponev. Za to rabijo na tono jekla 8 Kwh. Obe nagibni ponvi, ki dobivata iz mešalnika grodelj, reaktor z dekantatorjem, industrijska indukcijska kanalna peč kot zaključni agregat — so kot celota in vsak zase metalurško in tehnično dognani in zanimivi.

Slika 7 kaže shemo te naprave, slika 8 prerez LD jeklarne in slika 9 prerez jeklarne po IRSID-u, obe za 750.000 ton surovega jekla letno. Evidentno je, da je slednja cenejša v gradbenih stroških, za katere računajo, da so za ca. 1/3 nižji od odgovarjajoče LD-jeklarne za isto kapaciteto. Bistveno pocenitev pomeni čiščenje plina z enostavnimi mokrimi čistilci. To je mogoče zaradi dejstva, da penjenje emulzije v reaktorju v glavnem absorbira Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-aerosole, ki pri LD-konvertorjih zahtevajo izdatne investicije za čistilne naprave.

Hlajenje je mogoče s starim železom, metalizirano rudo ali s surovo rudo.

Navajamo primer za delo s starim železom:

V reaktor pride na tono jekla:

785,5 grodlja z 4,5 % C, 0,7 % Si, 0,17 % S, 0,7 % Mn — temperatura je 1300° C; 42,2 Nm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>, 58,3 kg apna, 280,8 kg starega železa, 6,3 kg rude (ki je ekvivalentna 6,3 × 4,5 — ca 28,5 kg starega železa).

Iz reaktorja odhaja:

65 Nm<sup>3</sup> plina z 80 % CO + 20 % CO<sub>2</sub> z fiz. in kem. toploto ca 193.000 kcal; 129,5 kg žilindre z bazičnostjo

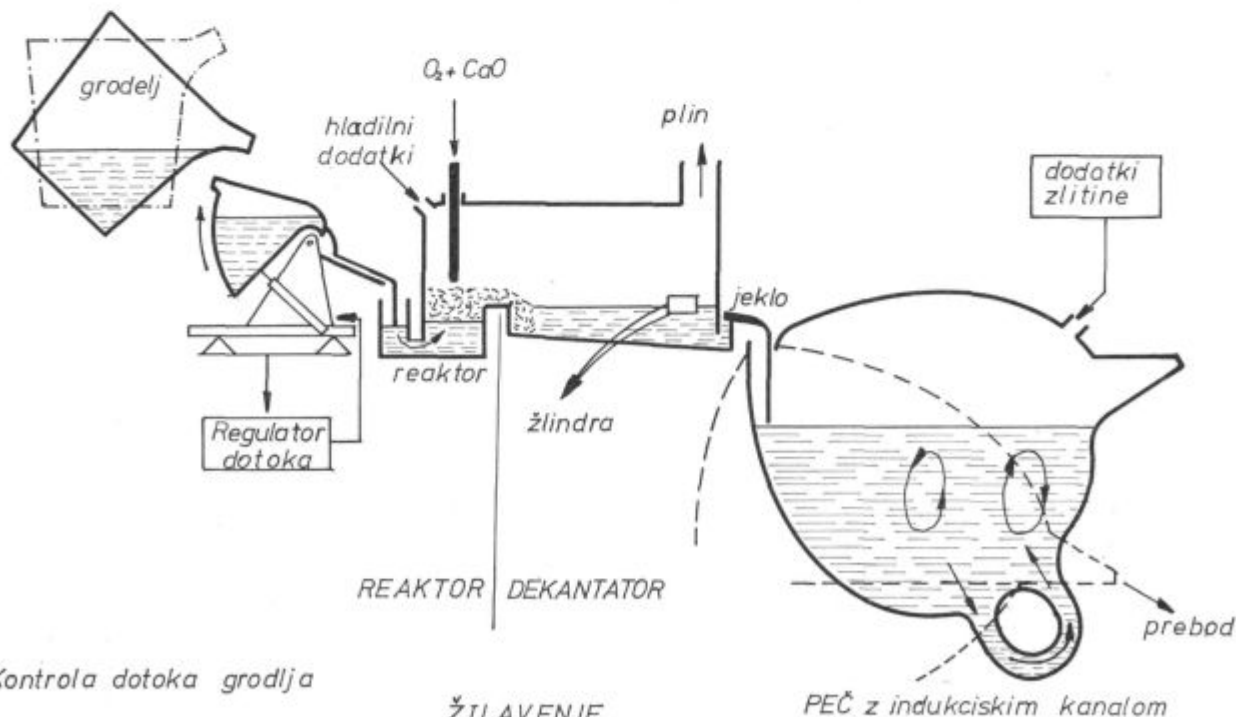
$$\frac{\% \text{CaO} + \text{MgO}}{\% \text{SiO} + 5_2\text{O}_3} = 3,5 \text{ in } 20 \% \text{Fe}$$

1000,0 kg jekla z ca 0,06 % C, 0,015 % P, 0,15 % Mn in s temperaturo t = 1600° C. Izkoristek Fe ca 97 %.

Energetska bilanca kaže, da pride v reaktor in se razvije v njem 441.700 kcal/to, — porabi in odhaja ista količina, ne upoštevajoč kalorično vrednost 52 Nm<sup>3</sup> CO. Čeprav so na tono jekla sestava, količina in temperatura odhajajočih plinov konstantna, izkoriščanje plina na pr. za proizvodnjo pare v projektih še niso predvideli.

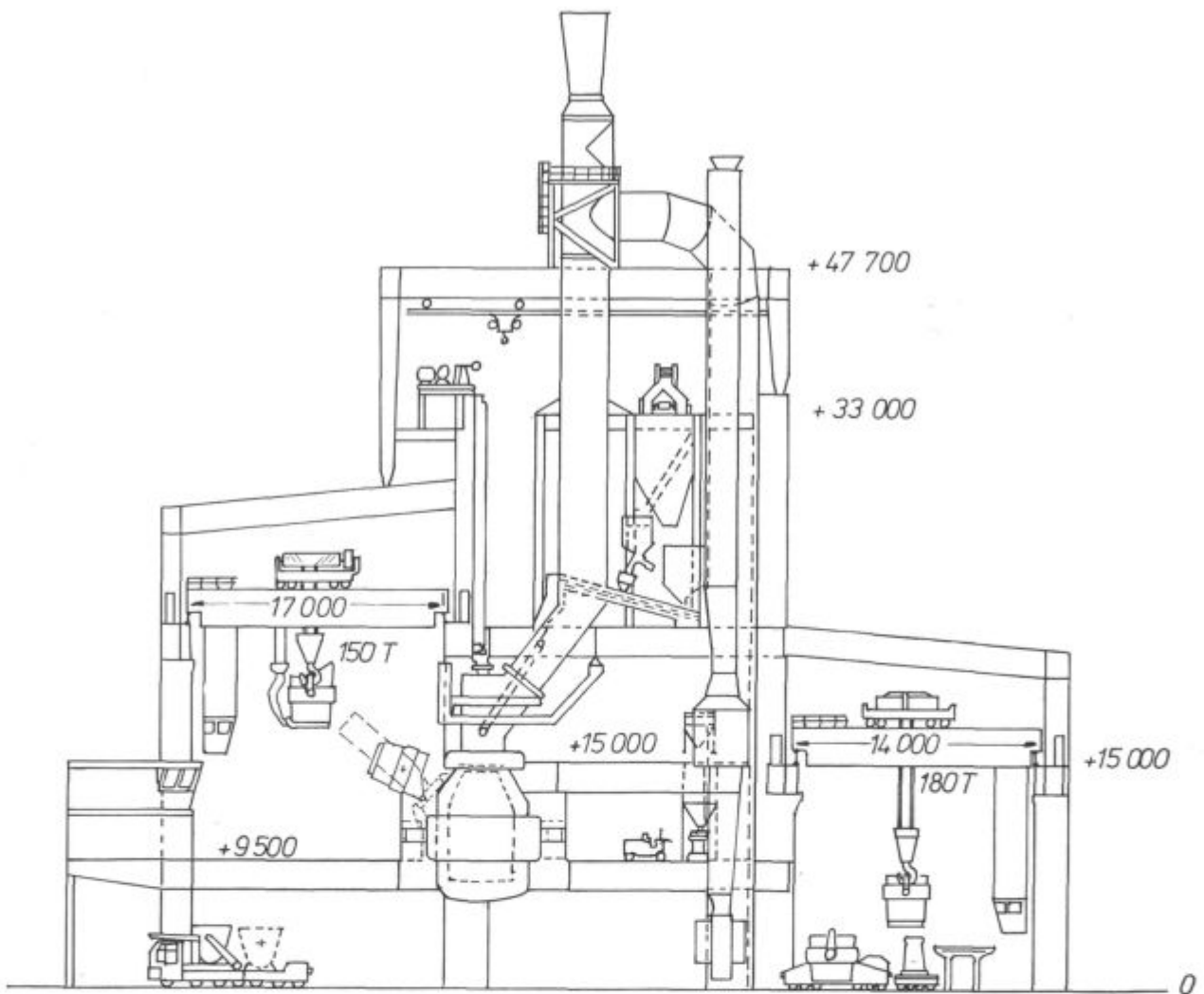
Med številnimi drugimi poizkusi, kako priti do kontinuirnega žilavenja grodlja (BISRA, VÖEST, WORCRA in dr.) je IRSID-ov postopek najbolj dognan. Njegovo predvajanje je dokazalo, da bi ta postopek nekoč mogel postati industrijsko pomemben. Potrebno pa je ugotoviti, da bi njegov razvoj zahteval še veliko dela in denarja.

Nizka višina IRSID-ove instalacije, ki ima za veliko proizvodnjo zaradi svojih minimalnih višin prostora na mestu vsake podrte SM-peči, pa je dobila tekmeča v danes že preizkušanih OBM, LWS-konvertorjih, ki prav tako ne zahtevajo višin. Razvoj IRSID-ovega kontinuirnega žilavenja je prišel torej nekaj let prepozno ali pa kakih 10 let prezgodaj spričo naporov za računsko vodenje in avtomatiziranje kompleksnih proizvodnih procesov.



Kontrola dotoka grodlja

Slika 7  
Shema kontinuirnega žilavenja IRSID



Slika 8  
Osnutek jeklarne LD — za 750.000 t jekla — 1973

### Elektroobložne peči

Visoka storilnost elektro-obločnih peči, bodisi da so to HP ali UHP, omogoča veliko proizvodnjo. Nekdaj določena za proizvodnjo specialnih in legiranih jekel, je postala elektro-obložna peč agregat za masovno proizvodnjo. Kratko trajanje šarž se lepo usklajuje s tehniko kontinuirnega vlivanja. O njih so bila napisana številna poročila, predavanja na kongresih ter primerjaj material pod (15).

Ob v začetku navedeni proizvodni prognozi jugoslovanskih železarn za leto 1985 je delež elektro-jekla predviden z okrog 23 %, od tega je delež slovenskih železarn okrog 2/3. Kolikor bolj se manjša zaradi previsokih proizvodnih stroškov količina v SM pečeh izdelanega jekla, toliko večji bo moral biti delež elektro-obložne peči v jeklarski proizvodnji, ki je prvenstveno agregat za pretaljevanje starega železa. Če računamo, da bo leta 1985 na razpolago ca 480 kg starega železa na tono surovega jekla, od tega ca 200 kg zbirnega starega železa, 280 kg pa svežih odpadkov (od lastne predelave in

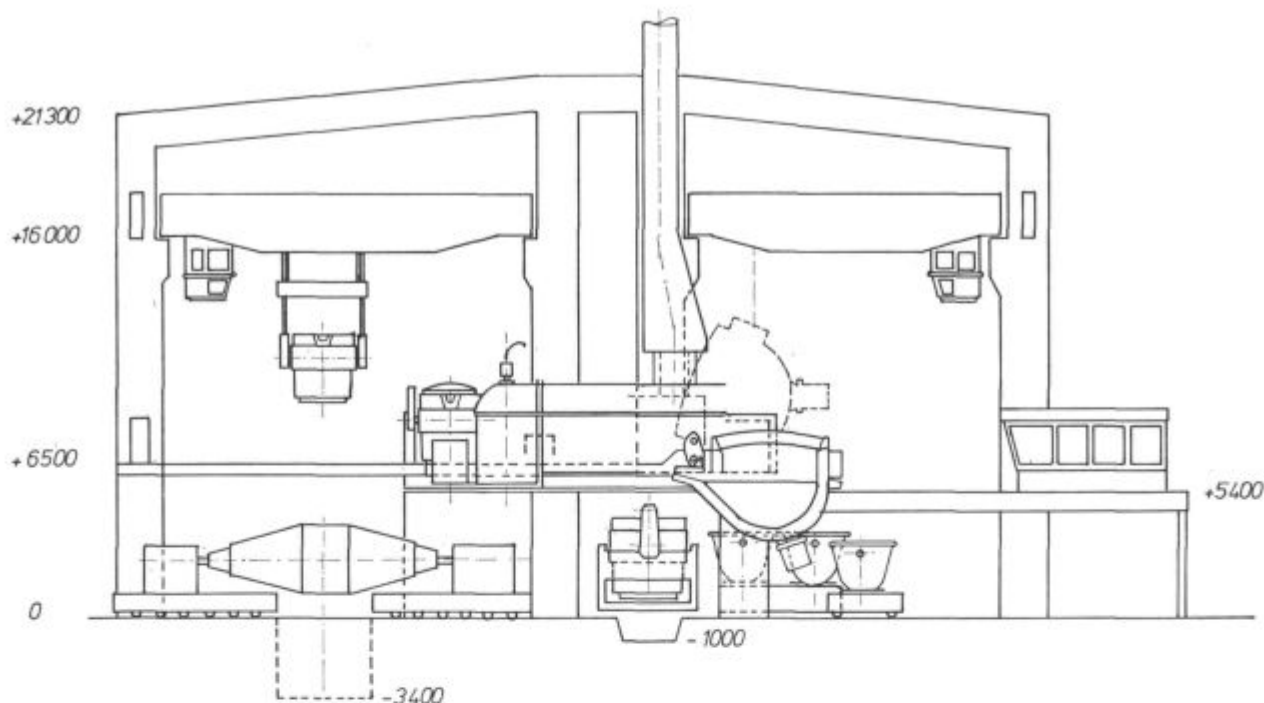
finalizacije), bo število elektro-obločnih peči moralo še naprej rasti, večale se bodo tudi njihove storilnosti in kapacitete. L. Füge in sodelavci (16) navajajo sledeče specifične porabe starega in svežega železa na tono surovih ingotov za posamezne postopke v letu 1972:

kisikovi LD, LDAC konvertorji	248 kg/t
SM-peči	760 kg/t
elektroobložne peči	930 kg/t
Thomas-konvertorji	100 kg/t
Skupno	405 kg/t

Ker so možnosti, da kisikovi konvertorji, zlasti velikih kapacitet, zvišajo delež odpadkov, starega železa ali Fegobe na 300, s predgrevanjem celo na 400—450 kg/t, moramo vseeno računati s tem, da bo delež elektro-jekla v svetovni proizvodnji rasel in da se bo gibal okrog 25 %. Naše železarne bodo torej s 23 % približno v isti vrsti.

Cepprav ima elektro-obložna peč že dolgo tradicijo, je pa vendar še dosti pomanjkljivosti ener-





Slika 9  
IRSID Osnutek jeklarne za kontinuirno žilavenje 750.000 ton jekla — 1973

getskega značaja, vzdržnosti zidovja in obokov (17), zlasti kadar gre za peči velikih storilnosti (HP in UHP-peči). Pojavljajo se tehnološke novosti, ki naj delo elektropeči omejijo le na fazo taljenja (glej poglavje o kombinaciji agregatov in postopkov).

V vsakem primeru pa delo elektro-obločne peči zahteva, da so izpolnjeni nekateri pogoji, kot so na primer:

Razvrščanje starega železa in svežih odpadkov po kvalitetah in vsebini kvarnih oligoelementov; priprava vložka s sodobnimi specialnimi stroji, da bi dosegli teže vložka od 1—3 ton/m<sup>3</sup>, za kar pa so potrebne znatne investicije, ki so najprimernejše kot centralizirane priprave v velikih zbiralnih in potrošniških okoliših.

Elektrojeklo ima višje odstotke N in H kot SM-jeklo, kjer imamo neprekinjeno splakovanje s CO vse do preboda; še čistejša so LD jekla. To zahteva dodatne operacije za splakovanje in evakuiranje z natega, s pretakanjem, z različnimi dupleks in tripleks postopki. Pravzaprav je tehnologija proizvodnje čistih elektro jekel še v razvoju. Primeri vpihovanja dodatkov apna, apna jedavca, apna — grafita, CaC<sub>2</sub> — SiC, FeSi, CaSi ali po IRSID-u apna s kisikom skozi kopje v staljeno kopel kažejo, koliko možnosti je in koliko dela še čaka elektrojeklarne.

Velika ovira za večji razmah elektrojeklarstva je v Evropi in v svetu naraščajoče pomanjkanje elektroenergije, ki bo toliko dražja, kolikor manj je bo in kolikor večje bodo zahteve po konstantni in kvalitetni dobavi. Ta je mogoča le, če so na razpolago primerne rezerve za termo in nuklearne

centrale za kritje sezonskih in dnevnih konic, za dobe remontov. Take zadostne rezerve močno podražijo investicije, ki so toliko večje, kolikor večja je poraba električne energije.

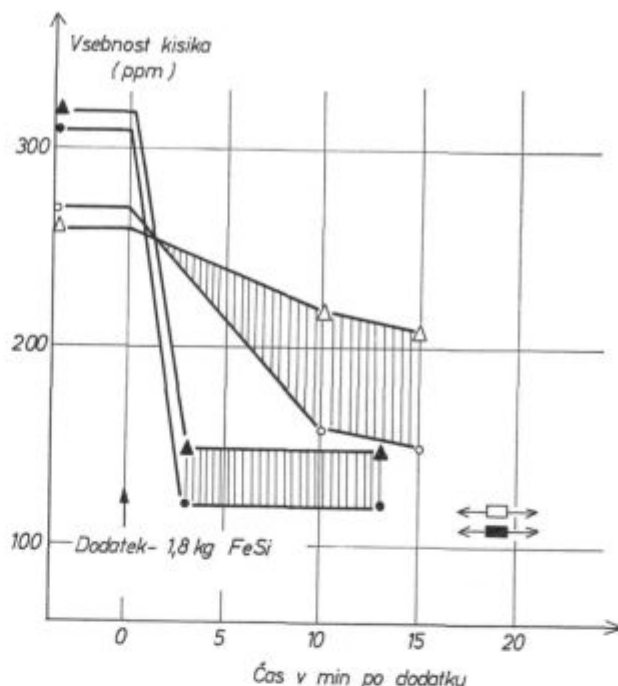
Pričakovano konstantno pomanjkanje električne energije — in pričakovati je pomanjkanje energij vseh vrst — bo trajalo vse do tedaj, ko bodo smeli in mogli mimo »petih velikih« vsi »mali« proizvajati električno energijo v vročih plutonij-skih reaktorjih. Ni verjetno, da se bo to zgodilo že v prihodnjih 25 letih. Še mnogo bolj odmaknjena je možnost izkoriščanja neizčrpane sončne energije za proizvodnjo električne energije.

Večja proizvodnja elektro jekla bo zahtevala večji uvoz grafitiranih elektrod s premeri 400—550 mm. Pri porabi povprečno 5 kg elektrod na tono elektro jekla bomo morali uvoziti za ZPSŽ 3.500, oz. 5.000 ton letno, za proizvodnjo 1.700.000 ton elektro jekla ca 8—9.000 ton. Za navedene dimenzije in količine tovarna v Sibeniku ni opremljena. Če bi te količine proizvajali doma v za to zgrajeni novi tovarni, so za njo potrebne znatne investicije in bi ta proizvodnja zahtevala še dodatnih 100—120 milijonov kwh letno. To je vprašanje, o katerem bo UJŽ morala razmišljati.

### Indukcijske peči

Jeklarske indukcijske peči, grajene za srednje frekvence od 1000—3000 Hz (5000), imajo funkcijo pretaljevanja legiranih jekel, ferozlitin, nikla in drugih dragih zlitin in kovin. V kvalitetnih železo livarnah uporabljajo indukcijske peči za mrežno frekvenco, največkrat z indukcijskim kanalom, ki prevzamejo od kupolk železo, da uravnajo kemično

sestavo z zlitinskimi dodatki in njihovo temperaturo. — V novejšem času peč z indukcijskim kanalom za mrežno frekvenco dobiva pomen v Thomas, LDAC, v LD in elektro jeklarnah, da razbremenijo drage glavne talilne agregate zaključnih operacij: desoksidacija, legiranje, uravnavanje livne temperature. Sl. 10 kaže diagram (a) za porabo Kwh/t jekla za peči z enim induktorjem á 800 ali 1100 Kw, da obdrže nivo temperatur za kapacitete peči od 25 do 75 ton, oziroma z dvema induktorjema á 800 oz. 1100 Kw za kapacitete peči 75—150 ton, diagram (b) za gornje pogoje pa hitrost pregrevanja v °C na uro, če se na pr. dodajo desoksidanti FeMn, FeSi. Diagram Sl. 11 daje primerjavo padca kisika v ppm po pomirjenju z 1,8 kg FeSi/t v elektroobložni peči (6 t) in peči z indukcijskim kanalom. IRSID-ova poročila o razvoju tehnologije mrežne indukcijske peči kot dopolnilnemu agregatu zaboljšanje kvalitete (znižanje vključkov, P, S, N) in proizvodnih stroškov ogljičnih in legiranih jekel so šele deloma dostopna (18). Taka peč, opremljena za evakuiranje, je razvita šele za do 20 ton kapacitete.



Vsebnost O	Total	Raztop.	V ravnatežju
Obložna peč (6 t)	Δ	o	◁ □ ▷
Peč s kanalom (8 t)	▲	•	◁ ■ ▷

Slika 11

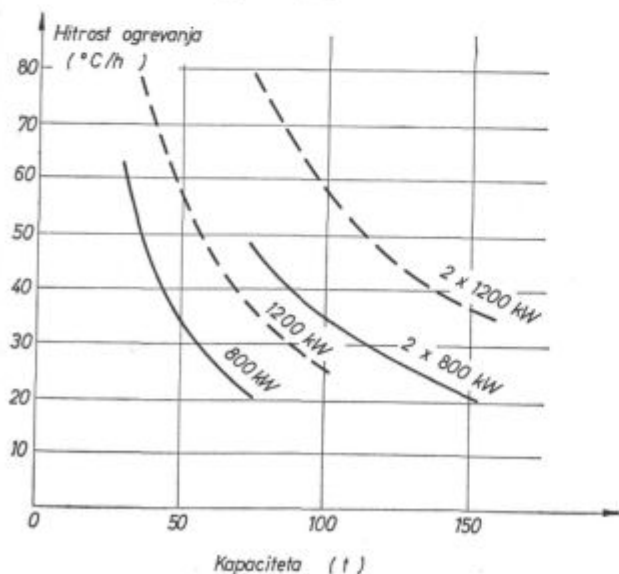
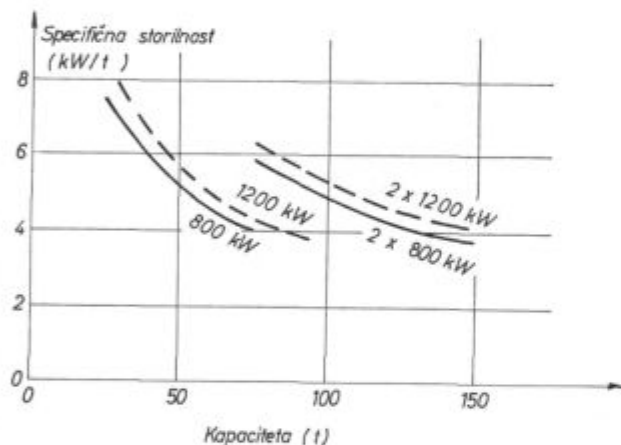
Primerjava dezoksidacije s FeSi v obložni in kanalski peči

### Metalizacija rud — direktni procesi

Pri proizvodnji le 1 milijona ton surovega jekla potrebujejo vse tri jeklarne 1,1 milijona ton vložka. Ker bodo šture v bodoče proizvajale le specialne vrste livarskih grodljev, Jesenice pa edine dale letno 200.000 ton jeklarskega surovega železa, bodo vse tri jeklarne rabile letno skoro 1 milijon ton lastnih odpadkov, odpadkov od industrijske predelave in finalizacije ter zbirnega in uvoženega starega železa. Računajmo, da rabi 700.000 ton elektro jekla ca 50.000 ton surovega železa, 400.000 ton SM-jekla pa 200.000 ton surovega železa, potem bo potrebno računati z vložkom:

ca 30 % lastnih odpadkov ali	300.000 ton
jugosl. zbirno staro železo	200.000 ton (?)
kupljeno surovo železo za el. jekl.	50.000 ton
povratek od domače finalizacije	100.000 ton
	od tega ca 15.000
	ostružkov)
tekoče surovo železo	200.000 ton
	750.000 ton
uvoz starega železa	350.000 ton
	oz. 365.000 ton

Ta količina starega železa bi mogla biti v celoti ali deloma krita z uvoženimi ali doma proizvedenimi metaliziranimi peleti ali briketi. Če pa raču-



Slika 10

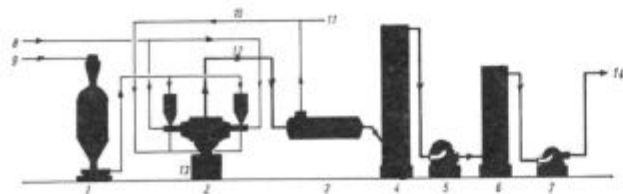
Termične karakteristike industrijske peči s kanalskim induktorjem

najo naše železarnice na izvoz vsaj 100.000 ton valjanih ali doma neobdelanih proizvodov, se od teh ne bodo vračali odpadki predelave in finalizacije, tudi ne po povprečno računanim vračanju po 20 letih. Se otrejše se postavlja vprašanje uvoza Fe substance, če bodo naše jeklarne v bodoče pri intenzivnejšem izkoriščanju svojih kapacitet za 1.100.000 surovega jekla rabile ca 1.220.000 ton vložka in bo pri boljših tehnoloških ukrepih padla količina lastnih odpadkov pod 30 %. Primorani bomo dnevno uvoziti ali izdelati 1000 do 1100 ton Fe-surovin, sposobnih za neposredno pretaljenje in žilavenje.

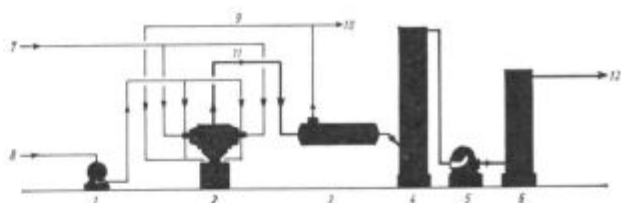
Naše tri železarnice bi torej potrebovale ca. 350.000 do 400.000 ton v »direktnem procesu« izdelane metalizirane rude, peletov ali briketov. Ta količina bi zrasla še za okrog 200.000 ton, če bi pogasili plavže na Jesenicah in bi se orientirali na izključno proizvodnjo elektrojekla.

Direktni procesi zahtevajo za metalizacijo žganih peletov redukcijska plina CO in  $H_2$ , ki ju normalno proizvajajo s katalitično konverzijo predvsem naravnega plina po postopkih, ki so na prodaj. Plin CO in  $H_2$  pa je mogoče proizvajati tudi iz trdnih goriv, kot so nekoksni, črni premogi ali tudi domači tipa Zagorje. Svetovne zaloge nekoksni črni premogov so izredne in bodo za dolgo preživele nafto in naravni plin.

Postopki, kakršni je na pr. Koppers-Totzekov, bi dal na tono zagorskega premoga ca. 1000  $m^3$  očiščenega plina s ca. 66 % CO, 31 %  $H_2$ , 3 %  $CH_4$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ <sup>19</sup>. Plinski generator za tak plin je grajen za zmlete premoge ali za mazut. Izdatki za glavne surovine za gazifikacijo goriv s paro in  $O_2$ , za el. energijo, vodo, bi po približnih računih bili za proizvodnjo 1 tone Fe-gobe pri ceni 226 din za 1 tono Zagorskega, 400 din za tono črnega premoga, 560 dinarjev za tono mazuta (olje S) in 800 din za 1000  $Nm^3$  naravnega plina na 736, 950 oz. 1600 din. Pri ceni 260 din za 1000  $Nm^3$  naravnega plina, katerega dobiva danes Železarna Sisak, bi prišli ti izdatki na ca. 890 din/tono Fe gobe. V primeri s premogom bi 1000  $Nm^3$  naravnega plina ne smelo stati več kot 220 din. Pri taki ceni in pri ceni 540 din za 950 kg Fe v surovi Itabiri frco vagon Bakar, bi stala 1 tona Fe-gobe z ostalimi izdatki okrog 1380 do 1450 din. To je pa cena, katero je mogoče plačati le, kadar je zahtevan zelo čist in bogat Fe-vložek. Izbirati in odločiti se je potrebno za: racionalno proizveden grodelj s 30 % železarskih odpadkov, žilavljen s ca. 55–60  $Nm^3$  kisika v LWS (ali LD) konvertorju, ali pa staro železo — metalizirani



Slika 12  
Proizvodnja redukcijskega plina po K. T. iz premogovega prahu



Slika 13  
Proizvodnja redukcijskega plina po K. T. z vplinjajem olj.

peleti z 0,5–1,0 % C — 500–550 kwh in 5–6 kg elektrod. Taka alternativa se postavlja za Jesenice, ne pa za Ravne in Store.

Industrijsko preizkušeni in dognani so nekateri postopki, med katerimi je predvsem vredno omeniti: SLRN postopek s trdnimi gorivi, zlasti pa Purofer postopek (ATH — Oberhausen, za 500 ton na dan) in Midrex-postopek, katerega je razvil Korf do industrijskega in veleindustrijskega obsega.

Ti postopki rabijo 3,2–3,5 mega kalorij za tono Fe-gobe. Poleg cen za rude ali žgane pelete določajo stroške in cene torej predvsem cene za uporabljane reducente, zlasti za naravni plin.

Primerjajoč Purofer in Midrex-Korf postopka in naprave, je mogoče ugotoviti, da, čeprav sta oba dognana, ima pa Midrex-Korf z 2, oz. 3 napravami, zlasti pa z gradnjo objekta za 4 milijone ton metaliziranih peletov v SSSR pred »ATH-Purofer« napravo, velik naskok.

Najmanjša ekonomična enota naj proizvaja vsaj 1000 ton Fe gobe dnevno kot pelete ali brikete. To bi odgovarjalo potrebam naših elektrojeklarn. Za 330.000 ton metaliziranih peletov letno bi bilo potrebno uvoziti skoraj pol milijona ton žganih peletov z vsaj 95 %  $Fe_2O_3$ . Žgani ali metalizirani peleti so pa tudi hladilno sredstvo za kisikove konvertorje, do ca. 30 % rudnega vsipa so dobrodošli plavžarjem. Če so predreducirani, se še dodatno zniža poraba koksa v plavžih. Če ne bodo v bodoče države latinske Amerike in zahodne Afrike dobavljale le žgane pelete, ampak jih bodo tiste, ki imajo tudi naravni plin, na mestu metalizirale, potem v naših uvoznih lukah, Bakru ali Kopru ali tudi ob največjem potrošniku, ne bo potrebno graditi redukcijskih naprav.

Drugače pa bi bilo postavljeno vprašanje, če bi šlo za izkoriščanje silnih odvečnih toplot v hitri plutonijski nuklearni centrali, če bi taka bila zgrajena pri nas.

### Kombiniranje agregatov in postopkov

Ze pred precej desetletji so bili opuščeni dupleks postopki, kot so žilavenje v kislem konvertorju in rafinacija ter dokončanje taljin v SM ali elektroobločnih pečeh, predžilavenje v aktivnem mešalcu in dokončanje v SM peči in podobno. Dupleks ali celo tripleks postopki so sami po sebi dragi, upravičeni le takrat, kadar se z njimi bistveno izboljša kvaliteta ali z relativno manjšimi inve-

sticijami bistveno dvigne proizvodnja, kar opraviči višje prodajne cene ali zniža proizvodne stroške zaradi večjih realizacij.

IRSID-ovo kontinuirno žilavenje je primer za nujnost vključenja drugega finalnega agregata. To bo potrebno tudi pri vseh drugih kontinuirnih žilavilnih procesih, ki so danes šele v fazi razvoja.

Rafinacija, naogljčenje, legiranje in dezoksidacija nekvalitetnega Thomas jekla v 40-tonski indukcijski peči za mrežno frekvenco je afirmacija take peči za številne kombinacije, zlasti ker znaša njena nabavna cena le 1/4 do 1/3 cene za indukcijske peči ali indukcijske opreme za srednje frekvence za enake namene.

Te cenene peči se morejo uspešno vključiti v delo malih in srednje velikih obločnih peči, da prevzamejo od njih vse zaključne operacije, ki rabijo po raztaljenju vložka za rafinacijo, legiranje in izdelavo talin le še 1/4 do 1/5 toka, katerega jim dajejo njihovi transformatorji, grajeni za velike talilne storilnosti. Elektroprenosnim podjetjem so dobrodošli diagrami enakomernega odvzema toka brez velikih periodičnih nihanj.

Ce so take zaključne peči opremljene še za evakuiranje izdelanega jekla, je to dodatna možnost za poboljšanje kakovosti. Indukcijsko dodatno gretje ponev razširja in poboljšuje »metalurgijo ponev« in se po kateremkoli postopku vršijo v ponvah: izplakovanje z Ar, N<sub>2</sub>, legiranje, dezoksidacije, evakuiranje velikih kovaških ingotov, evakuiranje z natega, s pretakanjem in podobno.

Indukcijske peči, ali samo tuljave za srednjo frekvenco, v katerih se jeklo dokonča v vanje nameščenih amagnetnih ponvah z vakuumom ali brez njega, postajajo že redna dopolnitev žilavenja v kisikovih konvertorjih, zlasti tedaj, ko gre za izredno mehka in močno legirana jekla. Seveda so kombinacije dveh ali celo treh agregatov, na pr. po postopku ASEA-SKF, ASEA-MR drage in upravičene le tam, kjer naj se poboljša in dvigne proizvodnja specialnih in plemenitih jekel.

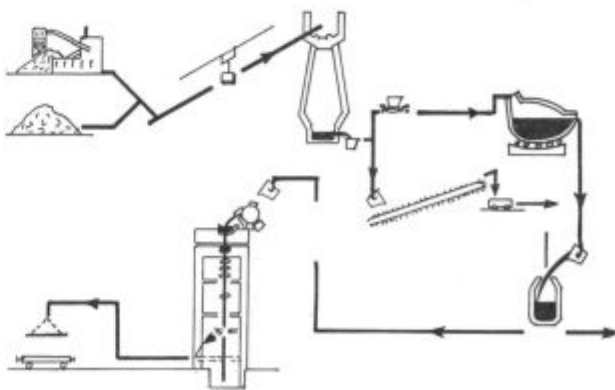
Upoštevalo kvalitete v kisikovitih konvertorjih do skrajnosti razogljčenih nerjavnih, visokotemperaturnih elektro jekel, realizirajo elektrojeklarne tudi zaporedje: elektro-obločna peč — kisikov konvertor — vakuumska indukcijska peč ali ponev. Sicer se pa prebije kot kvalitetna dupleks tehnologija: kisikov konvertor — indukcijska peč za mrežno ali srednjo frekvenco, z evakuiranjem ali brez.

V skupino dupleks postopkov moramo šteti tudi pretaljevanje legiranih jekel pod žlindro, zlasti tistih visokolegiranih, ki neugodno kristalizirajo v navadnih kokilah. Vsestranske preiskave jekel, pretaljenih v številnih **EPŽ pečeh** na svetu in v 1- do 2-tonski na Ravnah, bodo omogočile primerjave raznih dupleks in večstopenjskih postopkov med seboj, dale odgovore na vprašanja, za katere vrste jekel so posamezni postopki najprimernejši in glede proizvodnih stroškov najugodnejši.

**ASEA-Stora (ASP)** — postopek, o katerem so prvič poročali l. 1970<sup>20</sup>, je sestavljen iz serije operacij: razpršenje jekla v kapljice, ki se na dnu recipienta pod zaščitno atmosfero strdijo, v drugi posodi z vibriranjem med seboj stisnejo, nato v mrzlem stanju izostatično kompaktirajo v cilindrične sirovce pri 4000 atn., oblikovanci segrejejo na 1150° in pri tej temperaturi pod izostatičnim pritiskom 1000 atn. dokončno izdelajo kot konvencionalni ingot za nadaljnjo vročo predelavo. Taka kombinacija granuliranja tekočega jekla z operacijami prašne metalurgije da seveda brzorezna jekla in druga z močnimi segregacijami v kvalitetah, katerih strukture so v vseh smereh pop. homogene.

#### Primer miniželezarne v Decazeville

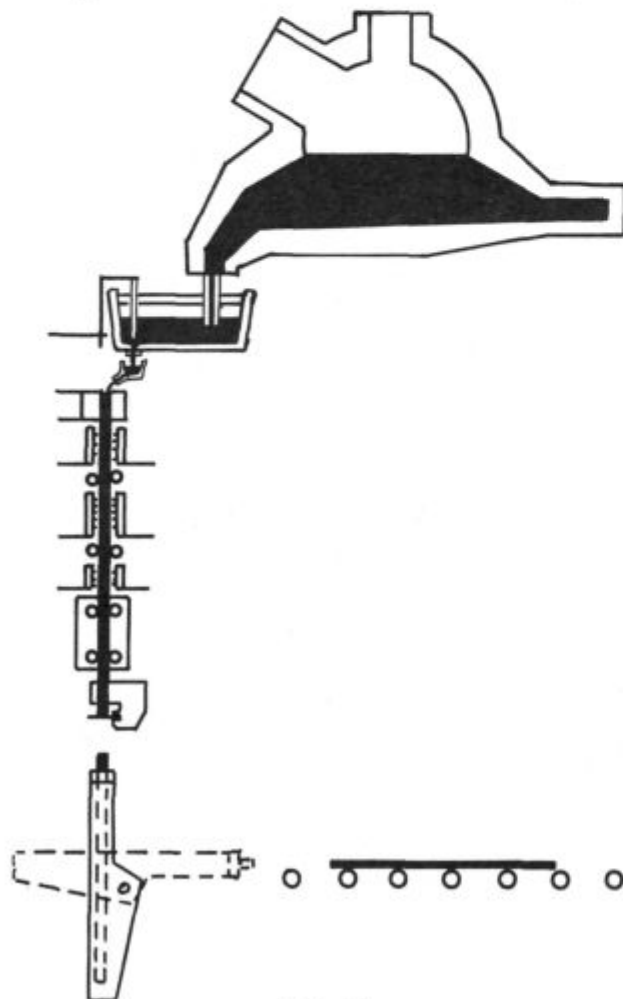
Ta v centralni Franciji ležeča železarnica je poučen primer sodobnega koncepta, po katerem je bil zgrajen ta objekt, predvsem iz lokalnih, socialno-ekonomskih razlogov, leta 1969<sup>21</sup>. Dejstva, da so morali okoliški premogovniki in železovni rudniki zmanjševati proizvodnje, da naj 80 km oddaljena koksarna še naprej dobavlja koks malemu plavžu s 300 m<sup>3</sup> volumna, ki pa je mogel le majhen del hematitnega grodlja prodati lastni livarni in šibkim okoliškim livarnam, ni pa več mogel dobiti rentabilnih cen za večje količine in na večje razdalje — vse to je grozilo, da bi še bolj nazadovalo gospodarstvo tega centralnega dela Francije, ki velja za »nerazvit okoliš«. Neposredni sosed plavžu je ne velika valjarna valjanih cevi (obrat skupine Vallourec), ki rabi kvalitetna, ogljčena in srednjelegirana jekla kot okroglice s premerom 85 do 160 mm, zlasti za APJ in podobne kvalitetne cevi. Čistost domačih rud Batère za obstoječi plavž, pomanjkanje starega železa v okolici, kvarni oligoelementi v njem so narekovali, da se v projektu izključi proizvodnja elektro jekla. Slika 14 kaže shemo železarne v Decazeville, ki naj bi proizvajala od začetnih 90.000 ton končno 150.000 ton surovega jekla, predvsem za sosednjo valjarno cevi. Na razpolago so dobili za to izgradnjo ca 300 ffr. za tona jekla in leta.



Slika 14  
Proizvodna shema železarne v Decazeville

Zgrajena je bila DW-LI aglomeracija za 500 do 600 ton bogatega bazičnega ( $1,7-1,8 = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}}$ ) sintra s ca. 60 % Fe na dan. Ker ni zadosti lastne rude, uvažajo preko Bordaux-a še hematite Nimba in Itabira (65—60 % Fe), iz Bilbao pa tamkajšnje čiste piritne izpražke. Pred aglomeracijo se praženje lastne rude, drobljenje in klasiranje opravljajo pri rudniku; kosovna ruda z 8—40 mm gre neposredno v silose za vsip, ostale — 8 mm frakcije se zmeljejo in sintrajo na DW-LI traku, ki ima 14 m<sup>2</sup> sesalne površine, 3,5 m<sup>2</sup> izenačevalne in 7 m<sup>2</sup> hladilne. Dobijo 41—45 ton sintra na m<sup>2</sup>/dan, frakcije pod 12 se vračajo, ostalo gre v plavž, ki dela brez starega železa, brez olja in O<sub>2</sub>, s temperaturo zraka od 950° C in porabi za 1 tono grodlja (4,3 % C, 2,3—2,5 % Mn, 0,50 Si) 510 kg koksa (11 % pepela).

Ta grodelj konvertirajo v mehko jeklo v LD-konvertorju z le 15—18 ton kapacitete. Zaradi nesoglasja kapacitet plavža — konvertorja — livnih strojev, je pred konvertorjem 300-tonski mešalec — za konvertorjem pa pred 3 stroji za kontinuirno vlivanje 3 18—20-tonske CEM-BBC indukcijske



Slika 15

Konti stroj z vrtečo kokilo in indukcijsko pečjo v jeklarni Decazeville

peči s kanalskim induktorjem, ki so opremljene za evakuiranje jekel. Peči imajo instalirano moč 900 kVA, 240 V, 50 Hz, kondenzatorska baterija 1110 KVAR. 800 kw pregreva 18 ton jekla, z 0,8° C na minuto. Za temperaturo 1650° in taline 18 ton rabijo 21 kwh/tono. Evakuiranje dosežejo na 0.3 Torr pri storilnosti 25 kg zraka na uro. Jeklo se vlija v treh vertikal. konti-strojih. Dotočne vmesne ponve imajo vsebino 800 kg, zapore so drsne. Iz razdelilcev teče jeklo tangencialno v kristalizatorje, ki se pa po postopku CLE vrtijo s 50—150 obrati na min. (norm. ca. 100), oscilirajo sinusoidno ter so tipa monoblok s 300 — 500 mm dolžine. Dolžine okroglic 4—6 m se režejo po dogovoru z valjarno (sl. 15). Brezhibna površina in eksaktnost premera omogočajo valjarni prihranek dveh egalizacijskih operacij.

Ali niso razlogi, ki so določili tehnološki koncept in investicijski program za to mini železarno, kjer sta obstajala le plavž in mala livarna, zelo podobni položaju in pogojem, v kakršnih se nahajajo dostikrat stare železarne? Če računamo le 14 % za amortizacijo in obresti vložnega kapitala 45 milij. fr. frankov, ki bremenijo sedanjo skromno proizvodnjo, se mora taka obdržati na meji rentabilnosti le s specializirano proizvodnjo kvalitetnih jekel.

#### Proizvodne alternative

Zaradi nizke porabe jekla v Jugoslaviji v zadnjih 25 letih in počasnega naraščanja potrošnje in proizvodnje bo tudi še po obdobju 1985/1990 našim jeklarnam na razpolago premalo starega železa. Čistost starega železa in vložka sploh je važna zlasti za proizvodnjo mehkih jekel in jekel z najnižjimi odstotki ogljika, ki so in bodo na Jesenicah približno polovica proizvodnje. Potreben bo nakup velikih količin starega železa zunaj.

Po S. Čopu<sup>22</sup> bodo železarne UJŽ pri planirani strukturi in proizvodnji in boljšem zbiranju morale uvoziti 1975. leta 0,380 milijonov ton, 1985. leta pa 1,1 ali celo 1,5 milijona ton starega železa. Železarne ZP naj bi proizvedle v letu 1985 1.000.000 ton jekla, od tega skoraj 700.000 ton elektro jekla — iz vložka 70.000 surovega železa in 700.000 ton lastnih svežih odpadkov in starega železa.

Predpostavimo, da bo pri bodočih strukturah naših železarn 25 % lastnih in predelovalnih odpadkov, to je 250.000 ton, zaradi povečanega izvoza gotovih produktov le 80.000 ton vrnjenih od domačih predelovalcev, od UJŽ bi kvota od zbiranja dala največ 200.000 ton starega železa, plavža na Jesenicah še 200.000 ton grodlja, 70.000 ton pa kupljenega. Naše jeklarnе bodo torej rabile po tem načrtu iz uvoza ca. 300—350.000 ton starega železa in metaliziranih peletov ali briketov.

Uvoz starega železa je odvisen od deviznih dovoljenj, cene so visoke, nihajo, kakovosti večinoma ne odговarjajo potrebam, volumske teže so majhne. Nečistih surovin pa ne prenese kvalitetni proizvodni program naših železarn.

Izredno velike zaloge koksni in črni premo- gov na svetu, cene bogatih železovih rud, nizki pre- vozni stroški v veleladjah, so v veliki meri jamstvo, da bodo potrebne količine koksni premo- gov, črni premo- gov, bogatih rud, žganih ali celo metaliziranih peletov dohajale redno, da bodo cene racio- nalne in ne bodo presegle redne inflacijske rasti.

Razvoj elektrojeklarn ZP nasprotuje razvoju našega elektro gospodarstva. Gradnja novih hidro, termo in nuklearnih central zamuja in zdi se, da se naša republika tudi leta 1985 pri potrebah ca. 12.000 gwh ne bo mogla izogniti stalnemu primanj- kljaju električne energije, od 20 do 10 %, konkre- tno 1.000 do 2000 gwh letno. To bo najprej zadelo elektrojeklarne in ostale elektrometalurške proiz- vodnje. Bodoča participacija velepotrošnikov — to so tudi železarne — bo dražila električno energijo. Po sedanjem programu izgradnje bo morala samo jeseniška železarne participirati pri izgradnji novih energetskih in prenosnih kapacitet s svojim dele- žem za okrog 50 instaliranih in njej konstantno potrebnih MW.

Spričo takšnih perspektiv smatram, da za naše tri železarne 70 % delež elektrojekla v celotni proiz- vodnji že presega zgornjo mejo za konstantnost in s tem ekonomičnost proizvodnje. Vprašanje, ali naj bo vse jeklo proizvedeno v elektroobločnih pečeh — Ravne in Štore drugače tako že ne more- ta — ali pa naj bo še 300—400.000 ton jekla proizve- denega na Jesenicah iz grodlja žilavljene- ga v kisi- kovem konvertorju, je za Jesenice, ki morajo za- radi previsokih proizvodnih stroškov svoje marti- novke ustaviti, povečati proizvodnjo ogljikovih, nizko, srednje legiranih, konstrukcijskih, elektro- jekel ter mehkih jekel z najnižjim ogljikom, legi- ranih s Si (elektrokvalitete) s Cr, Cr-Ni in sl., — poboljšati kakovost, zvišati dobiček, znižati proiz- vodne stroške za jeklo.

Postavljam za Jesenice med mnogimi le štiri alternative in variante, za katere naj bodo izraču- nani proizvodni in investicijski stroški za surovo jeklo in polne lastne cene za gotove izdelke.

**Prva alternativa:** oba plavža ostaneta s preme- rom 3,3 m, le med rednimi remontu naj bosta profila poboljšana, znane pomanjkljivosti (število pihalic, žrelne zapore, razdelitev vsipa) odpravljene. Predpostavka je še, da bo s pomočjo znanih ukrepov delo aglomeracije omogočilo plavžema optimalne vsipne in redukcijske pogoje. Vsip za plavža naj bo bogat, samohoden, žindre okrog 400 kg, tehnika dodajanja mazuta naj omogoči popolno razpršenje in vžig v CO + H<sub>2</sub> pred pihalicami, granulacija sintra in kosovne rude enakomerna in za hitri prenos toplote primerno drobna.

Vsip, ki bi omogočil dnevno proizvodnjo ca. 600 ton grodlja, oziroma letno okrog 210.000 ton, porabo koks pa znižal ob dodatku ca. 70 kg ma- zuta vsaj na 500 kg/t, bi mogel biti sestavljen na primer: 1130 kg aglomerata (580 Itabire s 64 % Fe, 330 kg ljubijske aglorude prane, ca. 350 kg apnen- ca zmletega pod 1 mm; v njem bi bilo torej ca.

550 kg Fe) — 570 kg prane kosovne ljubijske rude s ca. 300 kg Fe — 100 kg ostružkov s ca. 90 % Fe. — Stroški za vsip in predelavo bi po odbitku do- bropisa za plin in žindro pri današnjih cenah bili okrog 1300 din/t grodlja.

210.000 t tekočega grodlja in okrog 90.000 ton odpadkov in metaliziranih peletov bi dalo iz kisi- kovega konvertorja kapacitete 35 ton letno ca. 270.000 ton visokokvalitetnega jekla.

Tehnološki ukrepi v elektrojeklarni bi mogli zmanjšati porabo električne energije na tono jekla od 650 na 550, kar bi dvignilo proizvodnjo jekla od 162.000 ton (1972) na ca. 200.000 ton, porabo elektrod pa znižalo na okrog 1.000 ton.

Po tej alternativu bi torej jeklarne na Jesenicah letno proizvedla 270.000 konvertorskega in 200.000 ton elektrojekla. Skupno torej 480.000 ton jekla letno ali približno toliko kot ga proizvaja danes z 2 (3) elektropečmi in 4—5 SM pečmi.

Pod predpostavko, da bo polovica jekla vlita na konti-strojih bo lastnih odpadkov le ca. 17 % ali ca. 80.000 ton; od predelave naj bi se vrnilo ca. 50.000 ton, dobava starega železa naj bi bila 80.000 ton; skupno bi bilo torej na razpolago doma 210.000 ton. Potrebno bo torej uvoziti za to proiz- vodnjo 90—100.000 ton starega železa iz inozem- stva (95.000 ton) ali ekvivalentno količino metaliziranih peletov.

**Druga alternativa** naj upošteva zvišanje proiz- vodnje jekla na 650.000 ton, od tega elektrojekla nespremenjeno 200.000 ton, konvertorskega jekla 450.000 ton. Polovica jekla naj bo vlita kontinuirno, polovica v kokile. Proizvodnja grodlja naj bi zna- šala ca. 370.000 ton ali tekom 350 obratovalnih dni ca. 1060 ton dnevno. Lastnih odpadkov, onih od pre- delave in železa od zbirnih podjetij bi bilo na raz- polago ca. 110.000 ton + 85.000 + 80.000 ton ali skupno ca. 275.000 ton. Potreben bi bil uvoz okrog 190.000 ton po možnosti metaliziranih peletov (bri- ketov) z vsaj 95 % Fe; uvoz Itabire (Nimbe) bi znašal ca. 220.000 ton, elektrod 1000 ton. Za 1060 ton grodlja dnevno ali ca. 44 ton/h bi potrebovali v plavžu na uro 2.160 koks in ca. 360 mazuta. Tolikš- na proizvodnja grodlja bi zahtevala nov plavž, kakršnega so že pred nekaj leti projektirali, (Polj- ski projekt), — aglomeracija je bila za tako proiz- vodnjo grajena, GHH in BBC vetrili bi skoraj zmogli pri paralelnem delu potrebno količino zraka z 9 % O<sub>2</sub> vključno izgube, in bi mogli biti rezerva za novo vetrilo za maksimalno kapaciteto ca. 100—110.000 m<sup>3</sup>/h in nekaj višji tlak.

Nov plavž s 5.2—5.5 m premera talilnika s pri- padajočimi močnejšimi agregati (Cowperji, vetrilo, polnjenje s tlakom) pomeni veliko investicijo.

Da bi se tej izognili vzemimo **varianto II. b:**

Zgradi se med pl. I in II — tretji plavž. Vsi trije naj delajo vskladu z že obstoječo kapaciteto kauperjev in vetril ter bi dali dnevno do 750 ton grodlja. 750 ton grodlja, 320 ton odpadkov ali 340 ton metaliziranih peletov bi dalo ca. 970 ton

konvertorskega jekla. Iz 200.000 ton starega železa in 10.000 ton surovega železa bi dve elektropeči dali 200.000 ton elektrojekla. Obe preostali SM peči (ki bi pozneje enkrat mogli biti zamenjani s popolnejšo elektropečjo, če bi energetska stiska minila?) bi delali v glavnem z mrzlim vložkom in bi letno mogli dati 150.000 ton surovega jekla. Plavži bi dali letno skoro 40.000 ton grodlja, ki bi bil na razpolago elektro in SM-pečem, če bi O<sub>2</sub>-konvertor delal le 300 dni oziroma proizvedel le 300.000 ton jekla. — Uvoz bi po tej varianti obsegal ca. 160.000 Itabire, ca. 100.000 ton starega železa, 120.000 ton metaliziranih peletov in 1.000 ton elektrod.

Mogoče je izdelati še več variant za to drugo alternativo, pri kateri je poudarek na zvišani proizvodnji grodlja in konvertorskega jekla — brez novih elektroobločnih peči. Vsaka varianta se bo od drugih razlikovala glede investicijskih izdatkov in končnih proizvodnih stroškov za 1 tono surovega jekla, predvsem pa glede neposrednih deviznih izdatkov za uvožene surovine.

**Tretja alternativa** upošteva mišljenje tistega kroga jeseniških metalurgov, ki predlagajo, da se ustavi proizvodnja grodlja in SM-peči zamenjajo z elektroobločnimi pečmi. Vložek naj bi bilo poleg domačih odpadkov in starega železa, uvoženo staro železo in metalizirani peleti, (še boljši bi bili briketi Fe-gobe s ca. 95 % Fe z volumsko težo 5.5 in nasipno 4 t/m<sup>3</sup>).

— Vsled prešibkega prenosnega omrežja in elektroenergetskega »zaledja« — UHP-enote ne bi prišle v poštev. Za 650.000 ton jekla letno — to je ca. 700.000 ton vložka, bi slično kot po prejšnjih alternativah — 1/2 jekla vlitega kontinuirno, 1/2 v kokile — imeli na razpolago od domačega nakupa 65.000 ton grodlja, svežih odpadkov in starega železa ca. 340.000, nabaviti bi bilo potrebno ca. 150.000 starega železa in 150.000 ton briketirane Fe-gobe iz uvoza. Uvoz elektrod bi znašal ca. 3.300 ton. Elektrojeklarna bi morala dobiti vsaj še 3 elektroobločne peči kapacitete po 70 ton in s transformatorji po ca. 24/25 MVA — torej dodatno trafo postajo za ca 80 MVA.

Dejstvo, da se gradi v Bakru koksarna z začetno kapaciteto 750.000 ton, v drugi fazi 1,5 milijonov ton, da je na Jesenice iz Bakra 228 km, iz Lukavca pa 570 km — je faktor, ki marsikatero dosedanje poglede spreminja.

Vendar pa samo investicijski računi in izračuni proizvodnih stroškov in polnih lastnih cen za iz 470.000 oziroma 650.000 surovega jekla izvaljanih gotovih produktov smejo odločiti katera alternativa, katera varianta je za jeseniško železarno najugodnejša, da bo redno oskrbljena s kvalitetnim surovim jeklom. Za vse tri železarnice more biti tak globalni račun napravljen v ZP.

Izbor najboljše alternative ne bo niti enostaven niti lahek. Če sami devizni zneski za glavne surovine, katere bi morala železarna plačevati po eni ali drugi alternativni in varianti kažejo, kolikšna odgovornost, premišljenost, strokovni kontakti in posvetovanja v odkritih dialogih bodo potrebna, preden bo padla odločitev, ki naj da Železarni Jesenice osnovo, ki ji danes manjka.

Za izračun deviznih sredstev, potrebnih samo za uvoz glavnih surovin, so vzete sledeče cene v \$ za tono frco meja ali cif najbližja luka: staro železo — 85 \$ (rezane ladje bodo stale 130 do 150 \$ za tono); Itabira s 64—65.5 % Fe — 17.3 \$ Bakar; metalizirani peleti s 95 % Fe — 85 \$, briketi 88 \$ cif Bakar, grafitirane elektrode 1.100 \$ frco meja.

Varianta II. a, ki zahteva najmanj deviznih sredstev za uvoz, je investicijsko najdražja, je pa rešitev, ki bo omogočila že čez nekaj let konstantno in najcenejšo proizvodnjo najkvalitetnejšega jekla. Varianta I. ni glede deviznih izdatkov daleč od nje, vendar je proizvodnja le 470.000 ton surovega jekla prešibka, da bi nosila ostale, Jesenicam potrebne investicije. Ne more biti to kompenzirano niti z ekvivalentnim nakupom gredic, po 180 \$/t. Varianta II. b daje manj konvertorskega jekla pa zadrži nekaj proizvodnje dragega SM-jekla. Varianta III. je kakovostno, stroškovno in energetska najneugodnejša.

Ta članek naj da našim železarjem vzpodbudo da bi se poglobili v izdelavo dolgoročnega načrta razvoja naših treh železarn, ki se ne bo ustavil že leta 1985. Vsa tehnika — in z njo tudi metalurgija — se nenehno razvija in pogosto zahteva korekturo marsikatero izkušnje in spoznanja. Taki primeri s področja metalurgije so v članku navedeni. So opomin, da moramo stalno zasledovati sodobni razvoj in biti v živem kontaktu s tistimi kolegi doma in izven naših meja, ki gredo pred razvojem.

Alternative	I.		II. a		II. b		III.			
	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>		
ton	\$	t	\$	t	\$	t	\$	t	\$	
staro železo	—	—	—	—	100	8500	150	13.500		
metal. peleti/briketi	95	8300	100	8600	120	10.200	150	12.800		
ruda Itabira	120	2080	215	3720	160	2770	—	—		
elektrode	1	1100	1	1100	1	1100	3.3	3.630		
<b>S k u p a j</b>		216	11.480	216	13.420	381	22.570	303.3	29.930	
na t sur. jekla \$		24,4		20,7		34,9		46,0		

## Literatura

1. Problem Relating to Iron and Steel Scrap — UVO-ECE-NY 1971  
W. Cordes — Se 1971 — str. 793/801  
O. Oelsen Entwicklungstendenzen der internationalen Altschrott als Schrottversorgung — (ATH — interno) Rohstoff zur Stahlerzeugung (Juni 1972-ATH) Der Schrottbetrieb (1972-H.11 — str. 4/6)
2. Gl. St. u. E.-106 — 1973 — str. 254/55; St. u. E.-106 — 1972 str. 268/69
3. UJZ — sept. 1972 »Plan razvoja preduzeća do 1985 god.« (v ponovni predelavi)
4. Problemi obogaćivanja ruda rudnika Ljubija — M. Vu. kovojac, M. Malbašić — Zenica 1966; elaborati UJZ — 1961; B. Koželj — 1966; Zavod za rudarstvo Sarajevo 1966; J. Purić in drugi 1966; M. Malbašić — Čelik 29 — 1971
5. D. Schutz — D. Bülter — St. u. E. št. 23 — 1972 — str. 1179/1188
6. C. I. T. — št. 4 — 1972 — D. Borgnat in B. Eyglunet str. 951/988
7. ATH — privatni podatki
8. C. R. M. — Metallurgical Reports No 29 — Dec. 1971  
C. R. M. — Metallurgical Reports No 33 — Dec. 1972
9. Glej zbornik Congres international sur les Acieries a l'Oxygene — Sept. 1963
10. P. Leroy, M. Gombert, H. Poissonier, A. Delaven, C. Beutinet: le procédé LWS — Revue de Métallurgie: Mars 1971 — str. 181/193 in Mars 1972 str. 187/195  
P. Leroy — Iron and Steel Engineer — Oct. 1972 — str. 51—55
11. Gl. St. u. E. — 108 — 1970 — str. 374  
J. Metals 24 — 1972 — str. 6
12. Iron Steel Engineer — Oct. 1968, str. 137—138; — S. Fabbri — Modern Refining Technics 1970 — 41 — str. 42—46; E. E. Hodges, R. L. Chapple — M. R. T. — 1970 — str. 47—51
13. Glej — Metals and Materials — str. 15—16
14. Gl. poročilo avtorja o obisku v Rombas. Primerjaj poročila IRSID-a — avtorjev Denier, Berthet, Rouanet, Vayssiére, Trentini:  
Octobre 1971, R. J. — 228 — Janv. 1972, P. 155 — Mars 1972 Thyssen Forschung — 1969/2 — Th Kootz — H. Schmiedel str. 49—60  
N. A.C.I. 5704 — May 1972; N. DWL 687 — Nov. 1972, J. I u, SI — June 1969
15. Mednarodni kongres o elektrojeklarnah v Cannes-u, junij 1972  
Posvetovanje elektrojeklarjev, Zürich, Okt. 1972  
Posvetovanje o elektropečeh — UJZ — nov. 1972
16. H. Gotheil in sodel. — St. u. E. 1973 — 713/20  
L. Füge in sodel. — St. u. E. 1973 — 725/731  
Primerjaj vire pod 1.
17. St. u. E. — 1973 — K. Konopicki — 721 do 724 Radex — Rundschau — 1973 — zv. 3—6 člankov str. 519 do 567  
St. u. E. — 1973 — K. Bretthauer in sodel. — str. 761 do 765
18. R. Albery, J. Antoine, G. Bianchi — Poročilo IRSID — 170 — Octobe 1972  
K. M. Brokmeyer: Induktives Schmelzen — BBC — 1966
19. Industrial Heating — July 1972 — str. 1250/54  
H. Koppers: Synthesegas durch Vergasung von Bremsstoffen jeder Art Nach Koppers — Totzek — Essen 1965.
20. Steel Times, Sept. 1970, str. 623 do 628  
Steel Times, July 1973, str. 543 do 544
21. Revue de Métallurgie — Okt. 1972 — L. Lambert in soavtorji — str. 663—678
22. S. Čop — Ze. Zb — 1973, št. 1 — str. 19—22  
S. Čop — interna »študija o starem železu« — 4. 4. 1973

## ZUSAMMENFASSUNG

Prognose für die künftige Produktion der slowenischen Eisenhüttenwerke zeigt im Vergleich zu den anderen nach dem langfristigen Jahresplan der UJZ (Verein jugoslawischer Eisenhüttenwerke) einen Produktionsfall von 25,8 % im 1972 auf 9 bis 10 %.

Im Vergleich zu der gesamten Weltstahlproduktion wird die jugoslawische auch nach dem Jahre 1985 noch unbedeutend sein, wenn auch der scheinbare jährliche Rohstahlverbrauch pro Einwohner von 128 kg auf rund 500 kg ansteigen wird. Die zur Verfügung stehenden Investitionsmittel sind, nach der Meinung des Autors zu knapp für eine Erhöhung der Rohstahlproduktion auf die geplanten 11 Mill. t. Der langfristige Investitionsplan für die Erhöhung der jugoslawischen Rohstahlerzeugung sollte deshalb auf etwa 7,2 Mill. t. reduziert werden, wovon wenigstens 1,6 Mill. t. Elektrostahl sein sollten.

Die statistischen Daten zeigen, dass grosse Rohstahlerzeuger auch grosse Mengen Eisenerz einführen und ebenso grosse Mengen Stahlroheisen produzieren. Für die zentralen und westlichen Hüttenwerke ist die einheimische Eisenerzbasis das Ljubija Revier, dessen Reserven am 31. 12. 1971 auf 307 Mill. t. Erz (über 45 % Fe) geschätzt worden sind, und zusammen mit den armen Erzen 470 Mill. t. betragen. Wenn jährlich 6—7 Mill. t. und nach dem Jahre 1985 10 oder sogar 13 Mill. t. Erz abgebaut würden, wären diese Reserven in 25 bis 30 Jahren erschöpft. Wenn man bedenkt, dass 1000 kg Fe in eingeführten Erzen billiger ist als in den aufbereiteten Ljubija Erzen, wäre es zweckmässig, wenigstens einen Teil der reichen Erze oder gebrannte, vielleicht schon reduzierte Pallets einzuführen, um die Lebensdauer Ljubijas zu verlängern.

Die geographische sowie die Rohstofflage der Slowenischen Hüttenwerke verlangt eine Produktionsorientierung zu den teureren Stahlqualitäten, sowie zu einem grösseren Anteil der Fertigprodukte, womit die höheren Rohstahl-

produktionskosten kompensiert werden können. Dieses wird von allen drei Hüttenwerken beschleunigt verwirklicht. Die Hüttenwerke können folgend kategorisiert werden: das Hüttenwerk Ravne ist mit seiner Produktionskapazität von 220.000 Tonnen und seinem Produktionsprogramm ein grosses Edelmetallwerk, welches den Anteil der Fertigprodukte auf wenigstens 60 % erhöhen sollte; Store ist ein Miniwerk, wenn man nur die Stahlproduktionsseite betrachtet, bedeutend aber als Graugussartikelproduzent; Jesenice ist nach seiner technologischen Einrichtung und bunter Produktion nicht ein Mini- und nicht ein grosses Stahlwerk und steht zurzeit vor einer schwierigen Aufgabe, wie das eigene Produktionsprogramm mit den anderen zwei zu koordinieren.

Die neueste Entwicklung in der Hochofentechnologie ist angegeben, welche die Roheisenerzeugung der Hochöfen in Jesenice rationalisieren und erhöhen könnte. Bei so kleinen Hochöfen ist es möglich mit Massnahmen, wie verstärktes Injizieren von Öl und das Einblasen von durch die Vergasung von Öl oder Kohle erzeugtem CO + H<sub>2</sub> in den Bauch, nach dem Versuchsmuster in Seraing, die Produktion zu erhöhen und zu verbilligen.

Die LWS, OBM, AOD, und Uddeholm Konverterverfahren sind beschrieben. Die Möglichkeit der Stahlerzeugung im Sauerstoffkonverter in Jesenice wird behandelt, insofern die Hochöfen beibehalten werden.

Als Beispiel für die kontinuierliche Stahlerzeugung ist das IRSID Verfahren »affinage continu« angegeben.

Die Stahlerzeugung in Lichtbogenöfen verlangt, wenn es sich um »reine Stähle« handelt, auch einen reinen Einsatz. Behandelt werden das Midrex-Korff und Purofer Verfahren, welche auch bei uns angewendet werden könnten, wenn die Reduktionsgase aus Öl oder Kohle erzeugt würden. Eine grobe Rechnung zeigt, dass das Erdgas für diesen Zweck nicht teurer als 220 din/1000 Nm<sup>3</sup> sein dürfte, und



dass es eine reale Möglichkeit besteht die Reduktionsgasse aus Braunkohle Zagorje nach dem Koppers-Totzek Verfahren zu erzeugen.

Der Grund für die bestehenden Entwicklungstendenzen in der Stahlerzeugung im gesamten Weltraum sind die grossen Vorräte reicher Eisenerze (263 Md. t, davon 72 Md. t mit über 55 % Fe). Neue Milliarden werden jährlich entdeckt. Auch wegen der Koks-kohle (ca 870 Md. t) braucht man sich noch keine Sorgen zu machen. Grössere Transporteinheiten verringern die Transportkosten den am Meer oder an Wasserwegen liegenden übergrossen Hüttenwerken. Ministahlwerke von 100.000 bis 300.000 Tonnen Jahreskapazität werden in Debieten aufgestellt, wo ringsum viele kleine Abnehmer und auch Schrott zur Verfügung sind. Der technologische Weg ist: Lichtbogenofen (Schrott-Eisenschwamm), Stranggiessen und Walzwerke mit spezialisiertem Walzprogramm.

In Edelfahlwerken und auch anderen werden in immer grösserem Masse Duplex oder gar Triplex Verfahren eingeführt: Lichtbogenofen — Sauerstoffkonverter — Induktionsofen (Mittel oder Netzfrequenz) als Endagregat welcher auch entgast werden kann; oder Sauerstoffkonverter (wenn flüssiges Roheisen zur Verfügung steht) — Induktionsofen mit oder ohne Entgasung.

Das Ministahlwerk in Decazewille mit Sauerstoffkonverter, Induktionsöfen, Stranggussanlagen für die Erzeugung von Rohlingen für Röhrenwerke ist beschrieben. Es wird eine kurze Marktentwicklung über die Anschaffung von Schrott, Eisenerzen, gebrannter oder reduzierter Pellets, Koks, Energie und Elektroden für Lichtbogenöfen gegeben. Diese Entwicklungstendenzen diktieren, dass die

künftige Entwicklung unserer Hüttenwerke besonders des Hüttenwerkes Jesenice kritisch analysiert und die möglichen Alternativen vom qualitativen, technologischen, vom Kostenaufwand und Investitionsstandpunkt miteinander verglichen werden. Dabei ist mit der Produktion von Koks in Bakar im Jahre 1976 zu rechnen.

Es wird nicht leicht sein im Rahmen der Vereinigten slowenischen Hüttenwerke für das Hüttenwerk Jesenice die beste technologische Lösung zu finden. Drei alternative Möglichkeiten sind angegeben, nach denen alle drei Hüttenwerke rund 1 Mill. t. Rohstahl jährlich erzeugen. Nach der ersten sollte ungefähr die jetzige Produktionsstruktur beibehalten werden, das fehlende Eisen würde für die Elektrostahlwerke als Schrott importiert. Nach der zweiten sollte eine vergrösserte Produktion der Hochöfen in Jesenice etwa 270 bis 300.000 t Roheisen für das Frischen in 35 t Sauerstoffkonvertern geben; aus den eingeführten gebrannten Pellets würde Eisenschwamm erzeugt für Elektrostahl, dessen Anteil etwa 60 % der Gesamtstahlproduktion betragen würde. Die dritte Alternative gilt für den Entschluss, wenn in Jesenice die Hochöfen stillgesetzt werden; und das gesamte Rohstahl in Elektroöfen erzeugt wird, welche mit Eisenschwamm und Schrott vom Import versorgt werden.

Nach der zweiten Alternative sind die Unkosten für die Einfuhr des Reproduktionsmaterials am niedrigsten, nach der (dritten) am höchsten. Alle drei beweisen es, dass es dringend ist, so schnell wie möglich objektive Studien und Vergleiche auszuarbeiten, um nicht für die künftige Entwicklung des Hüttenwerkes Jesenice schon im voraus einen falschen Entschluss zu fassen.

## SUMMARY

Prognosis of future production plans of the three Slovene ironworks show that their portion in Yugoslavia will be reduced from the last year 25,8 % to about 9 to 10 % according to the longterm UJZ program. Yugoslav production will mean only a very small portion of the world production also after year 1985 though apparent yearly consumption of raw steel per capita will increase from 128 kg to 500 kg. Available investments suggest, according to the author's opinion, that the long term plan of Yugoslav ferrous metallurgy should be reduced from about 11 million tons of raw steel to about 7,2 million tons with at least 1,6 million ton of steel made in electro-furnaces.

Statistics show that big steel producers are also big ore importers and big pig iron producers.

Ore basis for central and west ironworks is Ljubija region which reserves discovered till 31th December 1971 contained 307 million tons ore with over 45 % Fe, and 470 million tons of all ore together. If 6 to 7 million tons are exploited per year with the increased output from 10 to even 13 million tons after the year 1985, the available reserves will be exhausted in 25 to 30 years. Because 1000 kg Fe in reach imported ores are cheaper than in enriched Ljubija ore, it is convenient that our ironworks should in future at least partially import reach ores or calcines, perhaps even reduced pellets to prolong the life of Ljubija mine.

Geographical situation and raw materials demand that Slovene ironworks have to orientate to production of more expensive steel qualities and the portion of final products should be greater thus compensating the higher production costs of steel. The three Slovene ironworks intensively follow this trend, and their program is:

Ravne ironworks with output of 220,000 tons quality steel are according to their production program great steelworks for special steels and their amount of final product should be increased for 60 % at least; Store ironworks are a mini steel plant but important for their foundry activities; Jesenice ironworks are neither small nor big ironworks according to their technological equip-

ment and variety of production, and they are before a difficult task how to reach the capacity of 700,000 ton steel and simultaneously adjust their own production program with the programs of the other two ironworks.

The newest development of that blast furnace technology which could rationalize and increase the pig iron production of Jesenice blast furnaces is presented. In such small blast furnaces the production can be increased and the prices reduced if the amount of oil injection is increased and CO + H<sub>2</sub> obtained by gasification of oils and coal is injected in the bosh according to tests made in Seraign.

LWS, OBM, AOD, and Uddeholm variant are described together with the converter technique of blowing O<sub>2</sub> — water vapour through the bottom. The possibility of converting pig iron to steel in the oxygen converter is treated if Jesenice ironworks will retain the blast furnaces.

As an example for continuous refining of pig iron the IRSID process «affinage continu» is cited.

Development of electric arc furnaces and their technology demands pure charge when «pure steel» is to be produced. Midrex-Korf process and Purofer process are analyzed as the possible ones for our conditions if reduction gas will be produced from oils or coal. Raw calculations show that natural gas for this purpose should not be more expensive than 200 din/1000 Nm<sup>3</sup>, and that the possibility of production of reducing gas from Zagorje coal by Koppers-Totzek process is realistic.

Great reserves of rich iron ores (263 milliard tons, 72 milliard tons of them with Fe over 55 %) cause the existent trend of development of the world ironmaking. New milliards are discovered yearly. Also coals for coking (about 870 milliard tons) do not cause anxiety. Bigger transporting units reduce transport costs to big ironworks on sea coasts and other water ways. Small ironworks with capacities 100,000 to 300,000 ton are built in areas where is a great number of small consumers and scrap iron is available. Technological scheme is: electric arc furnace (scrap iron, Fe-sponge) — continuous casting — rolling mill with the most specialized program.

In the steelworks for special steels and other quality steels duplex and triplex process are the most applied: electric arc furnace — oxygen converter — induction furnace for medium or line frequency as the end set-up which is usually also equipped with a vacuum apparatus; or oxygen converter (where molten pig iron is available) — induction furnaces with vacuum or without it.

Steelworks in Decazeville as a mini ironworks with oxygen converter, induction furnaces, continuous casting machines for rounds used for tubes are described.

Short treatment of market trends on purchase of scrap iron, iron ores, calcined and metallized pellets, coke, electrical energy, and electrodes for electric arc furnaces dictates that the future development of our ironworks, especially of the Jesenice ironworks, must be critically analyzed, and possible production alternatives compared from the viewpoints of products, technology, investments, and costs. Beginning of the coke production in Bakar is planned for the year 1976.

As an example that the best technological and production solution for Jesenice ironworks in the union of

United Slovene Ironworks will be a very difficult task, three alternatives are cited, according to which all the three ironworks will produce about 1,000,000 ton raw steel per year. The first one proposes the existing production structure, the lack of iron, mainly for needs of electro-steelworks will be compensated by importing scrap iron. According to the second one the extended blast furnace production in Jesenice should give 270,000 to 300,000 tons pig iron for refining in 35 ton oxygen converter; from the imported calcined rich pellets pure Fe sponge should be produced — about 60 % steel is to be steel from electric furnaces. The third alternative suggests closing down the Jesenice blast furnaces, the raw steel should be produced in electric furnaces from the Fe sponge and some imported scrap iron.

According to the second alternative the costs for the imported reproduction material are the lowest, and according to the first one the highest. But all the three alternatives prove that many objective studies and comparisons must be made as soon as possible in order to avoid wrong planned development, especially of the Jesenice ironworks.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прогноз будущего производства трёх словенских металлургических заводов нам указывает, что доля металлургической промышленности Словении, в сравнении с производством этой отрасли в остальных республиках Югославии, на основании долгосрочного плана Объединения югославских металлургических заводов, уменьшится с 25,8 % прошлого года на всего 9—10 %. При сравнении с всемирным производством, производство стали в Югославии, даже и после 1985 года будет ещё незначительно, несмотря на то, что кажущееся годовое потребление стали на жителя повысится с 128 кг. прибл. на 500 кг. По мнению автора необходимо, взяв в учёт имеющиеся в распоряжении средства для инвестирования, уменьшить в долгосрочном плане югославской чёрной металлургии 11 милл. т. стали прибл. на 7,2 милл. т., при чём производство электростали не должно быть меньше 1,6 милл. т.

Статистика указывает, что большие производители стали в свою очередь также большие импортеры железной руды и большие продуценты чугуна. Для нейтральных и металлургических заводов в западных пределах Югославии как сырьевая база железной руды представляют рудники Любни. На основании геологических исследований 31.12.1971 г. запасы железной руды с содержанием железа свыше 45 %, оценены на 307 милл. т.; вместе с низкокачественной рудой запасы представляют 470 милл. т. При годовой раскопки в количестве 6—7 милл. т., а после 1985 г. 10 милл. а возможно даже и 13 милл. т. в год, запасы железной руды в Любни будут выработаны в течение 25—30 лет.

Так как 1000 кг. железа в импортной железной руде обходится дешевле от обогащенной железной руды из рудника Любни, то уместно для наших металлургических заводов часть богатой или обожженной руды, также возможно и редуцированные окатыши, импортировать. Исполняя эту цель, можно продолжить существования рудника Любни.

Географическое и, что касается сырья, расположение словенских металлургических заводов, требует ориентировку производства более дорогих качеств стали. Необходимо также увеличить долю конечных продуктов при чём будет дана возможность возместить высокие расходы производства стали. Эту цель три словенские металлургические заводы постепенно проводить в жизнь. Категоризация словенских металлургических заводов следующая: металлургический завод Ранце с производственной мощностью 220.000 т/г высококачественной стали должен бы в программе производства специальной стали повысить квоту конечных изделий не менее 60 %. Шторе, завод мини-металлургического типа что касается производства стали, имеет значение как большой центр антейного производства. Наконец, металлургический завод Есенице по своему технологическому оборудованию и разнообразности производства, нельзя рассматривать как на заводе большой мощности а также не как мини-металлургического типа. Завод Есенице находится перед тяжёлой задачей, как согласовать собственную программу производства в отношении с остальными двумя упомянутыми металл-ами заводами Словении.

Рассмотрено самое новейшее развитие технологии доменного производства, которая бы могла рационализировать, увеличить и придать значение производству чугуна доменных печей в Есеницах. Увеличить и удешевить производство доми такой малой ёмкости можно только увеличением впрыскивания жидких топлив а также смеси газов CO + H<sub>2</sub>, полученных газификацией жидких топлив или угля, вдуванием в распор домы в согласии опытов, которые состоялись в Сераингу.

Рассмотрены способы LWS, OBM, AOD и способ из Uddelholm'a, варианта и техника продувки с смесью O<sub>2</sub>-пар через дно конвертора. Описана возможность переработки чугуна в сталь в конверторе вдуванием кислорода в металлургическом заводе Есенице, в случае если производство чугуна в этом заводе будет продолжаться. Приведён способ «affinage continu», IRSIDA, как пример установки который даёт возможность вести непрерывное фришование чугуна. Отмечено, что развитие электродуговой печи и технологии производства стали, когда вопрос о «чистой стали», требует чистую шихту. Дано описание способов производства стали Midrex-Korf и Purofer. При рассмотрении этих способов можно заключить, что есть возможность применить эти способы в наших металлургических заводах, под условием, если бы из жидких топлив или из угля производили редуциционный газ. Грубый подсчёт указал, что для этой цели природный газ не должен быть дороже 220 дин/1000 м<sup>3</sup>; указано, что производство редуциционного газа по способу Koppers-Totzek у реална из бурого угля рудника Загорье. Причины существующих направлений развития всемирной металлургии железа это большие запасы железной руды. Эти запасы оцениваются пока на 263 милл. т.; при чём больше чем 72 мл. т. руды содержат свыше 55 % железа. Каждый год вскрывают новые залежи железной руды в млд-ах т-ах. Также нет недостатка что касается угля для коксирования; известные пока залежи ценятся на прибл. 870 милл. т.

Все более крупные транспортные единицы уменьшают расходы транспорта металлургических заводов-гигантов, расположение которых на берегу моря или водных путей. Мини-металлургические заводы ёмкости 100—300.000 т. строятся в районах где находится большое число потребителей и достаточное количество железного скрапа.

Технологическая линия производства следующая: электродуговая печь (скрап, губчатое железо) — непрерывная разливка-прокатный стан, с чем более специализированной программой.

В сталеплавильных заводах в которых производится специальная сталь, а также и в заводах качественной стали, всё больше вводят в употребление дуплексный, даже и триплексный способы, т. е. электродуговая печь — O<sub>2</sub> конвертор — индукционная печь для средней частоты или частоты сети как конечный агрегат, в котором обыкновенно оборудование для эвакуирования. Другая варианта дуплексного способа представляет: O<sub>2</sub> конвертор (там где в распоряжении расплавленный чугун) — индукционная печь, с или без эвакуирования.

Дано описание сталеплавильного завода в Decaseville, модели мини-металлургического завода с кислородным конвертором, индукционными печами, с оборудованьем для непрерывного производства заготовок для стальных труб. Рассмотрение рыночных трендов, что касается снабжения с скрапом, железной рудой, обожженными и металлическими окатышами и коксом, электрической энергией и электродами для электродуговой печи, нас указывает, что будущему развитию наших металлургических заводов, в особенности заводу Есенице необходимо подвергнуть критическому анализу. Необходимо сравнить между собой возможные альтернативы производства с точки зрения на качество, на технологию производства, инвестирования и что касается затраты средств. Можно ожидать, что 1976 года начать с производством кокса коксовый завод в Бакре. Так как в Объединении словенских металлургических заводов бюджет для завода Есенице не легко выбрать самое лучшее технологическое решение, то как пример, рассмотрены три альтернативы, на основании которых все три завода дадут в год прибл. 1 млрд. т. сырой стали.

По первой альтернативе теперешняя структура производства сохраняется, импортируется только недостаток скрапа, главным образом для электро-сталеплавильных заводов. По второй альтернативе завод Есенице увеличивает производство чугуна для фритования на 270—300.000 т в 35 т-ом кислородном конверторе. Из импортных богатых железом обожженных окатышей произвели бы чистое губчатое железо; продукт переработки представлял бы не менее чем 60 % электростали. Третья альтернатива находится перед решением прекратить производство чугуна в доменных печах Есенице и перенести производство сырой стали в электродуговые печи, перерабатывая чистое губчатое железо при импорте небольшого количества скрапа.

Расходы для ввоза репродукционного материала ниже всего по второй альтернативе, а выше всего по первой. Все три альтернативы доказывают, что необходимо чем раньше выполнить не малое количество объективных исследований и сравнений, чтобы не причинить ущерб в особенности будущему развитию металлургического завода Есенице.

## Nekaj misli ob sedanjem načinu ocenjevanja reaktivnosti trdnih reducentov

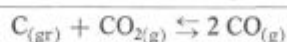
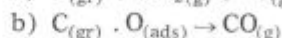
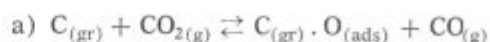
*Reaktivnost je ena od pomembnejših lastnosti trdnih reducentov. Od nje je v veliki meri odvisen potek redukcije železovih rud. Osnovna kemična reakcija za njeno določanje je redukcija CO<sub>2</sub> ob segretem gorivu (CO<sub>2</sub> + C = 2 CO). Reaktivnost merimo tako, da prevedemo v določenih pogojih skozi nasuto plast reducenta CO<sub>2</sub> in merimo količino nastalega CO. Hitrost redukcije CO<sub>2</sub> je odvisna od vrste faktorjev. Nekateri od njih vplivajo v toliki meri, da onemogočijo pravilno merjenje. Delo obravnava vpliv temperature razplinjanja premoga, vpliv sestave trdnega goriva in temperature na hitrost vplivanja trdnih reducentov s CO<sub>2</sub>.*

Koks ima v plavžu predvsem dve nalogi. Pri zgorevanju pred pihalicami mora dati dovolj toplote, da lahko nemoteno poteka celotni proces proizvodnje grodlja ter aktivno sodelovati pri redukciji železovih oksidov. Iz toplotno tehničnega stališča želimo na eni strani, da bi koks zgorel čim bolj popolno, t. j. po reakciji  $C + O_2 = CO_2$ , na drugi strani pa naj bi bil v plinih, ki strujajo od pihalic proti žrelu čim večji delež CO. Ta je potreben za indirektno redukcijo železovih oksidov. Stopnja, do katere je koks v tem smislu izkoriščen, je odvisna od več njegovih lastnosti, ki skupaj dajejo eno od karakterističnih značilnosti trdnih reducentov, njihovo reaktivnost. Reaktivnost je kemična lastnost koksa, ki kaže, kako hitro in do kolike mere reagira s kisikom oziroma ogljikovim dioksidom ali vodno paro. Odločilni za redukcijo v plavžu sta predvsem reakciji:  $Fe_x O_y + CO = Fe_x O_{y-1} + CO_2$  in  $CO_2 + C = 2 CO$ . Ta druga dobiva z naraščanjem temperature vse večji pomen, dokler v končni fazi ne prevlada v toliki meri, da sproti regenerira ves pri indirektni redukciji nastali CO<sub>2</sub>. Reakcija je močno endotermna in je toplotno tehnično neugodna. Brez nje pa si ne moremo zamisliti delovanje plavža. Zato je za najugodnejši potek redukcije, oziroma za optimalno delovanje plavža odločilen prav odnos med CO in CO<sub>2</sub> v plinski zmesi po vsej višini plavža. Na ta odnos lahko vplivamo s pravilno pripravo rude in koksa, z optimalno temperaturo, količino vpihanega zraka itd.

Pri relativno nizkih temperaturah poteka redukcija CO<sub>2</sub> s trdnimi reducenti po vsej njihovi »notranji« površini. Zato v tej fazi njena hitrost tudi skoraj ni odvisna od hitrosti strujanja plina skozi nasutje. Pri višjih temperaturah pa postaja

kemična reakcija med ogljikom in CO<sub>2</sub> vse hitrejša in jo začne zavirati prepočasno dovajanje CO<sub>2</sub> v reakcijski prostor. Proces vse bolj prehaja k difuzijskem področju. Hitrost same kemične reakcije je eksponentialno odvisna od temperature:  $k \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$  kjer je E aktivacijska energija in k konstanta. Takšna odvisnost velja pod enakimi pogoji tudi za količino toplote, ki se porabi za potek redukcije v enoti časa. Za difuzijsko področje je ta odnos nekoliko drugačen predvsem pa ni tako močno odvisen od temperature.

Med prodiranjem CO<sub>2</sub> skozi nasuto plast reducenta, ki smo ga ogreli na neko temperaturo, ki je npr. višja od temperature reducenta, začne pri določenih temperaturi njegova površina reagirati s CO<sub>2</sub>. Za to reakcijo se na površini porablja toplota in to toliko več, čim hitreje poteka reakcija. Tako se poleg toplote za ogrevanje reducenta porablja še toplota za potek kemičnega procesa in postaja tako hitrost poteka reakcije odvisna od hitrosti dovajanja toplote, ki je potrebna za kritje toplote za potek endotermne reakcije. Vsaki temperaturi CO<sub>2</sub> odgovarja tako določena temperatura površine, ki je odvisna od razlike med v časovni enoti dovedeno in porabljeno toploto. Pri višjih temperaturah npr. poteka reakcija  $CO_2 + C = 2 CO$  vse bolj hitro in porablja vse več toplote. Zato se površina reducenta hladi, prav tako pa ostaja sredina koščkov reducenta bolj hladna kot je površina. Iz tega sledi, da se bo hitrost reakcije redukcije CO<sub>2</sub> regularila sama in potekala pri bolj ali manj konstantni temperaturi reakcijske površine. Ta pa je odvisna od pogojev, v katerih poteka reakcija in od vrste reducentov, oziroma od njihove reaktivnosti. Redukcija CO<sub>2</sub> s trdnimi reducenti poteka na sledeč način:



Reakcija a) je reverzibilna, reakcija b) pa je ireverzibilna<sup>1</sup> in odločilna za hitrost poteka redukcije CO<sub>2</sub>. Po literarnih podatkih poteka ta nekajkrat bolj počasi kot reakcija a)<sup>2</sup>.

Pri temperaturah nad 600°C praktično ne moremo govoriti o procesih fizikalne adsorpcije (desorpcije) na površini trdnih reducentov. Pri teh temperaturah jo zamenja kemična adsorpcija (kemisorpcija).

Za reakcijo b) je poleg temperature odločujoča tudi velikost površine, ki jo pokriva kompleks  $C_{(gr)} \cdot O_{(ads)}$ , oziroma od razmerja med pokritim in nepokritim delom površine reducenta. Označimo pokriti del površine s  $S$  in nepokritega z  $(1-S)$ . Hitrost nastajanja kompleksa  $C_{(gr)} \cdot O_{(ads)}$  je enaka:

$$v_{(ads)} = k_a (1-S) p_{CO_2}$$

$k_a$  ... reakcijska konstanta hitrosti nastajanja kompleksa na površini reducenta.

Hitrost razpadanja adsorbiranih kompleksov pa je enaka:

$$v_{dej} = k_b S$$

$k_b$  ... reakcijska konstanta hitrosti desorpcije oziroma razpada kompleksa  $C_{(gr)} \cdot O_{(ads)}$

Ko se po določenem času, pri določeni temperaturi vzpostavi navidezno stacionarno stanje, sta hitrosti obeh procesov enaki:

$$k_a (1-S) p_{CO_2} = k_b S$$

in iz tega sledi dejanska hitrost:

$$v_{dej} = \frac{k_a p_{CO_2}}{1 + \frac{k_a}{k_b} p_{CO_2}}$$

oziroma splošno:

$$v_{dej} = k_{dej} p^n_{CO_2}$$

kjer pomeni  $n$  red reakcije. Pri relativno nizkih tlakih  $CO_2$  lahko privzamemo, da je  $n = 1$  in je redukcija  $CO_2$  s trdnimi reducenti v prebitku teh odvisna le od koncentracije  $CO_2$  v plinu. Pri višjih koncentracijah  $CO_2$  pa je dejanska hitrost reakcije odvisna od hitrosti poteka kemične adsorpcije  $CO_2$  na površini trdnih goriv in ni odvisna od njegove koncentracije.

Ugotovili smo, da je za hitrost reakcije  $CO_2 + C = 2CO$  odločilen proces kemične adsorpcije, ki je vezan na velikost specifične površine trdnih reducentov. Naš namen je, da prikažemo, kako ne-

kateri faktorji vplivajo na potek gornje reakcije, ki je po sedaj veljavnih normah odločilna za ocenjevanje reaktivnosti trdnih reducentov. Pri tem bomo poročali le o nekaterih lastnih izkušnjah.

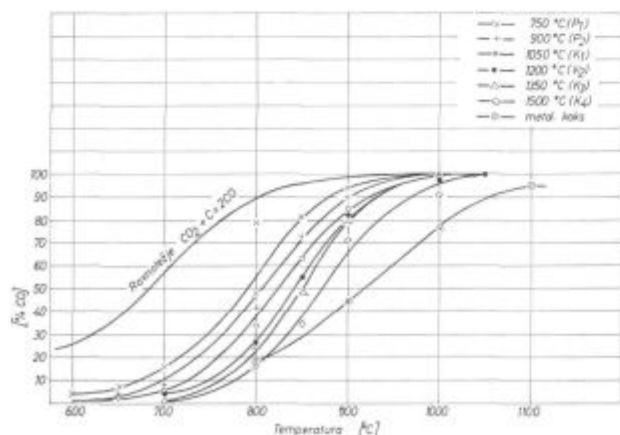
Kako vpliva temperatura, pri kateri razplinjamo trdni reducent, na hitrost gornje reakcije, kaže slika 1<sup>3</sup>.

Slika 1 kaže, kako se spreminja sestava plinske zmesi pri pretoku 10,4 l  $CO_2$  na uro skozi 34 cm<sup>3</sup>, 16,4 mm visoko nasuto plast trdnega reducenta, zdrobljenega na 1...2 mm, pri različnih temperaturah. Posamezne krivulje veljajo za lignitni premog, ki smo ga razplinjevali pri na sliki navedenih temperaturah. V sliko smo za primerjavo vrisali še podatke za običajen metalurški koks. Slika kaže da se sestava plinov pri sicer enakih pogojih izvajanja poskusov za različno pripravljena goriva močno med seboj razlikuje.

Z naraščajočo temperaturo razplinjanja trdnih goriv pada vsebnost CO v izhajajočih plinih. To pomeni z drugo besedo, da postaja koksov ostanek z naraščajočo temperaturo koksanja vse manj reaktiven. Tako lahko praktično z ustreznim režimom razplinjevanja trdnih goriv (premogov) vplivamo na reaktivnost trdnih reducentov, ki nastajajo iz njih in izdelamo z ozirom na to lastnost reducente z optimalno reaktivnostjo, npr. za proizvodnjo železove gobe z določeno vsebnostjo ogljika.

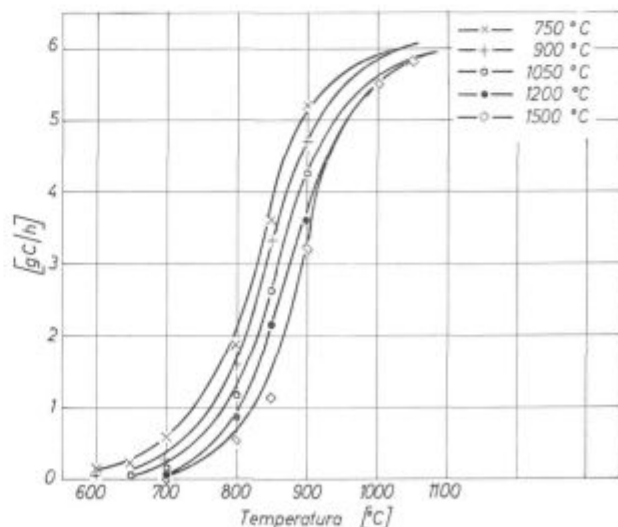
Reaktivnost trdnih goriv lahko prikažemo še na drug način. Namesto sestave plina po reakciji nanesemo za iste reducente količino ogljika, ki v enakih pogojih kot na sliki 1 zgori s  $CO_2$  v časovni enoti pri različnih temperaturah (slika 2).

Tudi v tem primeru dobimo zanimiv snop krivulj, ki kažejo, da količina zgorelega ogljika eksponentialno narašča s temperaturo pri temperaturah vse do okrog 800<sup>0</sup> C, nato pa radi pomanjkanja  $CO_2$  v višjih plasteh nasutja (zaradi prepočasnega dovajanja  $CO_2$  v reakcijsko cono) hitrost sicer še na-



Slika 1

Sestava plinske zmesi  $CO_2$  po prehodu 10,4 litrov na uro čistega  $CO_2$  skozi nasuto plast goriva v odvisnosti od temperature in vrste goriva.



Slika 2

Količina, v atmosferi  $CO_2$ , zgorelega ogljika (vg/h) v odvisnosti od temperature.

rašča, vendar relativno počasneje, kot pri nižjih temperaturah. Tak potek procesa je tem bolj izrazit, čim bolj reaktivno je gorivo.

Kako se spreminja hitrost reakcije  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$  od temperature koksiranja, kaže tudi slika 3.

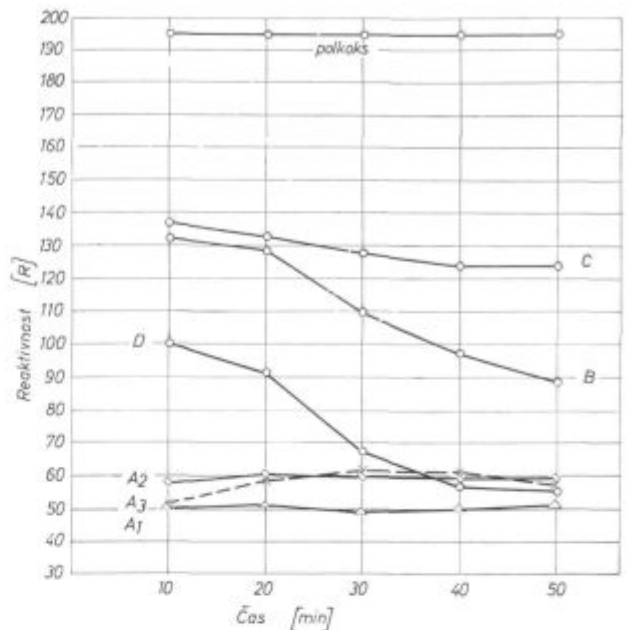
Ugotovili smo, da je reaktivnost trdnih reductentov lastnost, ki pove, kako hitro ti gore v atmosferi  $\text{CO}_2$  (oz.  $\text{H}_2\text{O}$ ). Zato na sliki 3 pravzaprav primerjamo trdne reductente po reaktivnosti pri temperaturah med  $700 \dots 1000^\circ \text{C}$ . Klasičen način določanja te lastnosti pa poteka pri  $950^\circ \text{C}$ , kot sledi iz sledeče serije poskusov.

Reaktivnost trdnih reductentov smo določali tako, da smo prevajali pri  $950^\circ \text{C}$  skozi kvarčno cev s premerom 16 mm, v katero smo nasuli  $34 \text{ cm}^3$  trdnega reductenta, zdrobljenega na 1 do 2 mm, 10,4 litra  $\text{CO}_2$ . To pomeni, da smo določali reaktivnost pri določeni temperaturi in v natančno določenih pogojih. Reaktivnost smo izračunali po enačbi:

$$R = \frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2 + 1/2 \% \text{CO}} \cdot 100$$

Tako po Koppersu izračunane reaktivnosti imajo lahko pri popolni pretvorbi  $\text{CO}_2$  v  $\text{CO}$  najvišjo vrednost 200. Vrednost za reaktivnost smo določili iz petih zaporednih meritev, ki si sledijo vsakih 10 minut, in izračunali srednjo vrednost. Ta srednja vrednost je številčna vrednost za reaktivnost trdnega reductenta. Na sliki 4 smo izbrali nekaj rezultatov merjenj reaktivnosti za reductente, ki se med seboj močno razlikujejo.

»Polkoks«, izdelan iz velenjskega lignita je močno reaktiven in se približuje vrednosti 200. Na drugi strani pa so v spodnjem delu diagrama običajni metalurški koksi z reaktivnostjo med 50 in 60. Med temi vrednostmi so koksi, ki so izdelani iz mešanic premogov, ki se razlikujejo po starosti



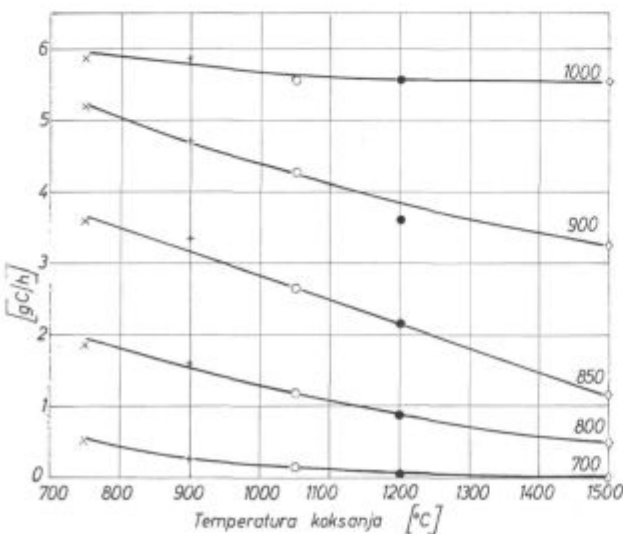
Slika 4  
Reaktivnost nekaterih trdnih reductentov po Koppersu.

(nastanka), to je iz premogov z različno formirano stopnjo grafitizacije osnovne strukture. Koks, označen z B, je izdelan npr. iz 65 % koksarniškega premoga in 35 % rjavega oziroma lignitnega premoga. Koks C je prav tako sestavljen in sicer iz 60 % črnega in 40 % lignitnega premoga, v koku D pa je 90 % koksarniškega in 10 % lignitnega premoga.

Ceprav je bila tehnologija izdelovanja koksa pri vseh koksih približno enaka, (razen pri polkoku) vidimo, da so bolj reaktivne komponente (mlajši premogi) obdržale svojo večjo reaktivnost tudi v mešanicah. Zato je v prvi meritvi reaktivnost teh koksov relativno visoka, nato pa pri vsaki naslednji pade, dokler na primer pri koku D ne dobimo reaktivnost običajnih metalurških koksov. S  $\text{CO}_2$  torej najprej reagirajo najbolj reaktivne sestavine koksa. Šele, ko te zgore začno reagirati manj reaktivne sestavine. V takih primerih srednja vrednost petih meritev, kot to običajno delamo, ne more dati pravih rezultatov. Vendar pa da ta način merjenja dobro reproducirane vrednosti za kokse, izdelane iz približno enakih premogov.

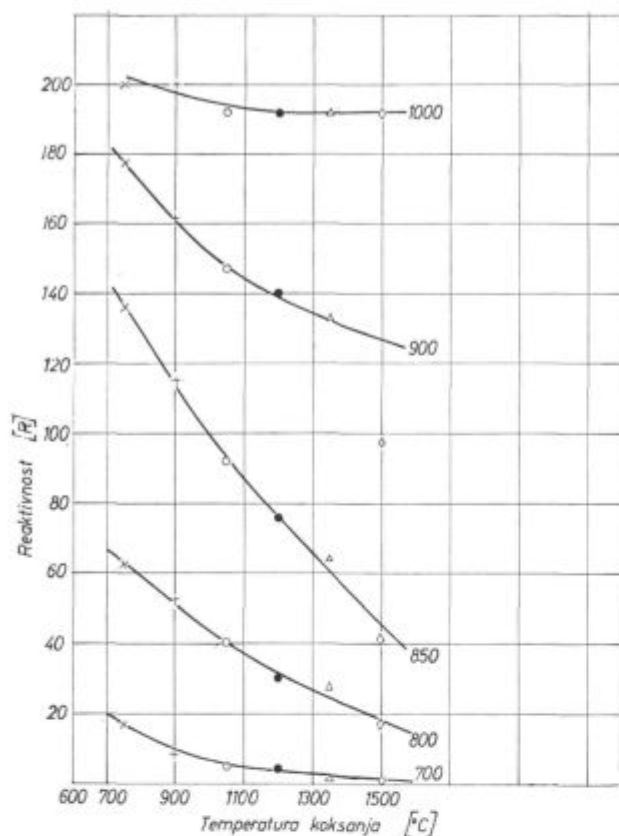
Metalurge zanima tudi obnašanje (reaktivnost) reductentov pri temperaturah, nižjih od  $950^\circ \text{C}$ . Od tega je namreč odvisen potek redukcije v zgornjem delu plavžnega jaška. Kako se spreminja vrednost za reaktivnost s temperaturo kaže naslednja slika 5.

Pri  $1000^\circ \text{C}$  je ta vrednost skoraj 200, za vse pri poskusih uporabljene kokse. Reducenti se tudi med seboj bistveno ne razlikujejo. Pri  $900^\circ \text{C}$  pa je razlika med reductenti že večja. Močno pade reaktivnost trdnih goriv, razplinjenih pri višjih temperaturah. To more odločujoče vplivati na potek direktne redukcije v plavžnem jašku. Če izločimo vpliv reaktivnosti rude na sestavo plinske zmesi



Slika 3

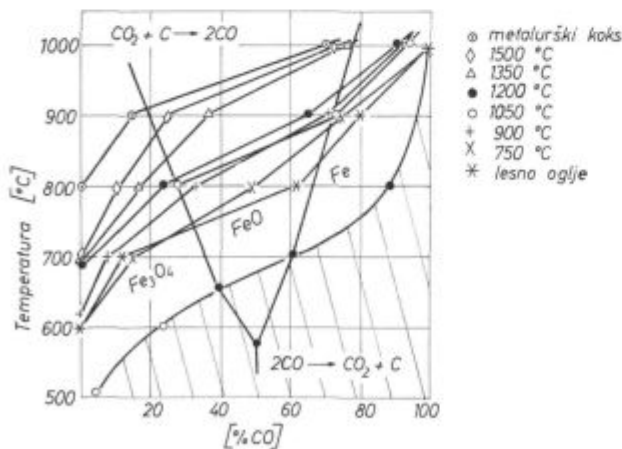
Odvisnost hitrosti poteka reakcije  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$  (v g Ch) od temperature razplinjenja lignita in temperature redukcije.



Slika 5

Vpliv temperature koksanja in temperature, pri kateri poteka redukcija  $\text{CO}_2$  na reaktivnost.

$\text{CO}/\text{CO}_2$ , ki je potrebna za njeno redukcijo, lahko vzamemo kot kriterij za oceno reaktivnosti trdnega reducenta razmerje med  $\text{CO}$  in  $\text{CO}_2$  v reakcijskih plinih oziroma njih sestavo po reakciji  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ , pri kateri seka ravnotežne krivulje sistema  $\text{Fe}-\text{O}-\text{C}^4$ . Tako je npr. redukcija hematitne rude pokazala podoben vrstni red v sestavi plinske zmesi  $\text{CO}/\text{CO}_2$  za v prejšnjih serijah uporabljena goriva, kot jih kaže slika 1 (slika 6).



Slika 6

Redukcija hematitne rude — sestava plinske zmesi  $\text{CO}/\text{CO}_2$  pri direktni redukciji s posameznimi trdnimi reducenti.

Medtem ko se začne pojavljati v plinski zmesi  $\text{CO}$  pri redukciji z metalurškim koksom pri okrog  $800^\circ\text{C}$ , kar pomeni, da se je začela v pogojih poskusov pri tej temperaturi direktna redukcija, so se temperature začetka redukcije pri bolj reaktivnih gorivih pomaknile k nižjim temperaturam, v našem primeru vse do  $600^\circ\text{C}$ . Najbližja ravnotežni krivulji  $\text{CO}/\text{CO}_2$  je pilnska zmes, ki nastaja pri redukciji z lesnim ogljem.

Tak način prikazovanja reaktivnosti trdnih goriv je vsekakor bolj realen od klasičnega, ker kaže njihovo reaktivnost v neposrednem stiku z rudo, posebno še, ker imamo danes na razpolago naprave za avtomatično regulacijo režima ogrevanja reakcijskega prostora in neposredno določanje spreminjanja mase vzorca med redukcijo. Na drugi strani pa lahko avtomatično zapisujemo analize reakcijskih plinov oziroma kisikov potencial v reaktorju s pomočjo kisikove sonde<sup>3</sup>.

## SKLEPI

Reaktivnost je ena od karakterističnih lastnosti trdnih reducentov. Osnovna kemična reakcija, na kateri slone skoraj vse metode za njeno določanje, je  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ . Pri popolni pretvorbi  $\text{CO}_2$  v  $\text{CO}$  je vrednost za reaktivnost 200 in ima v tem primeru reducent največjo možno reaktivnost. Na sestavo plinske zmesi po prehodu skozi nasuto plast reducenta in s tem na reaktivnost vpliva med drugimi faktorji tudi temperatura, pri kateri razplinjamo premoge. Višja ko je temperatura razplinjavanja nekega premoga, manj reaktiven je njegov koksov ostanek. Poleg te temperature vpliva na reaktivnost tudi stopnja »formiranja« grafitne strukture premogov, ki jih uporabljamo za »koksanje« (geološka starost premogov). To lepo kažejo poskusi določanja reaktivnosti pri  $950^\circ\text{C}$ , v katerih smo ugotovili, da ostanejo komponente mlajših premogov tudi po koksanju bolj reaktivne kot komponente iz koksarniških premogov. Zato tudi odpove za tako sestavljene reducente klasičen način določanja reaktivnosti v atmosferi  $\text{CO}_2$  pri  $950^\circ\text{C}$ , ki je izračunana iz povprečja petih zaporednih meritev. Metalurga predvsem zanima reaktivnost teh reducentov pri različnih temperaturah, ne samo pri  $950^\circ\text{C}$ . »Reaktivnost«, tako kot jo izražamo sedaj, se namreč s temperaturo za različne trdne reducente močno in različno spreminja, kar pa lahko močno vpliva na energetski in kemični režim procesov v peči.

Drug način določevanja reaktivnosti, o katerem prav tako poročamo in se nam zdi bolj logičen, je zasledovanje spreminjanja sestave reakcijskih plinov ob neposrednem stiku trdnih reducentov z rudo. Raziskave so dale zadovoljive rezultate. Vsa-kokratna vsebnost  $\text{CO}$  v reakcijskih plinih pa pokaže do kolike mere je pred poskusi napredovala direktna redukcija železovih oksidov pri določeni temperaturi. Meritve so zelo enostavne, saj lahko

sestavo plinske zmesi zasledujemo kontinuirno z ustreznimi analizatorji ali pa kontinuirno določamo s kisikovo sondo kisikov potencial v reakcijskih plinih.

#### Literatura:

1. Ergun S.: »Kinetics of the Reactions of Carbon Dioxide and Steam with Cokes«, Bureau of Mines, Bulletin 598, 1962.

»Kinetics of the Reactions of Carbon Dioxide with Carbon«, Jour. Phys., Chem. 60, 1956

2. O. A. Esin, P. V. Geld: »Fizicheskaia himija pirometallurģičeskikh processov«, čast I, Metallurgizdat, Moskva 1962.

3. Dobovišek B., B. Koroušič, N. Smajić: »Studij prenosa mase med plinskim medijem in kondenziranimi fazami ter raznih premen v njih«, Poročilo MI, Ljubljana, julij 1972.

4. Dobovišek B.: »Direktna redukcija železovih oksidov in reaktivnost trdnih goriv«, Rudarsko-metalurģski zbornik, št. 1, 1971, 88 do 100.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Reaktionsfähigkeit ist eine von den charakteristischen Eigenschaften der festen Reduktionsmittel. Die chemische Grundreaktion, an welcher fast alle Verfahren für die Bestimmung der Reaktionsfähigkeit beruhen, ist  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$ . Bei der vollkommenen Umwandlung von  $\text{CO}_2$  in  $\text{CO}$  ist der Wert der Reaktionsfähigkeit 200 und hat in diesem Fall das Reduktionsmittel die grösstmögliche Reaktionsfähigkeit. Die Zusammensetzung der Gasmischung und damit die Reaktionsfähigkeit beim Durchgang durch die Schüttung des Reduktionsmittels wird unter anderen Faktoren auch von der Temperatur der Kohlentgasung beeinflusst. Je höher die Temperatur der Kohlentgasung (Verkokung), desto kleiner ist die Reaktionsfähigkeit des Koksrückstandes. Neben dieser Temperatur beeinflusst die Reaktionsfähigkeit auch der »Graphitisierungsgrad« der Kokssteine welche verkokt werden. Das Zeigen die Versuche der Reaktionsfähigkeitsbestimmung bei  $950^\circ \text{C}$ , wo wir festgestellt haben, dass die Komponenten der jüngeren Kohlen auch nach dem Verkokung reaktionsfähiger bleiben als die Komponenten der Kokssteine. Deshalb versagt für so zusammengestellte Reduktionsmittel das klassische Verfahren der Reaktions-

fähigkeitsbestimmung in der  $\text{CO}_2$  Atmosphäre bei  $950^\circ \text{C}$ , welches ein Durchschnitt aus fünf hintereinander folgenden Messungen darstellt. Den Hüttenmann interessiert vor allem die Reaktionsfähigkeit dieser Reduktionsmittel bei verschiedenen Temperaturen und nicht nur bei  $950^\circ \text{C}$ . Die Reaktionsfähigkeit wie sie jetzt ausgedrückt wird, ändert sich mit der Temperatur für verschiedene feste Reduktionsmittel sehr stark, was die Energiewirtschaft und chemische Prozesse im Ofen stark beeinflussen kann.

Eine andere Art der Reaktionsfähigkeitsbestimmung ist die Verfolgung der Zusammensetzung der Reaktionsgase bei dem unmittelbaren Kontakt der festen Reduktionsmittel mit dem Erz.

Die Untersuchungen haben zufriedenstellende Ergebnisse ergeben. Der jederzeitige  $\text{CO}$  Gehalt in den Reaktionsgasen zeigt in wie weit während der Versuche die direkte Reduktion der Eisenoxide bei einer bestimmten Temperatur fortgeschritten ist. Die Messungen sind einfach, den die Gaszusammensetzung kann mit entsprechenden Analytoren kontinuierlich verfolgt werden, oder es wird kontinuierlich der Sauerstoffpotenzial mit einer Sauerstoffsonde in den Reaktionsgasen bestimmt.

### SUMMARY

Reactivity is one of the characteristic properties of solid reducing agents. Basic chemical reaction used by nearly all the methods is  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$ . In complete transformation of  $\text{CO}_2$  into  $\text{CO}$  the reactivity number is 200 and the reducing agent has the greatest possible reactivity in such a case. Gas composition after the gas flow through the packed bed of the reducing agent, and thus the reactivity, are also influenced by the temperature at which coals are distilled. The higher is the distillation temperature the less reactive is the coke. Besides, also degree of formation of graphite structure in coals used for coking influences the reactivity. This is clearly indicated by the determination of reactivity at  $950^\circ \text{C}$  which shows that components of younger coals remain more reactive also after coking than there are the components of the coking coals.

Therefore the standard way of determination of reactivity in  $\text{CO}_2$  atmosphere at  $950^\circ \text{C}$  evaluated from the average of five consecutive measurements is not applicable for such composed reducing agents. The metallurgists are

mainly interested in the reactivity of these reducing agents at various temperatures and not only at  $950^\circ \text{C}$ . The reactivity of various solid reducing agents determined in the present way is highly and changingly dependant on the temperature, and thus also energetic and chemical conditions of processes in the furnaces are highly influenced by the changing reactivity.

The second way of determining the reactivity is study of changing the composition of reaction gases after direct contact of solid reducing agents and the ore. The investigations gave satisfactory results. Everytime  $\text{CO}$  content in the reaction gases shows to which extent the direct reduction of iron oxides at a certain temperature progressed during the experiment. The measurements are very simple as the gas composition can be continuously analyzed by corresponding analyzers or oxygen potential in the reaction gases can be continuously determined by an oxygen probe.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характерное свойство твердых восстановителей это их реактивность. Почти все методы определения реактивности основываются на химической реакции т. е.  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$ . При полном превращении  $\text{CO}_2$  в  $\text{CO}$  величина реактивности означена с цифрой 200. В этом случае восстановитель имеет самую лучшую реактивность. На состав газовой смеси при переходе через насыпанный слой восстановителя, а с этим и на реактивность, между остальными

факторами имеет влияние также и температура при которой уголь газифицируем. Чем выше темп-ра газификации какого либо угля, тем ниже реактивность его остатка, т. е. кокса. Кроме темп-ры на реактивность влияет также степень »формирования« графитной структуры угля которого употребляем для »коксования«. Это хорошо показывают опыты определения реактивности при  $950^\circ \text{C}$ . на углях при которых установили, что они содержат



компоненты углей более молодых происхождений; по коксованию их реактивность лучше чем реактивность коксовальных углей. Поэтому при таких раскислителях при определении реактивности получаем, когда применяем «классический» способ определения, т. е., в атмосфере  $\text{CO}_2$  при темп-ре  $950^\circ\text{C}$ , неправильные результаты. Как средняя величина берется результат пяти последовательных измерений.

Металлурга главным образом интересует реактивность таких раскислителей не только при темп-ре  $950^\circ\text{C}$  но также и при других темп-рах. Реактивность, в смысле как её выражаем теперь, при различных твёрдых раскислителях интенсивно и различно измен-

яется, что конечно может влиять на энергетический и химический режим процессов в печи.

Другой способ определения реактивности состоит в преследовании изменения состава реактивных газов при непосредственном контакте твёрдых раскислителей с рудой. Исследования дали положительные результаты. Кажмый, отдельно полученный результат содержания  $\text{CO}$  в реактивных газах в свою очередь показывает до какой мере подвинулась прямая редукция оксидов железа при определённой температуре. Измерения очень несложны. Состав газа определяем непрерывно с соответствующими анализаторами, или же при помощи зонда кислорода в реактивных газах непрерывно определяем кислородный потенциал.

## Ocena sposobnosti domačih jekel za masivno preoblikovanje v hladnem

S pomočjo kontinuirnega tlačnega preizkusa dobimo odvisnost preoblikovalne sile od spremembe višine preizkušanca in od hitrosti deformacije. Iz tako dobljenih podatkov se izračuna deformacijska trdnost pri dani deformaciji. Kontinuirni tlačni preizkus kot preiskovalna metoda se je pokazal zelo primeren za oceno obnašanja različnih vrst jekel v pogojih masivnega preoblikovanja. Preizkus je zadosti selektiven in omogoča študij različnih pogojev izdelave jekel, vsebnosti elementov, oblike mikrostrukture jekla ter ostalih metalurških vplivov na plastičnost jekla v hladnem. Vse to pa je zelo pomembno za hitrejši razvoj kvalitete jekel za hladno preoblikovanje, kar je osnova za hitrejšo uvajanje tehnologije masivnega preoblikovanja v praksi.

### UVOD

Ideja, da bi s preoblikovanjem v hladnem stanju dali jeklu željeno obliko, je dolgo obsedala misli tehnologov po vsem svetu. V industrijskem merilu so ta proces razvili pred začetkom druge svetovne vojne v Nemčiji, od koder se je po vojni razširil v industrijsko najrazvitejših državah, in to v masovni proizvodnji vojne industrije, industrije prevoznih sredstev, gospodinjstev, strojev in elektrotehnike.

V zadnjem času se gleda na hladno preoblikovanje jekel kot na najbolj perspektivno tehnologijo procesov preoblikovanja. Z ozirom na letni porast proizvodnje in investicij spada v sam vrh kovinske predelovalne industrije.

Zelo lahko je razumeti naraščajočo popularnost hladnega preoblikovanja:

— postopek nudi čisto alternativo odrezavanju v dirki, da se poveča izkoristek materiala in zmanjšajo materialne izgube;

— postopek nudi pot k večji produktivnosti, posebno pri oblikovanju strojnih delov, ki imajo velik volumen,

— postopek daje dele z ozkimi tolerancami in eliminira ali pa zmanjšuje sekundarne operacije,

— med hladnim preoblikovanjem se poveča trdnost kovine, zaradi česar lahko zmanjšamo velikost posameznih delov ali pa uporabimo jekla nižje kvalitete.

V Jugoslaviji je na tem področju še veliko mrtvilo. V novejšem času pa je ta perspektivna tehnologija oblikovanja jekla le pričela prodirati tudi v nekatera naša podjetja predelovalne industrije. Že takoj ob začetku se tako pri potrošniku kot pri proizvajalcu jekel pojavi kup vprašanj, ki jih je potrebno rešiti, če hočemo takšno tehnologijo zasnovati in jo uporabljati na domači surovinski bazi za normalno in rentabilno industrijsko proizvodnjo.

Med najpomembnejše faktorje tehnologije hladnega masivnega preoblikovanja jekel spada pravilna priprava in izbira jekel. Najprej so to jekla, ki jih želimo preoblikovati. Jekla morajo biti sposobna za velike plastične deformacije in med deformacijo nuditi čim manjši preoblikovalni odpor.

V drugo skupino spadajo jekla, iz katerih so izdelana orodja. Med procesom hladnega preoblikovanja so namreč orodja izredno močno obremenjena. Orodja morajo biti odporna proti obrabi, kajti od obrabe je zelo odvisna rentabilnost celotne tehnologije.

Iz stališča jekel za hladno preoblikovanje je za projektiranje preoblikovalnih procesov potrebno poznati:

— trdnostne lastnosti jekla pred hladnim preoblikovanjem,

— obnašanje jekla med hladnim preoblikovanjem,

— največjo možno deformacijo, pri kateri še ne pride do porušitve

### Krivulje plastičnosti

Krivulja plastičnosti je funkcijska povezava napetosti (deformacijske trdnosti  $k_t$ ), pri kateri material trajno spremeni obliko s pripadajočo plastično deformacijo. Ta napetost zaradi pojava utrjevanja narašča z naraščajočo deformacijo in s hitrostjo deformacije, pada pa z naraščanjem temperature. Ugotovimo jo lahko s pomočjo različ-

nih eksperimentov, edini pogoj pri tem pa je, da znamo opisati napetostna in deformacijska stanja, ki obstajajo v vsakem trenutku opazovanega eksperimenta.

Iz teorije plastičnosti je znano (1), da je deformacijska trdnost odvisna od kvadratične invariante komponent napetostnega deviatorja,

$$k_f = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (1)$$

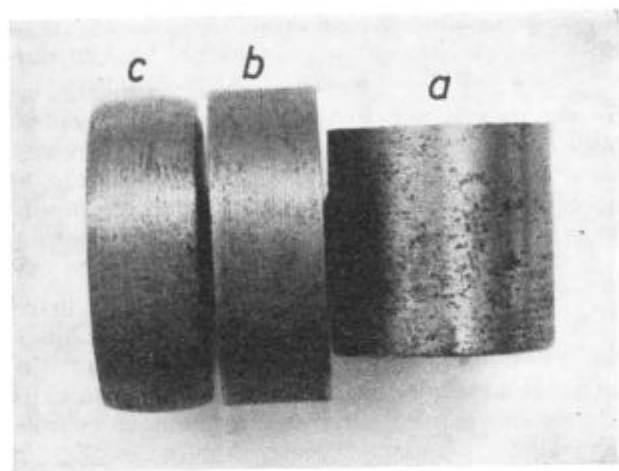
primerjalna deformacija pa od podobnih členov deformacijskega deviatorja;

$$\varphi_v = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\varphi_2 - \varphi_3)^2 + (\varphi_3 - \varphi_1)^2} \quad (2)$$

krivulja plastičnosti pa je torej

$$k_f = k_f(\varphi_v). \quad (3)$$

Med najenostavnejše preizkuse, iz katerih se da ugotoviti krivulja plastičnosti, spada vsekakor tlačni preizkus cilindričnih teles, vendar le ob pogojih zelo dobrega mazanja. Če je namreč trenje na kontaktnih ploskvah med orodjem in preizkušancem majhno, se cel preizkušanec enakomerno deformira (slika 1).



Slika 1

Preizkušanec pred nakrčevanjem (a), nakrčevan z uporabo teflonske folije (b) ter nakrčevan ob pogojih suhega trenja (c)

To se opazi po tem, ko preizkušanec med nakrčevanjem obdrži valjasto obliko in se torej ne izboči, kar po drugi strani (2) znatno olajša delo pri izvedenju eksperimenta.

Glede na navedena dejstva in z upoštevanjem osnovnih zakonov teorije plastičnosti (3), (4) je specifična obremenitev preizkušanca, deformacijski odpor  $k_{wm}$ , ki je podan kot:

$$k_{wm} = \frac{F}{A} \quad (\text{kp mm}^{-2}), \quad (4)$$

kjer je:  $F$  — sila nakrčevanja

$A$  — tlorisna ploskev preizkušanca, oziroma

$$k_{wm} = k_f(k_f, \text{ oblike}), \quad (5)$$

primerjalna deformacija pa

$$\varphi_v = \ln(h_0/h), \quad (6)$$

kjer je:  $h_0$  — začetna višina preizkušanca

$h$  — višina po stiskanju

Razmerje med srednjim deformacijskim odporom in deformacijsko trdnostjo je

$$\alpha = k_{wm} / k_f = f(\mu, \text{ oblike}). \quad (7)$$

V primeru idealnega mazanja je

$$\mu = 0, \alpha = 1, k_{wm} = k_f.$$

Za računanje koeficienta je (enačba 7) in z njim povezano računsko odpravo vpliva trenja je najprilnejša metoda po Unksovu (5):

$$k_w = k_f \cdot \left\{ \exp \left[ \frac{2\mu}{h} \left( \frac{d}{2} - r \right) \right] + \frac{1}{\mu\sqrt{3}} \left[ 1 + \frac{2\mu}{h} (r_1 - r) \right] + \frac{1}{\mu\sqrt{3}} \left[ 1 + \frac{2\mu}{h} (r_1 - h) + \frac{\mu}{h^2} (h^2 - r^2) \right] \right\} \quad (8)$$

Njegova srednja vrednost, ki je za vrednotenje tlačnega preizkusa najpomembnejša, pa je

$$k_{wm} = \frac{1}{A} \int_A k_w \, dA$$

in

$$\alpha = \frac{2}{\mu^2} \frac{1}{d^2} \left[ \frac{1}{\mu\sqrt{3}} \left( 1 + \mu \frac{d_1}{h} \right) - \left( 1 + \mu \frac{d}{h} \right) + \frac{1}{\mu\sqrt{3}} \frac{d_1^2}{d^2} \left[ \left( 1 + \frac{\mu}{3} \frac{d_1}{h} \right) - 4 \frac{h^2}{d_1^2} \left( 1 + \mu \frac{d_1}{h} - \frac{4\mu}{3} \right) \right] + \frac{4}{\mu\sqrt{3}} \frac{1}{d^2} \left[ 1 + \frac{2\mu}{h} \left( \frac{d_1}{2} - h \right) + \frac{\mu}{2} \right] \right], \quad (10)$$

$$r_1 = \frac{d}{2} + \frac{h}{2\mu} \ln \mu\sqrt{3}, \quad (11)$$

$r_1$  — radij, znotraj katerega se pojavi lepljenje preizkušanca na orodje.

Ker je srednja vrednost deformacijskega odpora znana veličina, lahko ob znani obliki preizkušanca ter poznanem koeficientu trenja med obdelovancem in orodjem iz gornje enačbe izračunamo deformacijsko trdnost.

### Merjenje koeficienta kontaktnega trenja

Pogoj za rešitev enačbe 10 je, da čim bolj natančno poznamo koeficient trenja. Ker je trenje zelo kompliciran pojav, je najugodnejše, če sta si preizkus za merjenje trenja ter proces, kjer hočemo analizirati torne pogoje, čim bolj podobna.

Zato je za vrednotenje trenja pri nakrčevanju zelo primeren preizkus, ki ga je v prikladno obliko razvil Burgdorf (6). Po njem nakrčujemo obročasti preizkušanec. Pri tem nastopajo maksimalne vred-

nosti za  $k_w$  na radiju  $r_k$ , ki leži nekje med zunanjim in notranjim radijem. (Pri nakrčevanju cilindričnih teles je  $r_k = 0$ ).

Za vsako področje tlačne ploskve, ki jih loči krog s polmerom  $r_k$ , je mogoče nastaviti enačbo za  $k_w$ , precej podobno enačbi 8. Na radiju nevtralnega kroga  $r_k$  pa morata biti oba deformacijska odpora enaka. Tako dobimo novo enačbo, iz katere pa izpade vpliv materiala, torej  $k_f$ . Po primerni predelavi dobimo izraz za  $\mu$ , ki je sedaj odvisen le od geometrijskih veličin preizkušanca. (Obroček se tem bolj razširi, čim manjši je koeficient trenja). To pa je izredna prednost metode, saj lahko meritve opravljamo na strojih brez registracije sile.

Kot je bilo že omenjeno, mora biti koeficient trenja pri tlačnem preizkusu čim manjši. Zato smo uporabljali le dve vrsti maziv, in to 0,1 mm debele teflonske folije ter Molykote G pasto (Dow Corning — München). Teflon daje sicer najugodnejše rezultate, toda ne prenese večjih deformacij kot  $\varphi_v \approx 0,2$ . Rob preizkušanca namreč med nakrčevanjem prestriže teflonsko folijo, zato pri večjih deformacijah mazanje ni dovolj kvalitetno.

Z ozirom na to, da smo morali preizkuse večkrat prekinjati in folije zamenjavati z novimi, so preizkusi počasi potekali, bili so diskontinuirni, izotermni in niso dajali vpliva hitrosti deformacije na deformacijsko trdnost.

Z Molykote G pasto smo lahko preizkus brez prekinitve opravljali do konca, nekoliko slabše mazanje pa se je pokazalo na rahlo izbočenem obodu preizkušanca.

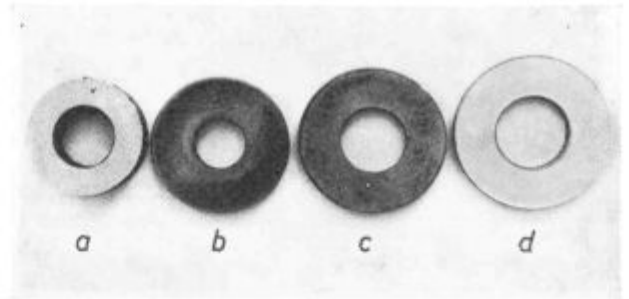
Tabela 1:

Način preizkusa	Mazivo	$\mu$
diskontinuirni	teflon	0,01 — 0,03
diskontinuirni	molyklote G	0,03 — 0,04
diskontinuirni	molyklote G	0,03 — 0,05
kontinuirni	brez — razmaščeno	0,12 — 0,15

V tabeli 1 so podane na opisani način ugotovljene vrednosti za koeficiente trenja ob različnih pogojih mazanja, za primerjavo pa so podani tudi podatki nakrčevanja ob pogojih suhega trenja, ko so bili orodje in preizkušanci razmaščeni (sliki 2 in 3).

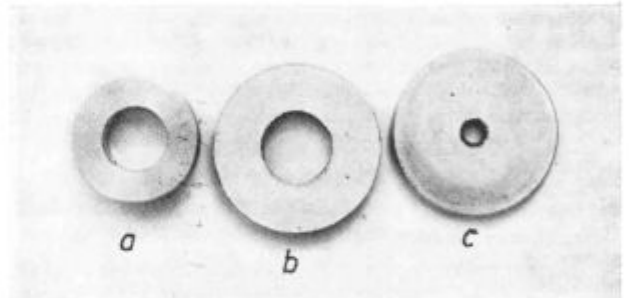
#### Izvedba tlačnega preizkusa

Za tlačne preizkuse smo izdelali posebno orodje (slika 4). Orodje ima vgrajen merilni element, kateremu se med nakrčevanjem merijo njegove elastične deformacije. Ker je bil element predhodno umerjen, je z njegovo elastično karakteristiko mogoče spremembam upornosti merskih lističev



Slika 2

Primeri obročastih preizkušancev iz C 4120 za merjenje koeficienta trenja pri diskontinuirnem nakrčevanju: a — začetni surovec, d — preizkušavec, mazan s teflonsko folijo, c — preizkušavec, mazan z Molykote G pasto, b — preizkušavec, nakrčevan ob pogojih suhega trenja.

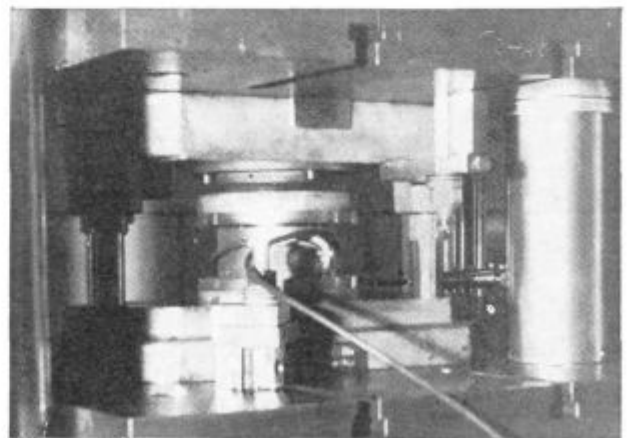


Slika 3

Primeri obročastih preizkušancev iz Al 99,5% za merjenje koeficienta trenja pri diskontinuirnem nakrčevanju: a — začetni surovec, b — preizkušavec, mazan s teflonsko folijo, c — preizkušavec, nakrčevan ob pogojih kuhega trenja

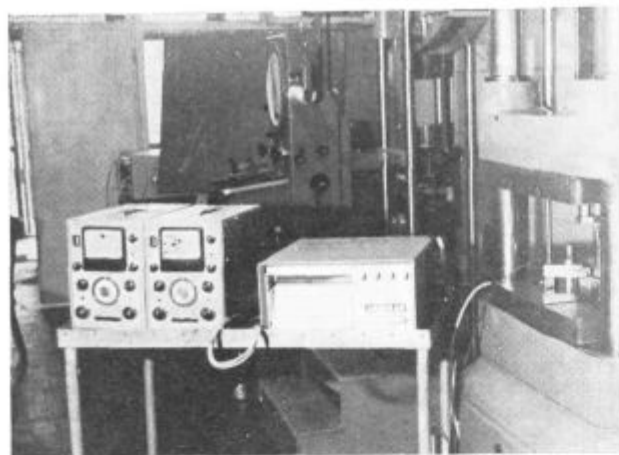
pridrediti silo, s katero je bil obremenjen. Poleg tega je na orodje priključen še induktivni dajalnik poti, ki električno meri spremembe višine preizkušanca.

Oba signala, za silo in pot, gresta potem preko ojačevalnika na registrirno napravo, ki ju beleži v odvisnosti od časa. Tako je mogoče s tem zapisom, z začetnimi podatki o preizkušancu ( $d_0$ ,  $h_0$ ) ter z iz-



Slika 4

Experimentalno orodje za tlačni preizkus (ob desnem delu orodja je induktivni dajalnik poti)



Slika 5

Hidravlična preša z vpetim orodjem za izvedbo kontinuirnega tlačnega preizkusa ter potrebna elektronska oprema za merjenje in zapis podatkov o sili, deformaciji in času (Laboratorij za preoblikovanje, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani).

merjenim koeficientom trenja izračunati deformacijsko trdnost, primerjalno deformacijo in hitrost deformacije (slika 5).

Zaradi relativno obsežnega računanja ter možnih napak pri meritvah je potrebno, da se krivulja plastičnosti ugotovi s statističnimi metodami.

Kot je znano, se lahko krivulja plastičnosti aproksimira s potenčno funkcijo, tako da je

$$k_f = k_{fo} \varphi_v^n, \quad (\text{kp mm}^{-2}), \quad (12)$$

kjer je

$n$  — eksponent utrjevanja,

$k_{fo}$  — konstanta materiala

Navedena potenčna funkcija je zelo ugodna za statistično obdelavo, saj je v logaritmični obliki premica. To pa lahko poiščemo z znano metodo minimalnih kvadratov.

Da bi ugotovili pravilnost metode za teoretično odpravo vplivov trenja na deformacijsko trdnost, smo za isto vrsto jekla določili krivulje plastičnosti ob različnih pogojih mazanja.

Prav tako smo hoteli ugotoviti, kakšna je razlika med diskontinuirnim in kontinuirnim preizkusom. Ker pa smo nakrčevanje opravljali na klasičnem preizkuševalnem stroju, ki je relativno zelo počasen (največja dosežena hitrost deformacije je bila  $\varphi_{max} = 0,025 \text{ s}^{-1}$ ), nismo opazili večjih razlik (slika 6).

Pogoje, ki so bližje onim iz normalne industrijske prakse, dosegamo z nakrčevanjem na hidravlični preši. Čeprav je tudi ta stroj relativno počasen, se da s primerno izbiro velikosti preizkušancev dosežati hitrosti deformacije do  $\varphi_{max} = 0,200 \text{ s}^{-1}$ , kar pa vseeno še nima signifikantnega vpliva na potek krivulje plastičnosti. Zaradi velike sile, ki jo daje preša, pa lahko uporabljamo večje in za raziskave ugodnejše preizkušance ter dosegamo tudi ekstremno velike deformacije.

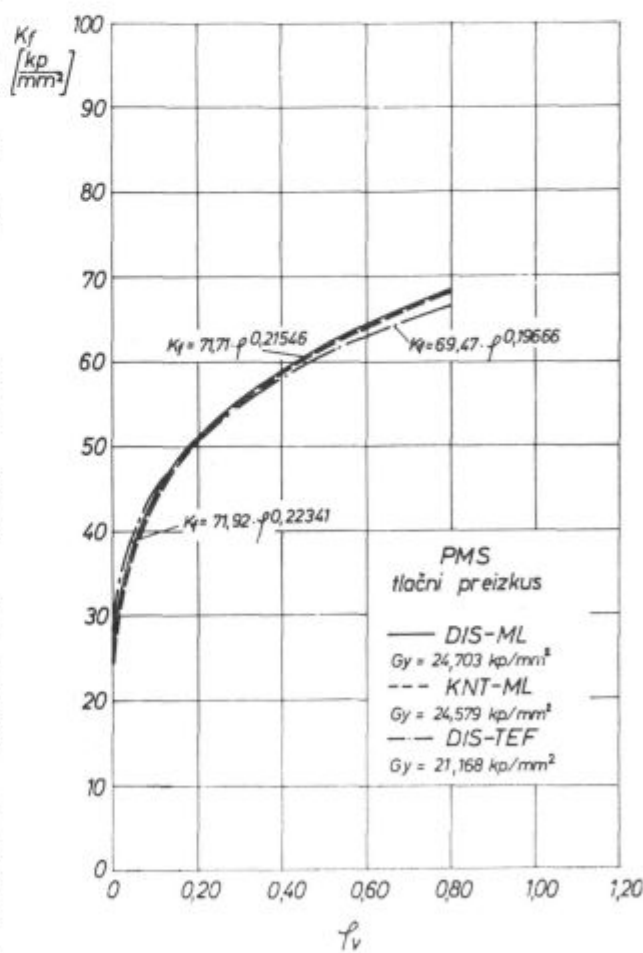
Za izbiro optimalnih strojev za preoblikovanje je potrebno, da poznamo največje sile in energije, ki jih ustrezni preoblikovalni proces zahteva. Sile se lahko izračunajo s pomočjo krivulj plastičnosti, ker je deformacijska trdnost idealna specifična preoblikovalna sila, realno pa dobimo, če še upoštevamo vplive trenja in geometrije preoblikovalnega procesa. Večkrat (npr. pri valjanju trakov) je potrebno poznati tudi povprečno deformacijsko trdnost  $k_{fm}$  krivulje plastičnosti v intervalu med  $\varphi_1$  in  $\varphi_2$ . Za računanje potrebne preoblikovalne energije pa rabimo specifično deformacijsko delo. Obe vrednosti dobimo iz krivulje plastičnosti, kot

$$a = \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} k_f d\varphi \quad (13)$$

in

$$k_{fm} = \frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1} \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} k_f d\varphi \quad (14)$$

Če upoštevamo dejstvo, da lahko eksperimentalno ugotovljeno krivuljo plastičnosti aproksimi-



Slika 6

Krivulje plastičnosti pri treh različnih načinih preizkušanja: DIS — diskontinuirni, KNT — kontinuirni, ML — mazanje z Molykote pasto, TEF — mazanje s teflonskimi folijami.

ramo s potenčno funkcijo, lahko izraza 13 in 14 zapišemo kot

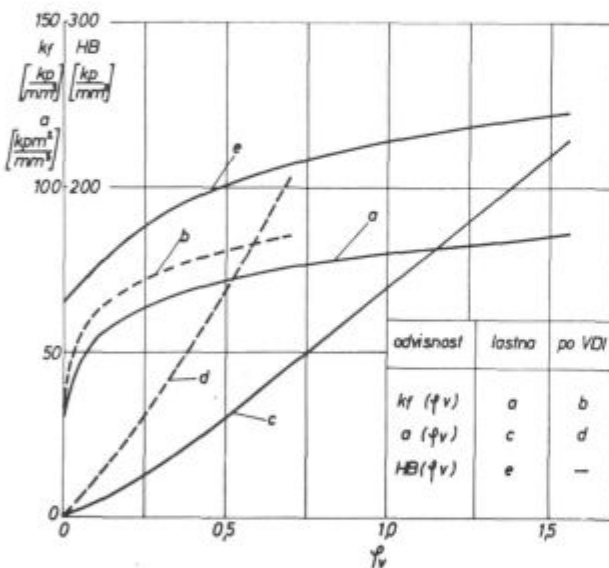
$$a = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} k_{f_0} \varphi^h d\varphi = \frac{k_{f_0}}{h+1} (\varphi_2^{h+1} - \varphi_1^{h+1}) = a_2 - a_1 \quad (15)$$

$$k_{f_{im}} = \frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1} \cdot \frac{k_{f_0}}{h+1} (\varphi_2^{h+1} - \varphi_1^{h+1}) = \frac{a_2 - a_1}{\varphi_2 - \varphi_1} \quad (16)$$

Iz tega se vidi, da obe vrednosti lahko ugotovimo, če imamo podano krivuljo plastičnosti in krivuljo specifičnega deformacijskega dela.

Za praktično uporabo je še primerneje, če so odvisnosti  $k_f(\varphi_v)$  in  $a(\varphi_v)$  grafično podane. Med prvimi so jih objavili v Zvezni republiki Nemčiji (VDI leta 1954), pri nas pa to delo šele začinjamo.

Slika 7 prikazuje omenjene krivulje za naš material in ustrezen po VDI. Iz nje se vidi, da sta obe krivulji za naš material nižji, torej ugodnejši. Prav tako se njihove končujoče že pri vrednosti za  $\varphi_v = 0,7$ , naše pa pri  $\varphi_v = 1,56$ . Čeprav je ta defor-



Slika 7

Preoblikovalne lastnosti mehko žarjenega jekla. Č 4120 v primerjavi z nateznimi podatki po VDI 5 — 3200 (B 2).

Tabela 2

Karakteristične vrednosti krivulj plastičnosti

Jeklo	Stanje	Lastni podatki			po VDI (7)		
		$\sigma_v$	$k_{f_0}$	n	$\sigma_v$	$k_{f_0}$	n
Č 1120	mehko žarjeno	24,5	69,5	0,200	28,0	74,8	0,214
Č 1120	normalizirano	27,0	72,2	0,203	25,0	74,0	0,230
Č 4320	mehko žarjeno	44,9	91,4	0,159	35,0	89,0	0,185
Č 4320	normalizirano	36,0	95,0	0,172	34,0	96,2	0,180
Č 1530	mehko žarjeno	31,7	104,1	0,195	36,8	93,5	0,180
Č 1530	normalizirano	34,7	113,0	0,201	—	—	—

macija že zelo velika, višina preizkušanca se je zmanjšala za 425 %, pri preizkušancih še nismo opazili nobenih razpok.

V sliko 7 smo prav tako vrisali še krivuljo za odvisnost trdote od deformacije. To je zelo zanimiv podatek in z njegovo pomočjo lahko pri preoblikovanju dražje materiale nadomestimo s cenejšimi, ker pri pravilnem izbiranju zaporedij deformacij in mehkega žarjenja lahko v končni fazi dosežemo željeno trdoto in trdnost.

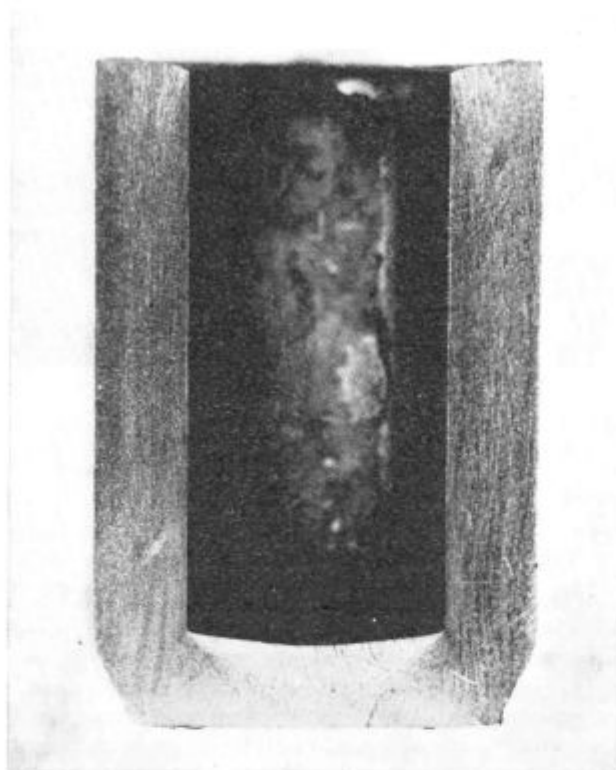
Da se tudi drugi naši materiali lepo ujemajo z ustreznimi po VDI, se vidi iz tabele 2, kjer je prikazano nekaj rezultatov naših že dokaj obširnih raziskav. Iz njih smo prišli do zaključka (kar se je v praksi tudi potrdilo), da so preoblikovalne lastnosti naših domačih jekel popolnoma enakovredne tujim, toda le, če jih pravilno pripravimo.

### Tehnološki preizkus

Materiale, katerih krivulje plastičnosti in dosežene največje trajne deformacije pri tlačnem preizkusu so ustrezale našim zahtevam, smo še tehnološko preizkusili. V ta namen smo uporabili orodje za protismerno prešanje jekel v hladnem stanju (izdelano za raziskovalni projekt, ki ga je na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani naročila Kovaška industrija Zreče), kjer se obdelovanec močno deformira (slika 8). Tako je deformacija prerezov  $\varphi_A = \ln(A_0/A_1) = 0,44$ , naravni logaritem razmerja višine surovca proti debelini dna pa 1,55. Ker so take deformacije že na zgornjih dopustnih mejah, lahko material, ki to prenese, smatramo za primerne za hladno masivno preoblikovanje.

Razumljivo je, da so bile površine preizkušancev pred prešanjem ustrezno pripravljene. Na njih smo opravili proces fosfatiranja, kot mazivo pa je služilo posebno milo, ki je s fosfatom kemično reagiralo.

V tabeli 3 so zbrani rezultati specifičnih obremenitev pestiča orodja, iz katerih lahko ob enakih zunanjih pogojih sklepamo na vplive preoblikovalnega materiala. Kasnejše metalografske preiskave prešanih vzorcev so pokazale, da se nikjer še niso pojavile razpoke ali kakšni drugi znaki, ki bi kazali, da so preoblikovalne možnosti že bile izčrpane ali prekoračene.



Slika 8

Deformacijska vlakna (jedkano po Fry-u preizkušanca po protismernem prešnanju).

S tem pa se je odprla tudi možnost širše industrijske uporabe navedenih jekel za postopke velikih plastičnih deformacij v hladnem stanju, za katere nekaj zelo rentabilnih primerov prikazuje slika 9.

Tabela 3: Rezultati preizkusov protismernega prešanja mehko žarjenih jekel v hladnem

Material	specifična obremenitev trna — %
Č 1120	100 %
Č 1221	114
Č 4120	110
Č 4320	130
Č 1530	141

**Uporabnost raziskovalne metode v raziskovalnem delu pri osvajanju kvalitete jekel**

Sestavni del osvajanja tehnologije masivnega preoblikovanja v hladnem mora biti tudi raziskovalno delo na področju osvajanja materialov za hladno preoblikovanje. Praksa je pokazala, da je popolnoma zgrešeno mišljenje, da se lahko ustvari pričakovani dobiček že z uporabo poceni materialov. Ekonomske prednosti oblikovanja kovin s hladnim preoblikovanjem pred odrezovanjem so zasnovane predvsem na visokem izkoristku jekla. Prednosti hladnega preoblikovanja, ki izhajajo iz utrditve jekla med hladno deformacijo, so lahko

precejšnje, vendar pa kvalitetna legirana jekla za poboljšanje lahko nadomestijo samo visoko kvalitetna ogljikova jekla, posebno prirejena za hladno preoblikovanje, ne pa navadna ogljikova jekla.

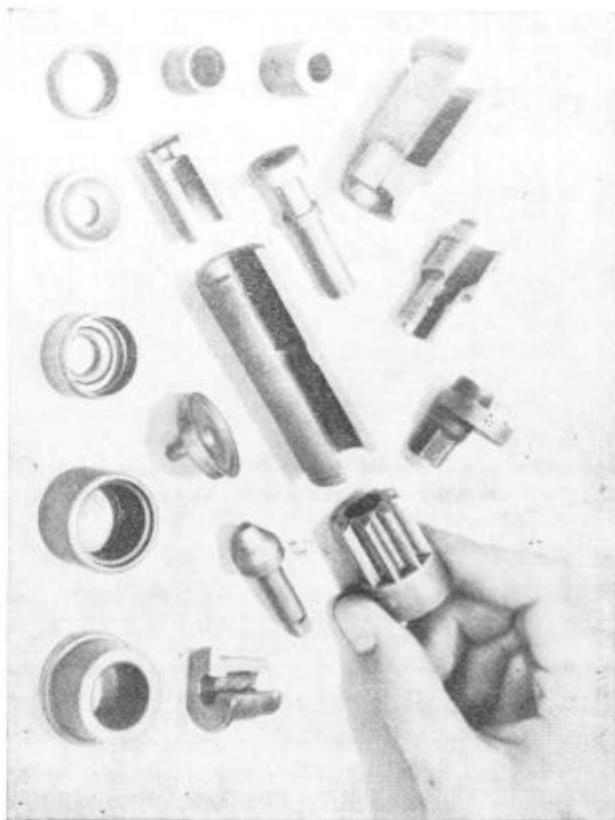
Lastnosti, ki jih mora imeti jeklo, namenjeno za preoblikovanje v hladnem, so pogojene z naslednjimi zahtevami procesa:

- nizko specifično obremenitev orodja
- velike deformacije brez mikro ali makro razpok
- nizko obrabo orodja
- zahtevane mehanske lastnosti jekla po hladnem preoblikovanju
- določena obdelovalnost po preoblikovanju.

Da bi zadovoljili postavljenim zahtevam, so mnogi proizvajalci jekel v svetu v te namene razvili specialne vrste jekel, ki so posebno primerna za plastično preoblikovanje v hladnem (Cold-forming grades steels) (8) (9)

Značilnosti teh jekel so:

- nizka trdnost in trdota
- visoka duktilnost
- nizek koeficient utrjevanja med deformacijo v hladnem
- dobra kaljivost (če je to potrebno)



Slika 9

Tipični hladno prešani izdelki za potrebe avtomobilске industrije (Kayser — National, Nürnberg, ZRN)

— visoka čistoča jekel v pogledu nemetalnih vključkov (majhni, krogličasti in enakomerno porazdeljeni)

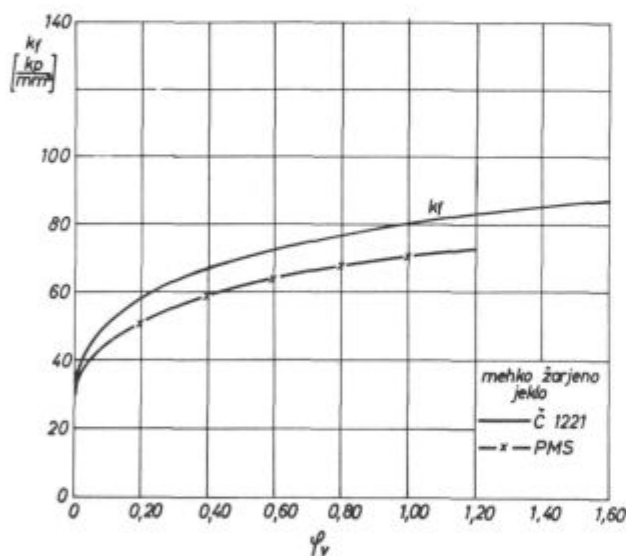
— homogenost jekla po preseku, brez lokalnih segregacij, da se prepreči razpokljivost v sredini

— visoka kvaliteta površine palic

Za hladno preoblikovanje so najbolj primerna mehka jekla z nizko vsebnostjo Si, za visoko trdne dele pa so bila razvita ogljikova in legirana jekla z dodatkom B. Velik napredek je bil dosežen tudi pri osvajanju dobro preoblikovalnih nerjavnih jeklih, ki so sicer neprimerna za plastično preoblikovanje v hladnem.

Raziskovalno delo na področju osvajanja kvalitetnih paličnih jekel za preoblikovanje v hladnem je v ZPSZ — Železarna Jesenice šele na začetku. Delo poteka v tesnem sodelovanju z raziskovalci iz predelovalne industrije ter Fakulteto za strojništvo v Ljubljani. Navajamo nekaj primerov iz raziskovalnega dela, kjer smo za študij posameznih metalurških vplivov na preoblikovalnost jekel uporabili opisano preiskovalno metodo.

1. Osvajanje kvalitete nizkoogljičnega nelegiranega jekla z optimizacijo kemične sestave jekla

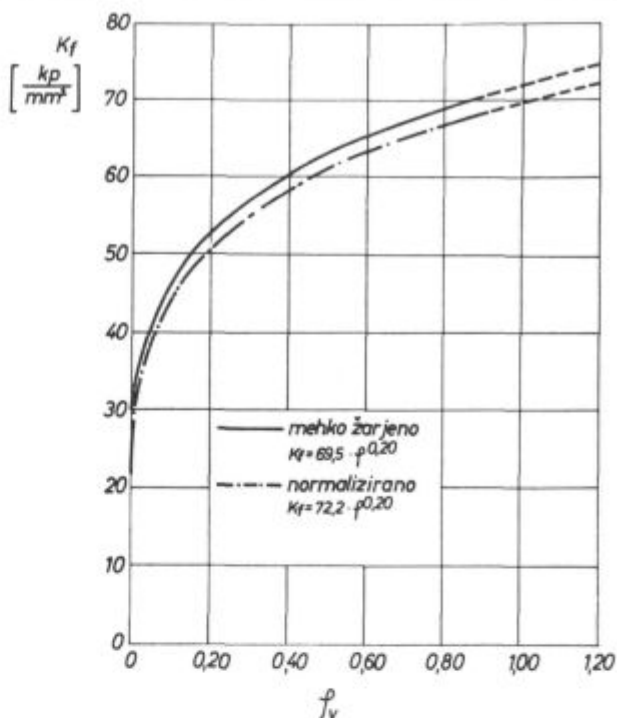


Slika 10  
Krivulje plastičnosti za jekla Č 1120 in PMS.

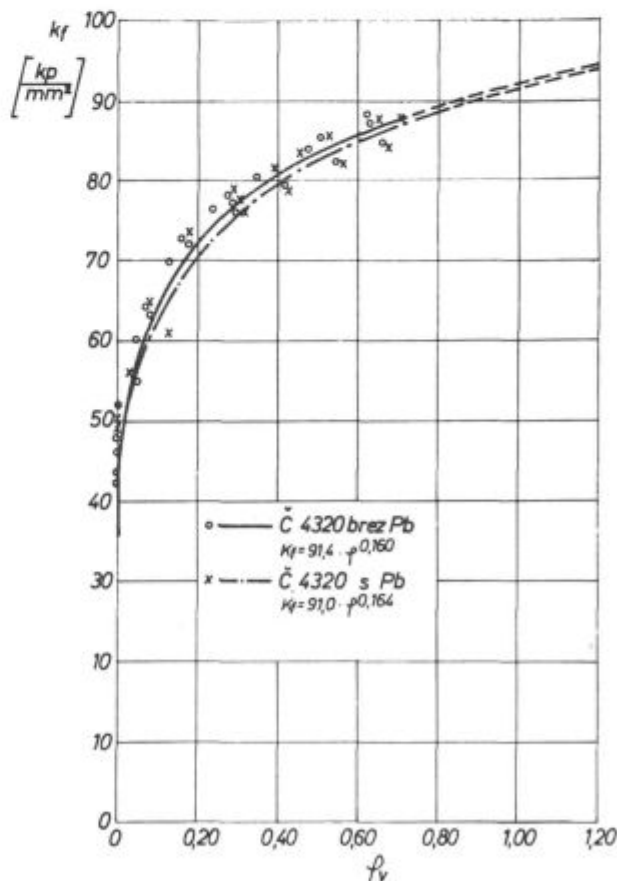
Jeklo PMS je izdelano brez dodatka Si. Dezoksidacija na bazi Al, kar rezultira tudi v večji čistoči jekla ter za preoblikovalnost ugodni morfologiji nemetalnih vključkov.

2. Vpliv toplotne obdelave na preoblikovalnost nelegiranega ogljikovega jekla Č 1120

Oblika mikro strukture ne vpliva na plastičnost jekla Č 1120 (10). Za proizvajalce jekla je to pomemben rezultat, ker je normalizacija jekla po hladnem vlečenju s stališča velikosti in enakomernosti kristalnih zrn ugodnejša kakor mehko žarjenje, kjer lahko pride tudi do rasti zrn pri kritični deformaciji zaradi hladnega vlečenja.



Slika 11  
Krivulje plastičnosti jekla Č 1120 v mehko žarjenem — normaliziranem stanju



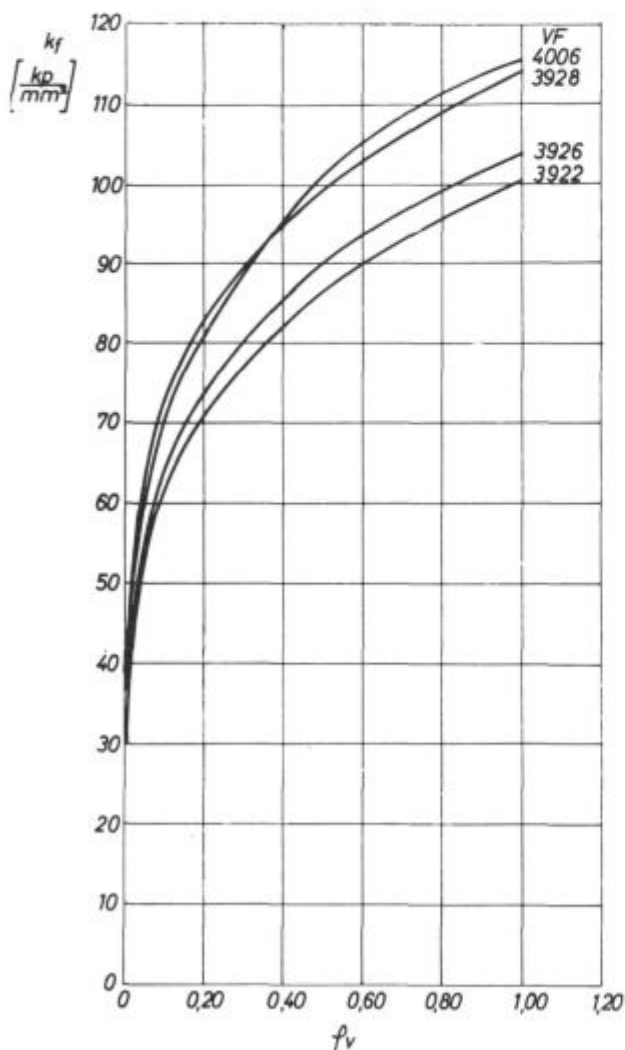
Slika 12  
Krivulja plastičnosti jekla Č 4320 z dodatkom in brez dodatka svınca — stanje mehko žarjeno



3. Vpliv dodatka svinca na sposobnost za preoblikovanje nizko legiranega jekla za cementacijo vrste Č 4320.

Dobra obdelovalnost jekla po hladnem preoblikovanju je lahko ena od zahtev, ki jih postavljamo jeklu za preoblikovanje. Rezultati preiskav nam kažejo, da dodatek svinca, ki sicer močno poboljša obdelovalnost, nima pomembnega vpliva na preoblikovalnost jekla (10).

4. V raziskovalnem delu Železarne Jesenice zavzema osvajanje jekel za navadne in kvalitetne vijake zelo pomemben delež. Tehnologija izdelave vijakov s plastičnim preoblikovanjem v hladnem je dobro utečena v vrsti naših podjetij predelovalne industrije. Delo na tem področju je zelo kompleksno, saj je treba rešiti veliko neznank, ki zadevajo kemično sestavo jekel, vpliv spremljajočih elementov, oblike mikro strukture itd. Četudi sicer obsežno raziskovalno delo še ni dalo dokončnih rezultatov, pa se tudi pri tem delu lahko uspešno poslužujemo opisanih metod preiskave plastičnosti



Slika 13

Krivulje plastičnosti za štiri eksperimentalne taline ogljikovega jekla za kvalitetne vijake Cq 45.

jekel. V tabeli 4 in sl. 13 sta prikazana karakteristična primera vpliva metalurških faktorjev na sposobnost jekla Cq 45 na preoblikovalnost v hladnem. Plastičnost je v tem primeru izražena z izračunanimi vrednostmi za Kf in n.

Tabela 4

Plastičnost štirih laboratorijskih šarž ogljikovega jekla za kvalitetne vijake Cq 45.

St. šarže	$K_{10}$ kp/mm <sup>2</sup>	n	sferoid. %	vsebnost Cr %
VF 4006	105.0	0.1692	80	0.54
VF 3928	108.0	0.1715	80	0.60
VF 3922	92.0	0.1410	95	0.10
VF 2976	98.0	0.1710	95	0.08

Prikazan rezultat pomeni izhodišče za nadaljnje študije vpliva povišane vsebnosti Cr na doseženo stopnjo sferoidizacije in na plastičnost ogljikovih jekel za kvalitetne vijake. Zahtevana dobra prekaljivost jekel Cq 35 in Cq 45 v olju namreč zahteva povišano vsebnost Cr v jeklu.

## ZAKLJUČEK

Na Fakulteti za strojništvo — laboratorij za plastično preoblikovanje — je bila osvojena preizkovalna metoda za ocenjevanje plastičnosti jekel pri plastični deformaciji v hladnem. Pri tej metodi se meri odvisnost preoblikovalne sile od spremembe višin preizkušancev.

Iz tako dobljenih eksperimentalnih podatkov se potem analitično izračuna deformacijska trdnost Kf pri dani logaritmčni deformaciji v, grafična odvisnost med Kf in  $\varphi$  v predstavlja krivuljo plastičnosti preiskovane kovine.

Preizkus lahko izvedemo z diskontinuirnim ali kontinuirnim stiskanjem preizkušancev. Kontinuirni način omogoča tudi študij vpliva hitrosti deformacije na plastičnost kovin.

Raziskovalno delo je pokazalo, da so dobljeni rezultati uporabni za programiranje tehnologije masivnega preoblikovanja v industrijskem obsegu.

Velika selektivnost metode omogoča študij metalurških vplivov na plastičnost jekla in ostalih kovin in je kot taka zelo pomembna za osvajanje kvalitete in proizvodnje izdelave in predelave ustreznih jekel, namenjenih za preoblikovanje s plastično deformacijo v hladnem.

S pomočjo opisane preiskovalne metode pripravljamo tudi katalog, v katerem bodo po zgledu VDI podane krivulje plastičnosti za domača jekla za plastično preoblikovanje.

## Literatura:

1. Thomsen, Yang, Kobayashi: Mechanics of Plastic Deformation in Metal Processing. Macmillan New York — London 1965
2. Kuzman, K.: Uporabnost tlačnega preizkusa za ugotavljanje nekaterih preoblikovalnih lastnosti jekel. VII Savj. proizv. maš. Novi Sad 1971
3. Čižman, V.: Aproximacije pri analitičnih obravnavaх tehničnih preoblikovalnih procesov kovin. Strojniški vestnik 17 (1971) št. 2, 43—48
4. Čižman, V.: Osnove teorije plastičnosti in preoblikovanja kovin. Univerzitetna založba Ljubljana 1972
5. Burgdorf, M.: Über die Ermittlung des Reißwertes für Verfahren der Massivumformung durch den Ringstauchversuch. Ind. — Anz. 89 (1967) Nr. 39 799—804
6. Unksov, E. P.: An Engineering Theory of Plasticity Butterworth London 1961
7. Fließkurven metallischer Werkstoffe: Grundlagen und Anwendung. Arbeitsblätter VDI 5-3200 und 3201. VDI —Verlag Düsseldorf 1957
8. D. J. Blickwede: Cold Extruding Steel Metal Progress — may 1970
9. D. F. Baxter: Cold Forging Steel Parts to Greater Advantage Part two Metal Progress, November 1972
10. B. Rudolf, Diplomatsko delo št. 1788 Fakulteta za strojništvo — Ljubljana

## ZUSAMMENFASSUNG

Der diskontinuierliche Stauchversuch gilt uns die Möglichkeit die Abhängigkeit der Umformungskraft von der Veränderung der Probenhöhe zu erhalten. Aus den so erhaltenen Daten wird dann die Vergleichsspannung bzw. die Formänderungsfestigkeit  $K_f$  in Abhängigkeit von dem logarithmischen Umformverhältnis  $\varphi_v$  ausgerechnet. Um eine homogene Umformung der Proben zu gewährleisten ist auf den Druckflächen den Einfluss der Reibung auszuschließen, wobei sich Teflon als Schmiermittel sehr gut bewährt hat.

Mit dem diskontinuierlichen Stauchversuch als Untersuchungsmethode für die Bestimmung der Kaltmassiv —

Umformungsfähigkeit der Stähle ist es einerseits möglich die Fähigkeit verschiedener Stahlsorten für die Kaltumformung und andererseits bei der bestimmten Stahlqualität den Einfluss der metallurgischen Faktoren zu studieren. Die erhaltenen Daten helfen uns die richtige Stahlqualität im richtigen Zustand für eine gewisse Applikation der Massivumformung zu wählen.

Die praktische Anwendung der Plastizitätskurven bei der Bewertung der Stahlqualität ist im Rückgangfließverfahren in einem Betriebsversuch überprüft worden.

## SUMMARY

Relationship between the yield stress and height reduction of the test piece is obtained by discontinuous compression test. From thus obtained data comparative stress and deformation strength  $k_f$  are calculated as a function of comparative logarithmic deformation  $\varphi_v$ . In order to obtain the most homogeneous deformation of test pieces the influence of friction on compression planes must be eliminated by use of teflon as lubricant which proved to be very convenient.

Use of discontinuous compression test as the investigation method for estimation of ability of steel for massive

cold working enables to estimate the ability of various steel types for cold working on one side, and to study the influence of metallurgical factors at certain steel qualities on the other side. Thus obtained data help a great deal in correct choice of steel quality and steel state for single application of working.

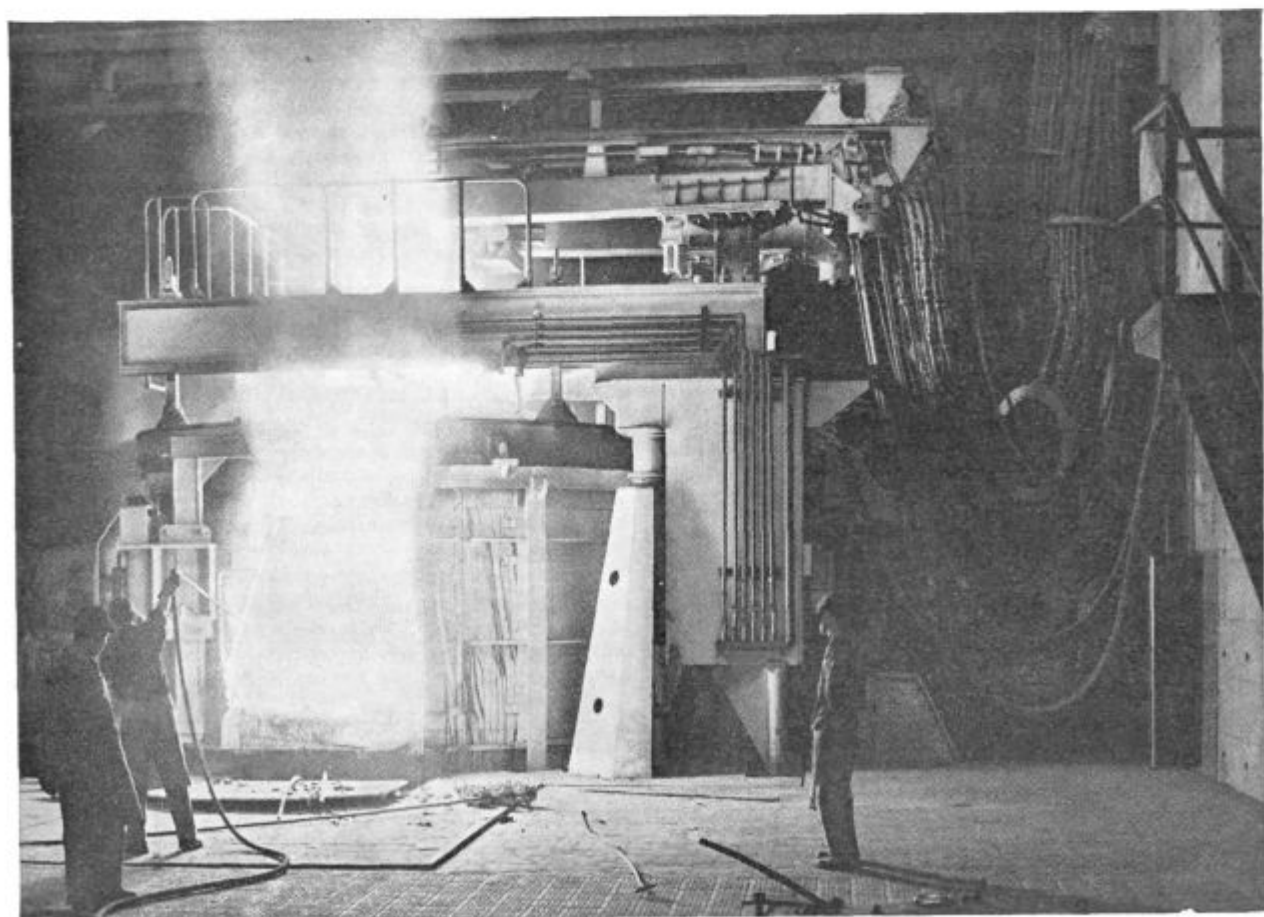
As practical confirmation for the use of plasticity curves in evaluation of steel qualities an actual technological test in form of countercurrent compression is presented.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При помощи прерывного испытания на жатие получаем зависимость между силой деформации и высотой пробного образца. Из полученных данных можно вычислить сравнительное напряжение, соотв., деформационную прочность  $K_f$  в зависимости от сравнительной логарифмической деформации  $\varphi_v$ . Чтобы деформация образцов была чем более однородной, на плоскостях жатия надо изолировать влияние трения, для чего успешно применяется смазочное средство тefлон. Применением прерывного испытания на жатие как метода для исследования способности стали массивной деформации в холодном состоянии, дается возможность

оценить отдельные сорта стали что касается их способности к деформации в холодном состоянии, а также возможность на разных сортах стали изучать влияние разных на них действующих металлургических факторов. Результаты, получены таким образом, нам облегчают правильный выбор качества и состояния стали для определённого применения в холодной деформации.

В форме проточного жатия рассмотрен конкретный технологический опыт, как результат подтверждения возможности применения кривой пластичности для оценки качества стали.



Lectromelt električna peč v železarni Jesenice

## Študija možnosti uvajanja procesnih računalnikov na elektroobložne peči

V članku je opisan sistem računalniškega vodenja elektroobložne peči. Prikazana je zgradba sistema in vodenje posameznih tehnoloških faz z navedbo glavnih koristi in izboljšav, ki jih lahko pričakujemo od računalniško vodene in kontrolirane elektroobložne peči.

### UVOD

Ko so se v Železarni Ravne odločili, da pričnejo študirati možnosti uvajanja procesnih računalnikov na elektroobložne peči, so prav gotovo imeli pred očmi podatke o množičnem uvajanju procesnih računalnikov v železarnah po svetu — tako na Zahodu kot na Vzhodu, kajti po najnovejših podatkih<sup>1</sup> vodi in kontrolira metalurške tehnološke procese že preko 1000 procesnih računalnikov.

Postavlja se vprašanje zakaj se pravzaprav tako širi uporaba procesnih računalnikov.

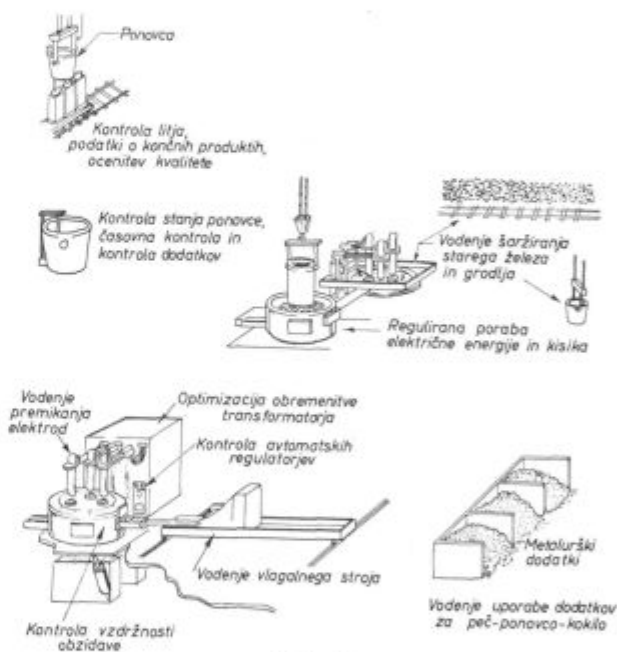
V glavnem je to posledica vse močnejšega stremljenja metalurgov za optimizacijo procesa. Glavne koristi, ki jih lahko pričakujemo od računalniško vodenega procesa v elektroobložni peči in ki jih peči, vodene s procesnimi računalniki tudi dejansko dosegajo, so obsežene v vodenju električnega režima, vodenju posameznih tehnoloških faz, pri kakovosti jekla itd.

V nekaterih podjetjih, ki uporabljajo procesne računalnike, so podrobneje analizirali koristi teh računalnikov<sup>2</sup> in rezultati so prikazani v tabeli 1.

Tabela 1 — Koristi od uporabe procesnih računalnikov

Država	Število anketiranih	Enakost proizvodnje	Izboljšanje kakovosti	Učinkovito planiranje	Hitrejša menjava izdelkov
		%	%	%	%
ZDA	32	65,2	69,5	8,6	21,7
Japonska	14	100,0	87,5	71,4	42,8
Evropa	24	46,1	42,3	46,1	26,9
Argentina	2	33,3	33,3	100,0	33,3
Mehika	3	50,0	50,0	50,0	—
Kanada	6	50,0	25,0	—	25,0
	81	58,5	52,8	32,8	25,7

Možnih je več načinov računalniškega vodenja oziroma kontroliranja tehnološkega postopka. Pri najprimitivnejših sistemih je računalnik uporabljen le kot zbiralec podatkov, pri najpopolnejšem sistemu, imenovanem »close-loop« sistem, pa računalnik dejansko vodi in kontrolira celoten proces oziroma vse posamezne tehnološke faze, kar prikazuje slika 1<sup>3</sup>.



Slika 1  
 Prikaz uporabe procesnega računalnika pri delu elektroobložne peči

### ZGRADBA RAČUNALNIŠKEGA SISTEMA

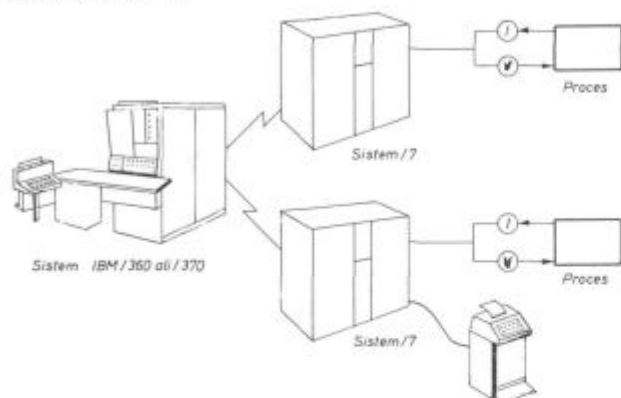
Sistem računalniškega vodenja je sestavljen iz »hardware« in »software« opreme.

#### »Hardware« elementi

Najvažnejša »hardware« elementa sta elektroobložna peč in digitalni računalnik. Ta je lahko poseben procesni ali pa navadni računalnik. Od vrste uporabljenega računalnika zavisi stopnja dovršenosti računalniškega vodenja procesa, kajti z navadnim digitalnim računalnikom lahko s pomočjo terminalov kontroliramo le nekatere tehnološke

faze postopka. Ne moremo voditi električnih parametrov in nimamo možnosti, da z različnimi instrumenti konstantno obveščamo računalnik o stanju procesa. Vse te pomanjkljivosti odpadejo, če vodimo proces s pravim procesnim računalnikom.

Procesne računalnike izdelujejo številna podjetja na svetu kot Siemens, AEG, World Systems Laboratories, Control Data Corporation, IBM in druga. Večina procesnih računalnikov teh firm deluje samostojno. Procesni računalnik firme IBM z oznako IBM/sistem 7 pa deluje lahko samostojno ali kot satelitni računalnik nekega velikega centralnega digitalnega računalnika, kar je prikazano v sliki 2.

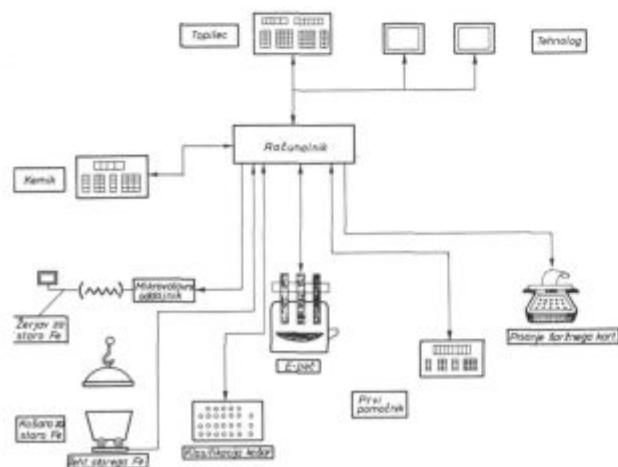


Slika 2

**Povezava procesnega računalnika IBM sistem 7 s centralnim računalnikom**

Prednosti take povezave so precejšnje<sup>4</sup>. Lahko namreč direktno koristimo podatke iz velikega računalnika, na katerem je programiranje bistveno lažje kot na procesnem računalniku. Procesni računalnik pa posebno v začetku uporabimo le kot zbiralec podatkov za veliki računalnik in nato sčasoma prenašamo posamezne programe iz velikega na procesni računalnik.

Med »hardware« opremo štejemo tudi razne konzole in dodatno opremo — n. pr. terminal v kemičnem laboratoriju. Sistem povezave teh elementov z računalnikom in pečjo je prikazan<sup>5</sup> na sliki 3.



Slika 3

**Sistem povezave elementov računalniško vodenega procesa**

Shematsko prikazane konzole so zato, da preko njih računalnik obvešča posadko o stanju peči in o potrebnih posegih v delo peči in da v obratni smeri posadka preko gumbov in stikal na konzolah obvešča računalnik o željeni kvaliteti jekla, o številu založenih košar ...

Preko printerja nam računalnik zapisuje ves potek postopka z zaznambo vseh operacij, zastojev, prekinitev itd., kar po podatkih iz literature zelo poveča disciplino pri delu.

### »Software« elementi

Pod imenom »software« oprema razumemo potrebne programe za računalnik. Program je vrsta navodil, ki vodijo računalnik in se normalno vnaša v računalniški sistem v obliki luknjastih kartic ali luknjane traku.

Potrebni so tako imenovani aplikacijski programi, ki jih mora narediti vsaka jeklarna zase, ali pa je kupljene programe potrebno prirediti lastnemu proizvodnemu programu in potrebam.

Izdelava takega programa gre po naslednjih stopnjah:

1. podrobno analizirani in urejeni podatki o toplotnih režimih posameznih šarž, o delovnih karakteristikah peči, o tehnoloških parametrih;
2. standardizacija določene delovne prakse za vse vrste izdelkov;
3. zbiranje podrobnih podatkov o ceni starega železa, grodlja, elektrod, ognjeodpornih materialov, kisika, sestavin žlindre, dodatkov za legiranje;
4. matematične, statične in ekonomske analize vseh tipov zgornjih podatkov in določitev ključnih odvisnosti med spremenljivkami (npr. zveza med količinami potrebnega vpihanega kisika in ogljikom), narast temperature jekla med pihanjem kisika, odvisnost hitrosti taljenja starega železa od električnih parametrov;
5. aplikacija fizikalnih, kemičnih in termodinamičnih zakonov, da se potrdi in po potrebi dopolni empirične odvisnosti;
6. formulacija matematičnega modela, ki temelji na ugotovljenih ključnih odvisnostih;
7. izdelava aplikacijskega programa, ki temelji na združitvi matematičnega modela in standardiziranega tehnološkega postopka
8. testiranje aplikacijskega programa.

Da pa računalnik programe pravilno in optimalno koristi, so potrebni točni in pogostni vhodni podatki, ki jih dobimo le s številno in precizno merilno tehniko.

### Podatki za delovanje računalnika

Signale, ki prihajajo ali odhajajo iz računalnika, razdelimo na analogne in digitalne vhodne in izhodne signale.

**Analogni signal** je v obliki električne napetosti ali toka, ki lahko predstavlja različne fizikalne veli-

čine kot temperaturo, pritisk itd. Velikost oziroma jakost signala pa mora biti proporcionalna spremeljivki, ki jo merimo.

**Digitalni signali** prihajajo občasno in zaznavajo spremembe kot npr. pričetek ali konec neke operacije, premik nekega dela agregata itd.

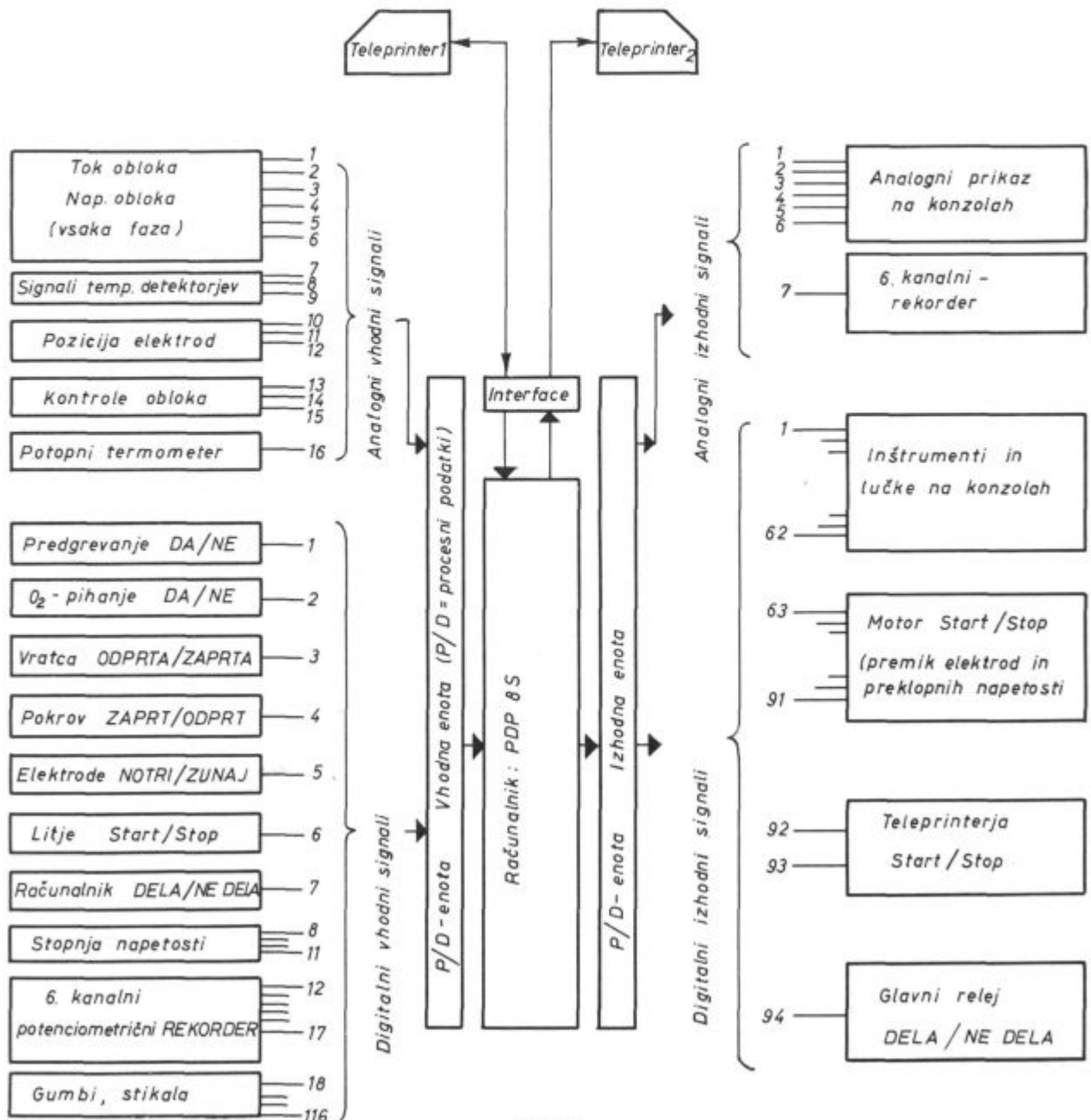
Ločimo štiri skupine merilnih količin, ki jih vodimo v računalnik:

1 — vhodni podatki za vodenje in kontroliranje električnega režima na peči: stopnja transformatorja (digitalno), napetost na elektrodah (analogno), tok elektrod (analogno), položaj tokovnega regulatorja (digitalno ali analogno), temperatura oboka in sten (analogno), položaj oboka (digitalno);

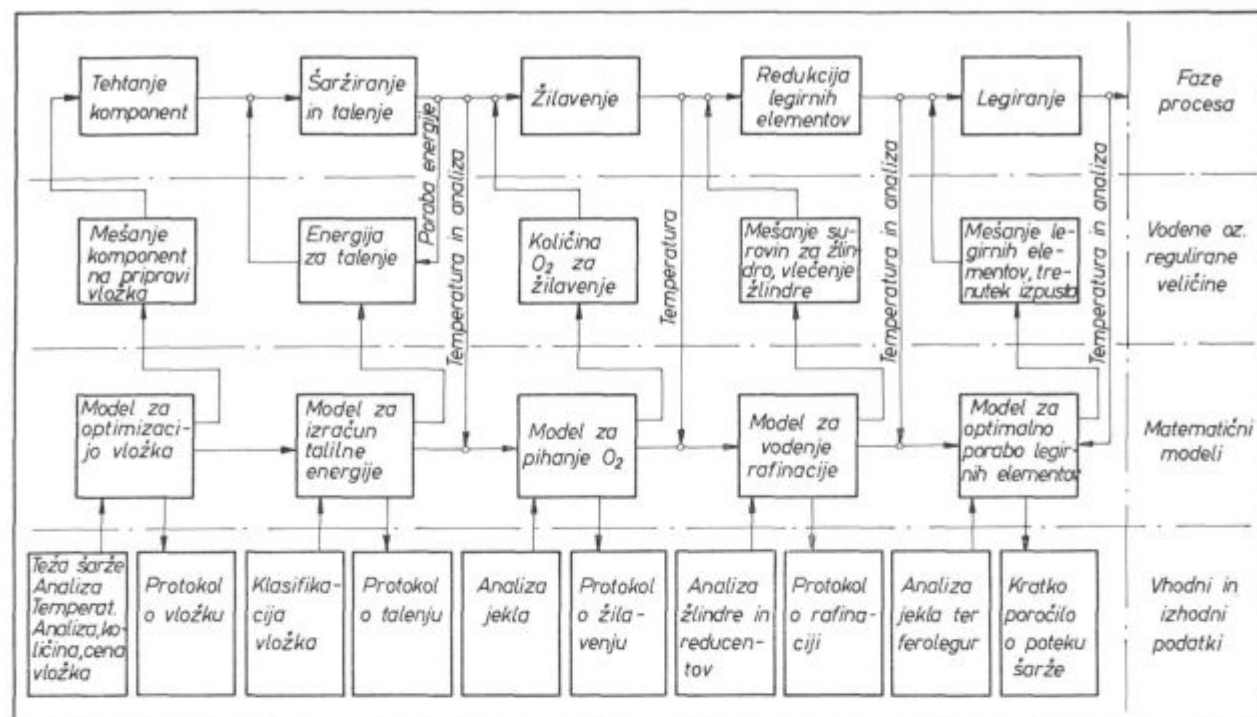
2 — meritve temperature jekla, pretokov, vpihanega kisika, podatki o tehtanju starega železa, ferolegur, dodatkov za žilindro itd.;

3 — vhodni podatki iz kemičnega laboratorija — hitra in točna kemična analiza elementov v jeklu je ena od osnovnih zahtev pravičnega in koristnega delovanja procesnih računalnikov. Najhitrejši in najpravičnejši rezultate dobimo, če je tudi kvantometer opremljen s procesnim računalnikom, ki je direktno zvezan z računalnikom na obločni peči;

4 — vhodni podatki o stanju raznih pomožnih operacij, kar zaznava računalnik preko gumbov in stikal, ki označujejo stanje posameznih delov, sklopov ali mehanizmov na peči ali na pripadajoči dodatni opremiti;



Slika 4  
Računalnik z vhodnimi in izhodnimi signali



Slika 5  
Povezava vodenja posameznih tehnoloških faz

Na sliki 4 so shematsko prikazani nekateri omenjeni vhodni in izhodni podatki<sup>6,7</sup>.

Na elektroobločni peči uporabljamo procesni računalnik za vodenje oziroma kontrolo posameznih tehnoloških faz ter za kontrolo in vodenje električnega režima v celotnem procesu. Povezava vodenja posameznih tehnoloških faz s prikazom potrebnih matematičnih modelov in podatkov za računanje s temi modeli, je razvidna iz slike 5<sup>8</sup>.

## KONTROLA IN VODENJE ELEKTRIČNEGA REŽIMA

**Električni režim** med obratovanjem obločne peči razdelimo vsaj v dve karakteristični obdobji: a) obdobje taljenja in b) obdobje raztaljenega vložka.

a) V času taljenja mora računalnik voditi obratovanje po vnaprej določenem programu: začetek taljenja z znižano napetostjo oziroma močjo, samo taljenje z maksimalno močjo loka in konec taljenja z močno reducirano močjo. Program taljenja mora biti voden kontinuirno.

b) Obratovanje pri raztaljenem vložku mora biti voden po povsem drugih kriterijih. Programiran mora biti proces z maksimalnim izkoristkom oziroma proces z minimalnim erozijskim indeksom.

Računalnik bo torej vodil obratovanje obločne peči tako, da bo po raztalitvi vložka znižal napetost in tudi lok na izračunane vrednosti.

Izrednega pomena pri vodenju električnega režima je tudi optimizacija obremenitve več obločnih peči istočasno. S procesnim računalnikom je moč doseči, da obratujejo posamezne obločne peči v odvisnosti ne samo od trenutnega stanja posamezne peči, temveč v odvisnosti od potečenega procesa v peči ter od predvidevanj obratovanja peči za prihodnje časovno obdobje. Mnogokrat nujno zmanjšanje obtežbe moči mora biti izvedeno na onem agregatu, kjer je upošteva prioriteten red — gošpodarska škoda najmanjša.

## OPTIMIZACIJA PRIPRAVE VLOŽKA IN PORABE FEROLEGUR

**Priprava vložka** za elektroobločno peč je operacija, kjer lahko s pomočjo linearnega programiranja in računalnika zelo veliko prihranimo. Linearno programiranje je matematična tehnika, ki omogoča optimalno razvrstitev parametrov v primerih, ko je možna različna razvrstitev le-teh. Za izvedbo takega programa optimizacije vložka mora vsak material imeti svojo kartico s ceno in težo vseh kontroliranih elementov, ki jih vsebuje. Pripravljene morajo biti tudi kartice o karakteristikah različnih kakovost jekel, kot npr. teže, oblika kakršnekoli povezave med komponentami v vložku in specifikacije, ki omogočajo uporabo posebnih materialov.

Program je namenjen doseganju najcenejše sestave vložka. Najprimernejša sestava bo povzročila, da bo kemična analiza dragih elementov blizu

spodnje predpisane meje, po drugi strani pa bo vsebnost cenениh elementov blizu zgornje predpisane meje. Zato lahko zožimo in premaknemo k spodnjim mejam predpisane vsebnosti dragih legirnih elementov.

Podobno lahko izračunavamo tudi optimalne količine ferozlitin,<sup>9</sup> vendar se izračun za dodatek ferozlitin loči od izračuna vložka v naslednjem:

— poznati je potrebno vrstni red dodajanja ferozlitin

— upoštevati je potrebno razne fizikalno-kemične reakcije in zakone

— v peči je že material, katerega kemično sestavo moramo poznati.

Zato je za konstrukcijo modela za izračunavanje dodatka ferozlitin potrebno poznati:

— kemično analizo in glavne lastnosti jekla

— količino izdelanega jekla

— količino, kemično analizo in ceno vseh ferozlitin

— praktične delovne parametre (npr. bazičnost žlindre).

Za izračunavanje programov s pomočjo linearnega programiranja ni nujno, da imamo procesne računalnike, ker lahko take programe rešujejo tudi navadni digitalni računalniki.

## VODENJE RAFINACIJE

**Vodenje rafinacije**, ki je za izdelavo jekla gotovo največjega pomena, je odvisno predvsem od pravičnega in obširnega programa za računalnik.

Iz tabele 2 je razvidno, kako poteka računalniško vodenje rafinacije<sup>10</sup>:

Tabela 2 — Potek rafinacije (podčrtani so odgovori talilca)

- 03/15 TEMP. KOPELI JE 1535 (°C)  
KONEC SARŽIRANJA IN TALENJA  
SKUPEN CAS 02.85 H, SKUPNO KWH  
028863
- 03/16 VZETI PROBO ZA OGLJIK, ŽVEPLO IN  
LEGIRNE ELEMENTE
- 03/18 **VZETA PROBA**
- 03/18 NASTAVITI MOČ NAP 04, TOK 080, ZA  
08 MIN
- 03/18 **MOČ NA NAP 04, TOK 81, 79, 80**
- 03/22 OGLJIK 035
- 03/26 IZRACUNANA TEMP. KOPELI JE 1550
- 03/26 IZKLOPITI MOČ  
PIHANJE KISIKA, 21.2 ENOTE  
ZA 10 MIN
- 03/26 **MOČ IZKLOPLJENA**
- 03/27 PRICETEK PIHANJA KISIKA
- 03/27 035C, 034S
- 03/27 024MN, 031CU, 002SI, 015NI, 005CR,  
002MO

- 03/28 013P, 000AL
- 03/28 KONEC ANALIZE
- 03/37 PREKINITI PIHANJE KISIKA
- 03/37 IZMERITI TEMP. IN VZETI PROBO  
V 05 MIN
- 03/37 NASTAVITI MOČ NAP. 04, TOK 075,  
ZA 05 MIN
- 03/38 **MOČ NA NAP. 04, TOK 76, 76, 75**
- 03/38 PIHANJE KISIKA KONCANO  
21.75 ENOT  
RAZLIKA KOLICINE KISIKA  
00.55 ENOT
- 03/44 IZKLOPITI MOČ  
VZETI PROBO ZA OGLJIK IN  
LEGIRNE ELEMENTE  
IZMERITI TEMPERATURO
- 03/45 **MOČ IZKLOPLJENA**
- 03/46 TEMP. KOPELI JE 1567
- 03/48 **VZETA PROBA**
- 03/48 NASTAVITI MOČ NAP 04, TOK 075,  
ZA 14 MIN
- 03/49 **MOČ NA NAP 04, TOK 76, 76, 75**
- 03/57 016C, 015MN, 002SI
- 03/57 KONEC ANALIZE
- 03/59 VSEBNOST MN, NE SE DODATI  
REG. MN 1495 — 0138 = 1357
- 04/02 IZKLOPITI MOČ  
VZETI PROBE ZA C, MN  
NASTAVITI MOČ NA ISTO NAP. IN TOK
- 04/02 **MOČ IZKLOPLJENA**
- 04/05 **MOČ NA NAP 04, TOK 76, 76, 75**
- 04/05 **VZETA PROBA**
- 04/11 IZRACUNANA TEMP KOPELI JE 1608
- 04/11 DODAJ MN V PEČ  
IZLITI PEČ 05 MIN PO DODATKU MN
- 04/11 IZKLOPITI PEČ
- 04/11 NASTAVITI MOČ NA NAP 06, TOK 055,  
ZA 05 MIN
- 04/13 **DODANO MN 1355**
- 04/14 **MOČ NA NAP 06, TOK 55, 52, 55**
- 04/15 014C, 015MN
- 04/16 NAOGLJICENJE V PONOVCI  
0015 ČISTEGA OGLJIKA
- 04/18 PRICNITE Z IZLIVANJEM PEČI
- 04/19 IZKLOPITI MOČ
- 04/19 PREBOD
- 04/22 KONCANO LITJE
- 04/22 SKUPNA PORABA KWH 032250
- 04/25 TEMPERATURA JEKLA V PONOVCI JE  
1588
- 04/48 PEČ PRIPRAVLJENA ZA PONOVRNO  
SARŽIRANJE



Ce je izmerjena temperatura v pravih mejah, zahteva računalnik, da se vzame proba za analizo jekla. Ko iz kemičnega laboratorija pride analiza, računalnik izračuna potrebno toploto in potrebno količino kisika za žilavenje. Na podlagi količine ogljika, ki naj zgori, se izračuna tudi predvidena temperatura ob koncu pihanja. Po pihanju ukaže računalnik, da se vzame nova proba, ki služi kot osnova za izračun dodatka ferozlitin, kar se zopet izračuna s pomočjo predhodno vloženi programov.

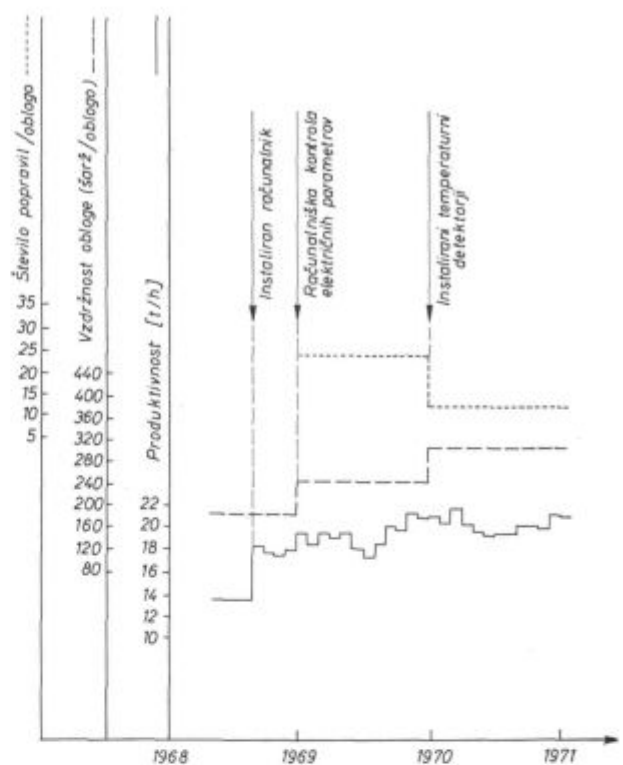
Prikazali smo kako računalnik vodi proces. Vsak dogodek se časovno beleži in vsak neplanirani zastoj ali napačno delovanje peči mora talilec oziroma posadka pojasniti, kar prispeva, kot smo že omenili, k večji disciplini pri delu.

### OCENA DELOVANJA RAČUNALNIŠKO VODENE ELEKTROOBLOČNE PEČI

Iz opisovanja delovanja že instaliranih procesnih računalnikov je razvidno, da se dosežejo naslednje koristi in izboljšave pri delu elektroobložne peči<sup>6, 10, 11, 12, 13</sup>:

- vodenje oziroma kontrola električnega režima
- koordiniranje obremenitve več peči
- izboljššan tok materiala
- izboljššana tehnologija
- manjša poraba ferolegur
- krajši čas od preboda do preboda in s tem večja storilnost
- boljša vzdržnost obloge
- večja kakovost izdelkov
- odlična in neodvisna kontrola dela peči in posadke
- večja disciplina pri delu
- lažje in pravilnejše planiranje proizvodnje
- možnost točne kontrole surovin za pripravo vložka.

V tabeli 3 in na sliki 6 je prikazana aplikacija procesnega računalnika na delo 50 t UHP peči v Železarni CHRISTIANIA SPIEGEVERK na Norveškem<sup>6</sup>, kjer so 1968 instalirali tak računalnik.



Slika 6  
Produktivnost peči in vzdržnost obloge pri računalniško vodeni elektroobložni peči

V ZDA so pri popolnem vodenju obložne peči z LECTROPACE računalniškim sistemom dosegli naslednje koristi<sup>13</sup>:

- porast produktivnosti do 15 %, kar znese skupno s prihrankom na elektrodah, na obzidavi itd. 1,50 do 2,25 \$/tono,
- optimalna poraba različnih surovin za pravilno sestavo vložka in dodajanje ferolegur prispeva do 1,90 \$/tono,
- pri kontroli in vodenju peči so dosegli prihranek do 0,75 \$/tono.

Skupna korist je torej od 1,50 do 6,0 \$/tono — kjer pa niso upoštevali koristi od izboljšane kvalitete, od zmanjšanja števila »škart« šarž in od izboljšane planiranja proizvodnje.

Tabela 3 — Prikaz delovanja računalniško vodene 50 t elektroobložne peči\*

	1968	1969	1970	1971
1. Skupna proizvodnja (t)	94.307	118.595	124.447	137.147
2. Produktivnost (t/h)	15,0	19,2	20,1	22,1
3. Vzdržnost sten peči	184	237	288	277,6
4. Vzdržnost oboka peči	89,4	90,9	98,2	102,0
5. Število popravil/oblogo	16,5	23,5	14,5	8,2
6. Zastoji zaradi popravil (h)	76,5	72,7	37,7	18,3
7. Skupni zastoji (% celotnega časa)	13,55	10,60	11,10	9,15

(\* interni podatki)

Zanimivo je sedaj primerjati stroške za nakup računalnika in opreme, s koristmi od njegove uporabe.

Računa se, da so stroški za računalnik z »hardware« opremo od 60.000 do 100.000 \$, cena »software« programske opreme pa je od 40.000 do 100.000 \$, kar zavisi od obširnosti programov in tudi od proizvajalcev.

Skupni stroški nabave kompletnega računalniškega sistema so torej med 100.000 in 200.000 \$.

Ce računamo s povprečno koristjo 3,0 \$/tono in z mesečno proizvodnjo 15.000 ton, bi prihranili 45.000 \$ mesečno.

Za vzdrževanje sistema porabimo do 10.000 \$ in čisti prihranek bi bil 35.000 \$ mesečno.

Glede na ceno računalniškega sistema bi nakup amortizirali v 3 do 6 mesecih. Vedeti pa je treba, da traja 3 do 5 let, da se doseže dovolj izpopolnjen sistem računalniškega vodenja, ki nam omogoča omenjene koristi.

#### Literatura:

1. N. N.: Entwicklung Konventionell instrumentierter und prozessrechnergesteuerter Systeme, Messen-Steuer-Regeln, Oktober 1971;

2. Shah R., A. M. Greene: World Steelmen Report on Use of Process Computer Control, IAMI, May 1970, 27—29;
3. Brosvic J. A.: Computer Control Systems for Reducing Operating Costs in Oxigen Steelmaking and Electric Arc Furnaces, Iron and Steel Engineer, September 1963, 153—163;
4. N. N.: Das IBM System 7, Posebna brošura;
5. Mulcahy J. A., G. H. Samuel: Lake Ontario Steel's Computer — Controlled Electric Arc Meltshop, Blast Furnace and Steel Plant, November 1970, 801—805;
6. Riddervold H. W., M. Mohagen, O. P. Thoresen: Computer controlled steel melting in a 50 tons electric arc furnace, Congres International sur le four électrique a arc en aciérie, Cannes (France), 7—9 juin 1971;
7. Shah R.: Steelmaking Automation Quickens, IAMI, May 1970, 30—32;
8. N. N.: Automatisierung des Lichtbogenofens, AEG 4416.633 E 455/0469
9. Schroeder D. L.: The Place of Time Sharing in Steelmaking Automation, Electric-Furnace Proceedings, 1970, Vol. 28, 142—149;
10. Weinheimer F. E.: The Computer in Electric Furnace Melting, Journal of Metals, April 1969, 69—76;
11. Gloven D. O.: Computer Control for Electric Furnace Steelmaking, Journal of Metals, December 1964, 963—966;
12. Stenhouse J. F.: Application of Digital Computer to the Control and Direction of an Electric Furnace Melt Shop, Iron and Steel Engineer, March 1971, 93—97;
13. World Systems Laboratories: The Lectropace System for Computer — Based Process Control — In — Electric Steel Making, Posebna brošura.

### ZUSAMMENFASSUNG

In Stahlwerken werden massenhaft Prozessrechner für die Führung und Kontrolle der Verfahrenstechnologie bei der Stahlerzeugung an Lichtbogenöfen eingeführt.

Das System der Führung über die Prozessrechner ist aus »hardware« und »software« Elementen zusammengestellt.

Unter die »hardware« Elemente zählen Lichtbogenöfen, der Prozessrechner und die Konsolen für die Verbindung der Behilfdienste mit dem Rechner am Ofen.

Unter die Programm oder »software« Ausstattung zählen die nötigen aplikativen Programme für das Wirken des Rechnersystems, dessen Wirksamkeit und Nützlichkeit stark von den Eingabedaten, welche den Rechner über den Prozesstand informieren, abhängig ist.

Diese Daten können in den Rechner in Form von analogen oder digitalen Signalen geraten.

Die Führung des gesamten Prozesses ist auf die Führung und Kontrolle der einzelnen Phasen im Prozess aufgeteilt:

1. Einsatzvorbereitung
2. Einsetzen und Schmelzen
3. Frischen
4. Rafinieren
5. Legieren

Für jede von diesen Phasen müssen mathematische Modelle ausgefertigt werden, welche zusammen den Grundskellet der rechnerischen Prozessführung bilden. Solche Modelle werden dauernd vervollkommen. In einem entwickelten Prozessrechnersystem für die Lichtbogenofenführung können wir folgende Nutzen erwarten:

- Steuerung und Kontrolle des elektrischen Regimes
- Koordinierung der Beanspruchung mehrerer Lichtbogenöfen
- Kleinerer Verbrauch der Ferolegierungen
- Kürzere Abstichzeiten
- Bessere Ofenhaltbarkeit
- Bessere Gleichmässigkeit und Qualität
- Bessere Arbeitsdisziplin
- Leichtere und regelrechte Produktionsplanung

### SUMMARY

Steelworks in the world introduce on a large scale the process computers for optimization and control of the technological process in steelmaking in electric arc furnaces. Computer control system is composed of hardware and software units. Electric arc furnaces, computer, and connection of the auxiliary services with the computer at the furnace are hardware units. Program or the software equipment are the needed application programs for operation of the computer system which success and usefulness are highly dependant on input signals which inform the computer about the process state. These data can come into the computer either in form of analog or digital signals.

Optimization of the whole process is divided in the optimization and control of single steps in the process:

1. charge preparation
2. charging and smelting
3. oxygen blowing
4. refining
5. alloying

Mathematical models must be prepared for each of the mentioned steps, and they form the basic skeleton of the computer operational process. Such models must be constantly improved and completed, and the following ad-

vantages can be expected from a developed computer system for optimization of an electric arc furnace:

- optimization and control of the electric economy
- coordination of simultaneous loading of a greater number of electric arc furnaces
- lower consumption of ferroalloys

- shorter time between the tappings
- longer life of lining
- greater equality and higher quality of production
- greater working discipline
- easier and more correct planing of production.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для управления и контроля металлургического процесса при производстве стали в электродуговой печи всюду в сталелитейных заводах начали вводить т. н. процессные вычислительные счётчики. Система управления счётчика состоит из элементов «hardware» и «software». К элементам «hardware» причисляем электродуговую печь, вычислительный счётчик и консоль служащая для связи вспомогательных служб с счётчиком который находится около эл-дуговой печи. Оборудывание элемента «software», т. е. программной службы необходимы аппликатные программы для правильного действия системы вычислительного счётчика, так как, понятно, что применение и успешное пользование вычислительного счётчика зависит от данных которые осведомляют счётчик о состоянии процесса.

Счётчик может принимать программные данные в форме аналоговых или цифровых сигналов.

Управление над совокупным процессом можно поразделить на управление и на контроль отдельных фаз, которые чередуются в процессе т. е.:

1. приготовление шихты
2. загрузка и плавление

3. фризевание
4. рафинирование
5. легирование

Для каждой от упомянутых фаз необходимо иметь приготовленные математические модели. Все, взятые вместе модели представляют основной скелет управления процессом при помощи вычислительного счётчика.

Такие модели постоянно усовершенствуют и от развитого вычислительного система управления электродуговой печью можно ожидать пользу в следующих фазах процесса производства:

- при управлении и контроле электрического режима,
- при координации загрузки работы нескольких печей одновременно,
- уменьшение расхода ферросплавов,
- сокращение времени между выпусками,
- улучшение выносливости футеровки,
- улучшения что касается равномерности и качества стали,
- повышение дисциплины работы, наконец и
- облегчение для правильного планирования производства.

## Vpliv aksialnih obremenitev na življenjsko dobo valjčnih ležajev

Pri proizvodnji strojev se v Železarni Ravne srečujemo z mnogimi tehnološkimi in konstrukcijskimi problemi. Stroji sestojijo iz množice strojnih delov. Naloga konstruktorjev in tehnologov je, da te dele med seboj uskladijo, da sestavljeni predstavljajo homogeno enoto, ki potem lahko obratujejo v najtežjih pogojih zanesljivo in točno.

Pri konstruiranju stiskalnic in drugih strojev se srečujemo s problemi vležajenja gredi. Ležaji morajo biti tako izbrani in dimenzionirani, da prenašajo sile obremenitev in da zdržijo predpisano življenjsko dobo.

Na sliki 1 je prikazano vležajenje glavne gredi stiskalnice DQ 500 s sklopko in zavoro. Izbrani so valjni ležaji. Pri vklapljanju in izklapljanju se pojavljajo precejšnje aksialne sile. Valjni ležaji te sile prenašajo, skrajša pa se jim življenjska doba.

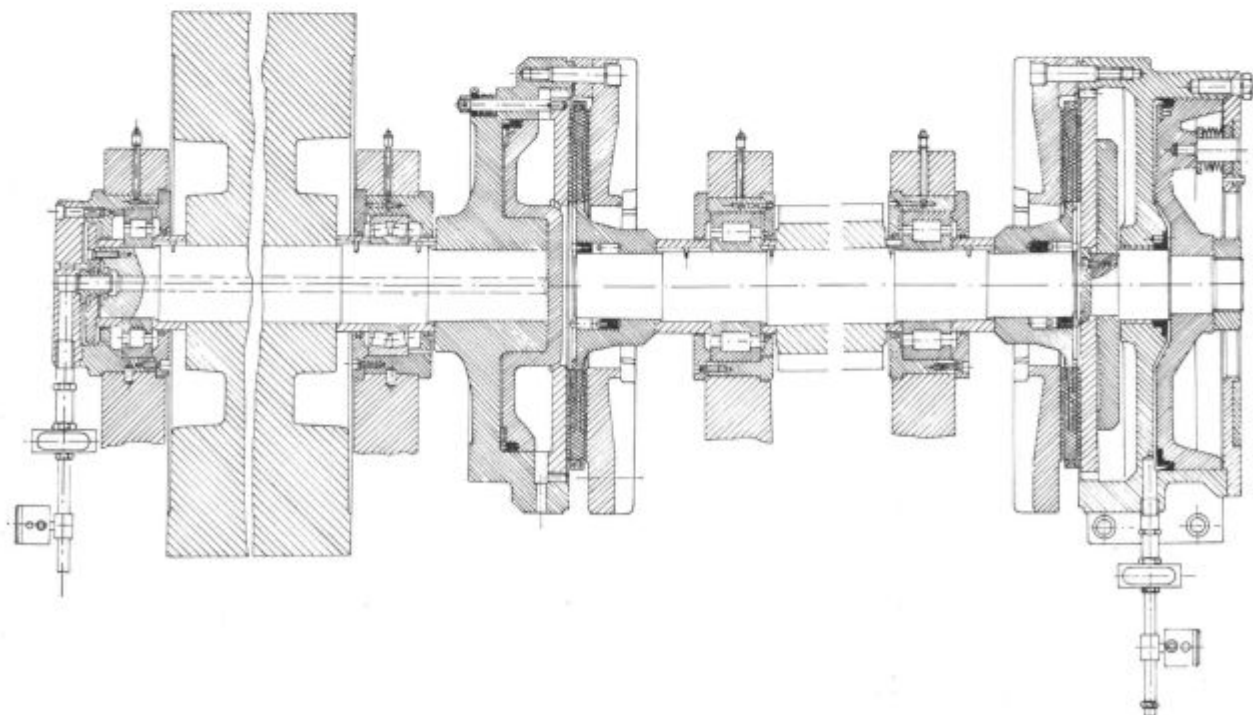
Da bi konstrukterji stiskalnic in podobnih strojev te vplive upoštevali, je v članku podana analiza problema.

### UVOD

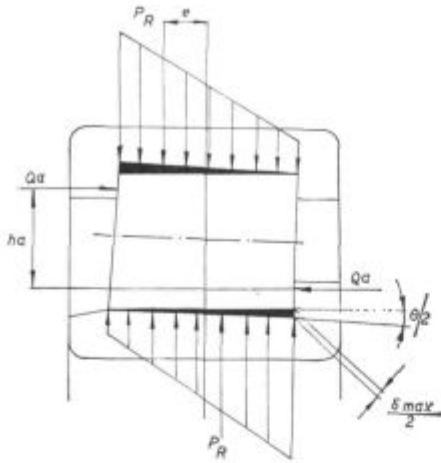
Valjni ležaji so namenjeni za prenašanje radialnih in tudi aksialnih sil. Aksialne obremenitve v določeni meri zmanjšajo življenjsko dobo ležaja, ter povzročajo določene premike in zasuke kotalnih elementov. Te obremenitve so drugačne kot pri čisti radialni sili. Pride do povečanja napetosti na posameznih delih kotalnih elementov, kar skrajša njihovo življenjsko dobo.

### Obremenitev posameznega kotalnega elementa

Sl. 2 prikazuje obremenitev valjčka pri aksialni obremenitvi valjnega kotalnega ležaja. Obroč ulovi aksialno obremenitev  $Q_a$ . Ta se preko ramen zunanega in notranjega obroča prenese na valjček. Med prijemališčema sil  $Q_a$  je razdalja  $h_a$ . Pojavi se moment dvojice sil  $M = Q_a \cdot h_a$ . Moment povzroči zasuk valjčka za kot  $\theta/2$ . Valjček se neenakomerno deformira na zunanjem premeru. Rezultat tega je neenakomerna obremenitev valjčka (sl. 2). Obremenitev površine valjčka lahko izrazimo s silo



Slika 1  
Vležajenje glavne gredi stiskalnice DQ 500.



Slika 2  
Obremenitev valjčka

$P_R$  delujočo v razdalji  $e$  od središča. Pojavi se dvojica sil v razdalji  $2e$ , ki da moment  $M = P_R \cdot 2e$ . Ta moment je enak momentu sil  $Q_a$ .

$$M = Q_a \cdot h_a = P_R \cdot 2e \tag{1}$$

Iz te enačbe vidimo, da je valjček pri čisti aksialni sili obremenjen tudi z radialno silo. Pritisk na površini aksialno obremenjenega valjčka lahko določimo iz zasuka valjčka. Če je  $\Theta/2$  kot zasuka,  $\delta_{max/2}$  največja deformacija na robu valjčka,  $l_{ef}$  efektivna dolžina valjčka, lahko tvorimo koeficient;

$$\Gamma = \frac{\Theta \cdot l_{ef}}{\delta_{max}} \tag{2}$$

Koeficient rabimo za prikaz zasuka valjčka. Če ima valjček površinski dotik po celi efektivni dolžini  $l_{ef}$  je koeficient med 0 in 1. V primeru delnega dotika je  $\Gamma > 1$ .

Zunanji premer valjčka je obremenjen z neenačkomernim pritiskom in je deformiran. Ekscentrično silo  $P_R$  lahko izrazimo z ekvivalentno dinamično silo  $P_{R ekv}$ . Sila  $P_{R ekv}$  deluje na središče valjčka. Silo  $P_{R ekv}$  izrazimo z brezdimenzijskim koeficientom zasuka.

Ločimo dva primera:

a) Valjček je obremenjen po celi dolžini  $l_{ef}$ :

$$\frac{P_{R ekv}}{C_\delta \cdot \delta_{max}^{1,08}} = \left[ \frac{1 - (1 - \Gamma)^{5,86}}{5,86 \Gamma} \right]^{\frac{2}{9}} \text{ za } 0 < \Gamma \leq 1 \tag{3}$$

b) Valjček je obremenjen samo na delu  $l_{ef}$ :

$$\frac{P_{R ekv}}{C_\delta \delta_{max}^{1,08}} = \left[ \frac{1}{5,86 \Gamma} \right]^{\frac{2}{9}} \text{ za } 1 \leq \Gamma < \infty \tag{4}$$

$C_\delta$  je vzmetna konstanta in se izračuna po enačbi:

$$C_\delta = 2680 \cdot l_{ef}^{0,92} \tag{5}$$

**Sile na ležaj**

Z enačbami 2, 3 in 4 smo določili ekvivalentno dinamično obremenitev  $P_{R ekv}$  za vsak valjček posebej. Poiskati moramo srednjo vrednost  $P_{m ekv}$  za vse valjčke v ležaju.

Določimo jo po enačbi:

$$P_{m ekv} = \left[ \frac{\sum_1^n P_{R ekv}^{10/3}}{Z} \right]^{\frac{3}{10}} \tag{6}$$

Ekvivalentna dinamična obremenitev  $P$ , s katero določamo življenjsko dobo ležaja je izražena z enačbo:

$$P = 0,4013 P_{m ekv} \cdot Z \tag{7}$$

S tem smo določili porazdelitev zunanje aksialne obremenitve  $F_a$  na vsak posamezen valjček ležaja.

**Prenašanje aksialne obremenitve**

Vzemimo, da je valjčni ležaj obremenjen samo z radialno obremenitvijo. Radialna sila  $F_r$  premakne notranji obroč radialno za  $\delta_r$  proti zunanjemu obroču. Pri tem so se elastično deformirali valjčki in tekalne površine. S premaknitvijo valjčka v smeri  $\varphi$  se spreminja njegova deformacija. Spreminjanje je izraženo z izrazom  $\delta_r \cos \varphi$ .

S pojavom aksialne obremenitve  $F_a$  se notranji obroč pomakne v aksialni smeri za  $\delta_a$  relativno na zunanji obroč. Posledica premika je zvrčanje valjčkov (sl. 3).

Če je pritisk na dotikalnih površinah valjčkov in med rameni tekalnih obročev manjši, kot pa pritisk med valjčki in tekalno površino ležajnih obročev, ga lahko zanemarimo.

V primeru, da se oblika tekalnih obročev pri obremenitvi ne menja, moramo analizirati samo deformacijo valjčkov in tekalne površine. Na sl. 3 predstavlja označena površina deformacijo valjčkov in tekalne površine. Deformacija nastopi zaradi aksialne in radialne obremenitve. V sredini valjčka je deformacija  $\delta_m = \delta_r \cos \varphi$ . Notranji obroč se premakne relativno glede na zunanjega za  $\delta_a$ . Določimo lahko kot zasuka valjčka  $\Theta/2$ .

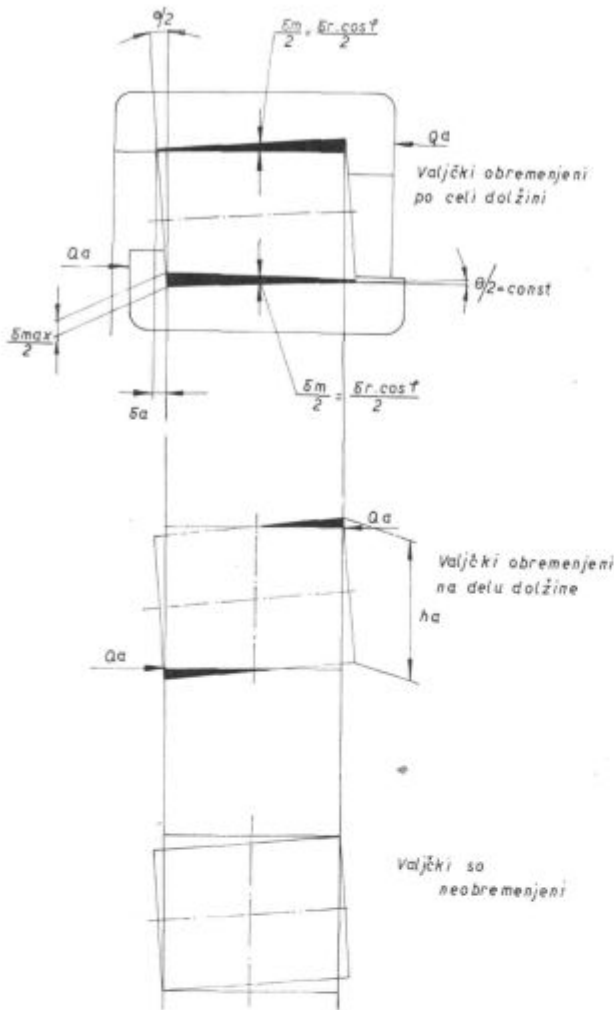
$$\frac{\Theta}{2} = \frac{\delta_a}{h_a} \tag{8}$$

Maksimalna deformacija valjčkov je:

$$\delta_{max} = \delta_r \cos \varphi + \Theta \frac{l_{ef}}{2} \tag{9}$$

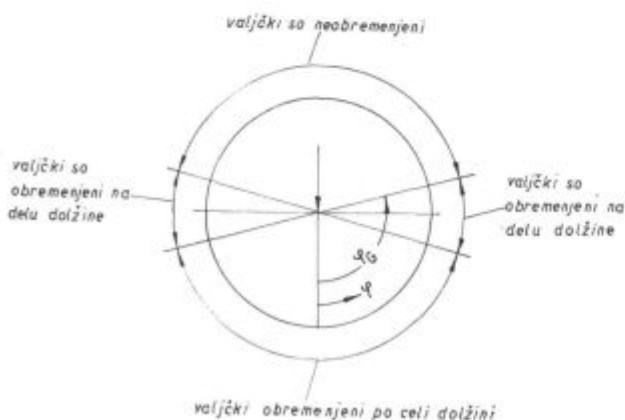
Določimo brezdimenzijski koeficient zasuka za vsak valjček posebej.  $\Gamma$  se spreminja v odvisnosti od kota  $\varphi$ .

$$\Gamma(\varphi) = \frac{\Theta \cdot l_{ef}}{\delta_{max}} = \frac{2 \cdot \frac{\delta_a}{\delta_r} \cdot \frac{l_{ef}}{h_a}}{\frac{\delta_r}{\delta_a} \cdot \frac{l_{ef}}{h_a} + \cos \varphi} \tag{10}$$



Slika 3  
Aksialni pomik  $\delta_a$  ležajnega obroča

Na sliki 3 vidimo tri obremenitvene primere. Območja obremenitev v ležaju prikazuje slika 4. V območju  $\varphi$  so valjčki obremenjeni po celi dotikalni površini  $\Gamma(\varphi)$  je med 0 in 1. Z naraščanjem kota  $\varphi$   $\Gamma$  narašča. Pri  $\Gamma > 1$  so valjčki obremenjeni samo na delu dotikalne površine. Kadar je kot  $\varphi =$



Slika 4  
Različna dolžina obremenitve valjčka po obodu ležaja

$= \varphi_G$  je  $\Gamma(\varphi_G)$  neskončno velik. Za čisto radialno obremenitev ležaja je  $\varphi_G = 90^\circ$ . V primeru radialne in aksialne obremenitve je  $\varphi_G > 90^\circ$ . V neobremenjenem območju postane  $\Gamma(\varphi)$  negativen. Ekvivalentna obremenitev ležaja  $P_R = 0$  in valjčki ne prenašajo aksialne obremenitve. Teh valjčkov v izračunu ne upoštevamo. Če poznamo  $\Gamma(\varphi)$  je ekvivalentna obremenitev  $P_R$  določena.

Ločimo dva primera:

a) Valjček je obremenjen po celi dolžini:

$$\frac{P_R}{C_\delta \cdot \delta_{max}^{1,08}} = \frac{1 - (1 - \Gamma)^{2,08}}{2,08 \Gamma} \quad \text{za } 0 < \Gamma \leq 1 \quad (11)$$

b) Valjček je obremenjen samo na delu svoje dolžine:

$$\frac{P_R}{C_\delta \cdot \delta_{max}^{1,08}} = \frac{1}{2,08 \Gamma} \quad \text{za } 1 \leq \Gamma < \infty \quad (12)$$

Radialna sila  $F_r$  ležaja se izračuna iz  $P_R$

$$F_r = z \cdot \frac{1}{2\Pi} \int_0^{2\Pi} P_R(\varphi) \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi \quad (13)$$

Aksialno silo  $F_a$  dobimo tako, da aksialno obremenitev  $Q_a(\varphi)$  prenesemo na posamezne valjčke.

$$Q_a(\varphi) = \frac{2e(\varphi)}{h_a} \cdot P_R(\varphi) \quad (14)$$

Ekscentričnost  $e(\varphi)$  dobimo iz  $\Gamma$ . Ločimo dva primera:

a) Valjček je obremenjen po celi dolžini:

$$\frac{e(\varphi)}{l_{ef}} = 1 + \frac{2}{\Gamma} \left\{ \frac{2,08 [1 - (1 - \Gamma)^{3,08}]}{3,08 [1 - (1 - \Gamma)^{2,08}]} - 1 \right\} \quad \text{za } 0 < \Gamma \leq 1 \quad (15)$$

b) Valjček je obremenjen po delu dolžine:

$$\frac{e(\varphi)}{l_{ef}} = 1 - \frac{2}{3,08} \Gamma \quad \text{za } 1 \leq \Gamma < \infty \quad (16)$$

Določimo  $e(\varphi)$  in iz enačbe 14 izračunamo  $Q_a(\varphi)$ . Aksialno silo  $F_a$  ležaja določimo z  $Q_a(\varphi)$ .

$$F_a = z \cdot \frac{1}{2\Pi} \int_0^{2\Pi} Q_a(\varphi) d\varphi \quad (17)$$

### Rešitev enačb

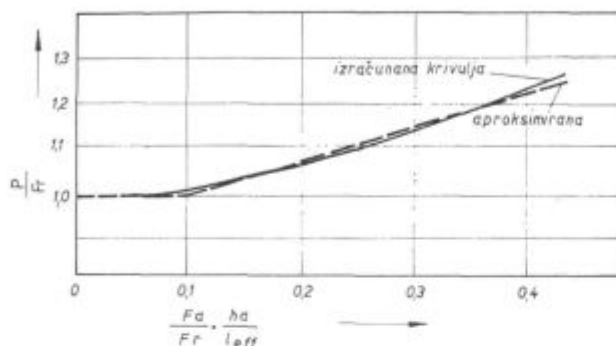
Radialno silo  $F_r$ , aksialno silo  $F_a$  in ekvivalentno dinamično obremenitev  $P$  določimo z vstavljanjem vrednosti za  $\delta_a \cdot l_{ef}$  in  $\delta_r \cdot h_a$ .

Ekvivalentna dinamična sila je odvisna od radialne obremenitve. Odnos lahko izrazimo v funkcijski zvezi.

$$\frac{P}{F_r} = \frac{F_a}{F_r} \cdot \frac{h_a}{l_{ef}} \quad (18)$$

Funkcija podaja napetosti in deformacije valjčnih kotalnih ležajev obremenjenih z aksialno obremenitvijo.

Funkcija je grafično prikazana v diagramu sl. 5. Polna črta podaja naraščanje ekvivalentne dinamične sile  $P$  za valjčne kotalne ležaje, če je poleg radialne obremenitve ležaja še aksialna obremenitev.



Slika 5

$$\frac{P}{F_r} \text{ kot funkcija } \frac{F_a}{F_r} \cdot \frac{h_a}{l_{ef}}$$

#### Poenostavljen izračun

Računsko dobljeno krivuljo lahko aproksimiramo z dvema ravnima črtama. Ta poenostavitev da naslednji enačbi:

$$P = F_r \text{ za } \frac{F_a}{F_r} \cdot \frac{h_a}{l_{ef}} \leq 0,1 \quad (19)$$

$$P = 0,925 F_r + 0,75 \frac{h_a}{l_{ef}} \cdot F_a \text{ za } \frac{F_a}{F_r} \cdot \frac{h_a}{l_{ef}} > 0,1 \quad (20)$$

Z vstavljanjem vrednosti za  $\frac{h_a}{l_{ef}}$  iz kataloga za vrsto ležajev dobimo enačbe v tabeli 1.

Tabela 1

Serije valjčnih kot. ležajev	Stopnja obremenitve	Ekvivalentna dinamična obr.	St. enačbe
10; 2; 2E; 3; 3E; 4	$0 \leq \frac{F_a}{F_r} \leq 0,11$	$P = F_r$	(20)
	$0,11 < \frac{F_a}{F_r} \leq 0,30$	$P = 0,925 F_r + 0,682 F_a$	(21)
22; 22E; 23; 23;	$0 \leq \frac{F_a}{F_r} \leq 0,17$	$P = F_r$	(22)
	$0,17 < \frac{F_a}{F_r} \leq 0,30$	$P = 0,925 F_r + 0,441 F_a$	(23)

Vrednosti za ekvivalentno dinamično obremenitev  $P$  vstavljamo v znano enačbo za določanje ležajev in lahko določimo koeficient življenjske dobe ležaja.

$$f_t = \frac{c}{P} \cdot f_n \quad (25)$$

Življenjsko dobo ležaja  $L_b$  lahko izračunamo iz koeficienta življenjske dobe  $f_t$ .

Tabela 2

Serije ležajev	$\frac{F_a}{F_r} = 0,10$	0,15	0,20	0,25	0,30
10; 2; 2E; 3E; 4	0 %	8 %	18 %	26 %	33 %
22; 22E; 23; 23E	0 %	0 %	4 %	11 %	17 %

Učinek delovanja aksialne obremenitve ležaja na življenjsko dobo je prikazan v tabeli 2.  $L_{ra}$  pomeni življenjsko dobo ležaja, če je ta obremenjen z aksialno in radialno obremenitvijo in  $L_r$  življenjsko dobo ležaja, če je ta obremenjen samo z radialno silo.

Kvocienent  $\frac{L_r - L_{ra}}{L_r} \cdot 100 \%$  prikaže procentualno skrajšanje življenjske dobe ležaja pod vplivom aksialne sile.

#### Literatura:

- Brändlein, J.: »The Fatigue Life of axially loaded Cylindrical Roller Bearings«, Ball and Roller Bearing Engineering (Schweinfurt) 1. (1972) stran 7–11.
- Brändlein, J.: »The Effect of Misalignment on the Life of Cylindrical Roller Bearing and Tapered Roller Bearings«, Ball and Roller Bearing Engineering (Schweinfurt) 1. (1971), stran 2–9.

## ZUSAMMENFASSUNG

Beim Konstruieren der Pressen und anderer Maschinen stösst man immer wieder auf die Probleme der Wellen-einlagerung. Die Welle muss so eingelagert sein, dass die Lager die Beanspruchungen auch ertragen können und eine vorgeschriebene Lebensdauer aushalten. Um die Lager auch dimensionieren zu können, müssen die Beanspruchungsarten und deren Einfluss auf die Lebensdauer bekannt sein.

Bei dem klassischen Verfahren zur Dimensionierung der Wälzlager besteht keine Verbindung zwischen der axialen Beanspruchung und der Verkürzung der Lebensdauer. Die

Wälzlager ertragen auch die axialen Beanspruchungen, doch die Lebensdauer wird mit grösser werdenden axialen Beanspruchung kleiner.

Eine Funktionsverbindung über den Einfluss der axialer Beanspruchung auf die Lebensdauer der Wälzlager ist angegeben.

Bei der Ausrechnung der Lebensdauer der Wälzlager, welche mit axialen Kräften oder nach dem klassischen Verfahren beansprucht werden, müssen die erhaltenen Werte für einen bestimmten Wert korrigiert werden.

## SUMMARY

Problems of mounting bearings on shafts are met in building presses and other machines. The bearing must be mounted in such a way that it takes the loads and keeps the prescribed life. When constructing the bearings, the ways of loading and the influence of loading on the bearing life must be known.

In standard way of constructing the roll bearings, no

correlation between the axial load and the reduction of the bearing life is given. The roll bearings take the axial loads but their life is reduced by an increased axial load.

Functional correlation of the influence of axial loads on life of roll bearings is given. The life values of roll bearings loaded by axial forces evaluated in a standard way must be corrected by a certain factor.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При конструировании разных пресс а также и других машин встречаемся с проблемой устанавливания подшипников. Вал необходимо вложить так, чтобы подшипники перенесли нагрузку и выдержали предписаную продолжительность. Чтобы иметь возможность правильно установить размеры подшипников, необходимо иметь сведения о видах нагрузки а также влияние нагрузки на продолжительность подшипников. При устанавливании размеров роликовых подшипников классическим способом не водана связь между аксиальной нагрузки и уменьшением продолжитель-

ности подшипников. Роликовые подшипники переносят аксиальную нагрузку, но их продолжительность с увеличением нагрузки уменьшается.

В статье подана функциональная связь влияния аксиальной нагрузки с продолжительностью роликовых подшипников. При вычислении продолжительности роликовых подшипников нагруженных с аксиальной силой, необходимо полученные данные поправить на определённые значения.



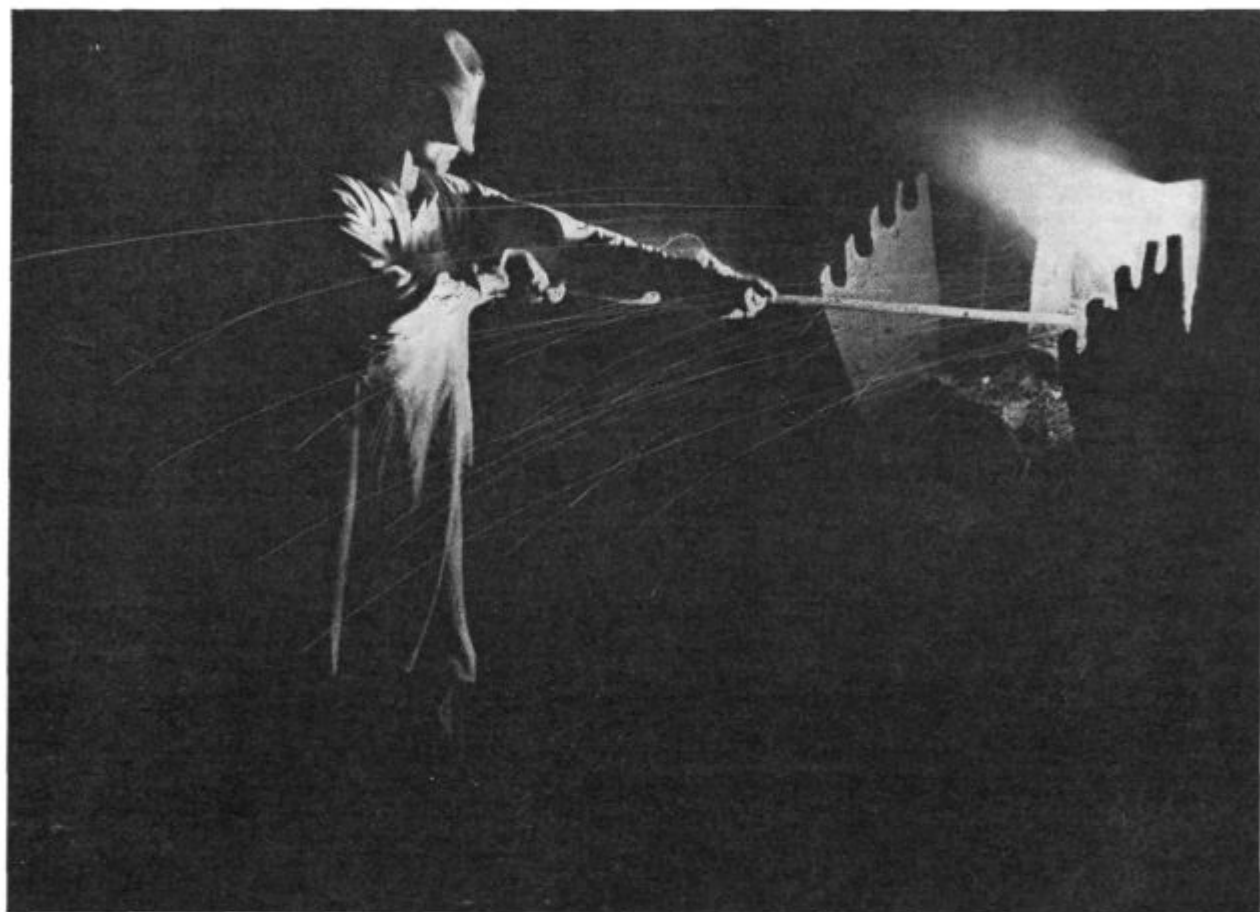
---

**Svinčeva jekla, nova možnost  
za povečano produktivnost obdelovalnih strojev**

---

**Svinčeva jekla, nov proizvod  
ZPSŽ - ŽELEZARNE JESENICE**

---



---

**Svinčeva avtomatska jekla  
ATJ 100 Pb**

---

**Svinčeva konstrukcijska jekla**  
– ogljikova  
– nizko legirana

---

**Vsako jeklo lahko legiramo s svincem!**

---

## Tehnične novice

dr. Andrej Paulin, dipl. inž.  
FNT Ljubljana

### Mednarodni sistem enot in predlog usklajene uporabe simbolov za označevanje fizikalnih in kemičnih veličin

Kratek pregled mednarodnega sistema enot SI ter uvajanje enot sistema SI v ZR Nemčiji naj bi bila osnova za uvajanje teh enot tudi pri nas. Posebej so prikazani primeri najpomembnejših novih enot v metalurgiji ter način preračunavanja številčnih vrednosti v starih enotah v vrednosti v novih enotah. Na koncu daje avtor v diskusijo predlog o usklajeni uporabi simbolov za označevanje fizikalnih in kemičnih veličin.

Naravne pojave kvalitativno in kvantitativno opisujemo z enačbami med različnimi fizikalnimi in kemičnimi veličinami. Fizikalna oziroma kemična veličina je torej abstraktna oznaka fizikalnega oziroma kemičnega stanja ali pojava, ki ga lahko izmerimo. Veličina, ki jo kvalitativno opisujemo z dogovorjenim simbolom, je kvantitativno ponazor-

jena s produktom števila in merske enote. Ta produkt mora biti pri dani kvantitativni veličini konstanten neodvisno od uporabljane merske enote, npr.  $1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$ , t. j. število je 100 krat večje, če je izbrana merska enota 100 krat manjša. Zaradi enostavnejšega računanja odnosov med veličinami, ki opisujejo različne pojave, npr. mehanske in električne, je najprimerneje, če uporabljamo take merske enote, da z medsebojnim množenjem osnovnih merskih enot in faktorja  $10^n$ , pri čemer je  $n = 1, 2, 3, \dots$ , dobimo osnovno enoto za drugo veličino, npr.  $\text{watt} = \text{joule} \times \text{sekunda}$ , ali  $\text{newton} \times \text{meter} \times \text{meter} \times 10^{-6} = \text{N/mm}^2$  (enota za napetost). To je tudi cilj mednarodnega sistema enot.

#### Mednarodni sistem enot

Na 10. generalni konferenci za mere in uteži leta 1954 so za področje fizike in tehnike postavili

Tabela 1: Osnovne enote sistema SI<sup>1</sup>

Fizikalna veličina	Enota		
	Ime	Simbol	Definicija
Dolžina	meter	m	1 650 763,73 mnogokratnik valovne dolžine sevanja v vakuumu, ko atomi nuklida <sup>86</sup> Kr preidejo iz stanja 5 d <sub>5</sub> v stanje 2 p <sub>10</sub> .
Masa	kilogram	kg	masa mednarodnega modela kilograma.
Čas	sekunda	s	9 192 631 770 mnogokratnik trajanja periode sevanja, ki nastane pri prehodu med obema nivojema hiperfine strukture osnovnega stanja nuklida <sup>133</sup> Cs.
Električna jakost toka	amper	A	jakost časovno nespremenljivega električnega toka, ki povzroči med dvema vzporednima, med seboj 1 m oddaljenima, ravnima, neskončnima vodnikoma z zanemarljivo majhnim okroglim presekom silo $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ na meter dolžine, ko teče po njih (v vakuumu).
Termodinamična temperatura	kelvin	K	273,16 del termodinamične temperature trojne točke vode.
Jakost svetlobe	kandela	cd	jakost, s katero seva $1/600\,000 \text{ m}^2$ črnega telesa pravokotno na svojo ploskev pri strdišču platine, ko se strjuje pri tlaku $101\,325 \text{ N/m}^2$ .
Količina snovi	mol	mol	količina snovi sistema določene sestave, ki sestoji iz ravno toliko delcev, kot jih vsebuje $12/1000 \text{ kg}$ nuklida <sup>12</sup> C.

osnovo metričnega sistema enot s šestimi osnovnimi enotami (Tabela 1). Ta sistem je na naslednji konferenci leta 1960 dobil ime *Système International d'Unités* ali skrajšano *SI*<sup>1</sup>. Vse osnovne enote razen časa so izbrane tako, da lahko izpeljemo enoto za katero koli fizikalno veličino z enostavnim množenjem osnovnih enot. Tako izpeljane enote imenujemo koherentne enote. Kaže jih tabela 2. Vse države članice mednarodne konvencije za metrični sistem so dolžne preiti na mednarodni sistem enot. Uvajanje sistema *SI* pa rešujejo nekatere zakonsko (npr. ZR Nemčija), nekatere pa s standardizacijo (npr. Madžarska). V ZR Nemčiji, kar je pomembno tudi za nas, ker smo strokovno in gospodarsko precej tesno povezani z njo, je junija 1970 izšel zakon o novih merskih enotah<sup>2</sup>, po katerem morajo do konca leta 1977 popolnoma preiti na mednarodni sistem enot. Na Madžarskem pa so leta 1972 s standardi začeli uvajati nove enote<sup>3</sup>. Pri nas pa je tudi julija 1973 izšel zakon o spremembah merskih enot<sup>10</sup>.

Osnovne enote mednarodnega sistema so dolžina, masa, čas, električna jakost toka, temperatura (termodinamična) in jakost svetlobe, njim pa so leta 1971 (14. generalna konferenca) priključili še količino snovi (mol), ki so jo prvotno smatrali kot atomsko fizikalno enoto, a je bila v ZRN po DIN 1301<sup>4</sup> že vključena kot osnovna enota.

Praktičnost računanja in preglednost zahtevata, da pri kvantitativnem opisu veličin uporabljamo števila s čim manj številkami. Najprimernejša so števila med 0,1 in 1000. Sistem *SI* nam to omogoča z

uporabo decimalnih mnogokratnikov ali delov osnovnih in koherentno izpeljanih enot. Tabela 3 daje pregled decimalnih predpon enotam, ki jih pišemo **skupaj z enoto** brez presledka, tako da dobljena enota predstavlja enovit simbol, npr. kW, mm, MJ, ipd. Edino pri enotah za kote in za čas ne uporabljamo decimalnih predpon. Vedno smemo uporabljati le **po eno predpono**, npr. pišemo mg in ne  $\mu\text{kg}$ . Poleg tega ne smemo več pisati enote s samo decimalno **predpono**, torej je pravilno  $\mu\text{m}$  in ne  $\mu$  (mikrometer in ne mikron). Eksponent pri enoti z decimalno predpono se nanaša na celotno enoto, torej  $\text{cm}^3 = 10^{-6} \text{m}^3$ .

Nekatere z decimalnimi predponami izpeljane enote iz osnovnih enot imajo posebna imena, ki pa jih sistem *SI* zaradi ustaljenosti ne preganja (Tabela 4). Poleg tega pa iz praktičnih razlogov sistem *SI* dopušča še nekoherentno izpeljane enote za čas, ter kotno stopinjo, elektronski volt, atomsko enoto mase in stopinjo Celzija (Tabela 4). Predzadnji dve enoti sta atomsko fizikalni enoti in dejansko neodvisni od sistema *SI*. Še enkrat pa bodo do leta 1978 prediskutirali dopustnost angströma, dyne, fizikalne atmosfere (atm), erga, poisea, stokesa, curiea in rentgena, ki pa so trenutno na listi enot z omejenim časom uporabe (do konca leta 1977).

Zaradi čim bolj poenostavljenega računanja je treba zmanjšati število enot na minimum, predvsem pa prepovedati nekoherentno izpeljane enote (razen za čas). Glede na taka priporočila generalnih konferenc za mere in uteži so v ZRN že sedaj prepovedani za uradno rabo gauss, maxwell,

Tabela 2: Koherentno izpeljane enote iz osnovnih enot sistema *SI*

Fizikalna veličina	Enota		
	Ime	Simbol	Definicija
Kot — ravninski	radian	rad	1 rad = 1 m/m
Kot — prostorski	steradian	sr	1 sr = 1 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Frekvenca	hertz	Hz	1 Hz = 1/s
Sila	newton	N	1 N = 1 kg m/s <sup>2</sup>
Tlak	pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>
Energija	joule	J	1 J = 1 N m
Moment	newtonmeter	N m	1 N m = 1 kg m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Moč	watt	W	1 W = 1 J/s
Napetost — električna	volt	V	1 V = 1 W/A
Upornost — električna	ohm	$\Omega$	1 $\Omega$ = 1 V/A
Prevodnost — električna	siemens	S	1 S = 1/ $\Omega$
Elektrenina	coulomb	C	1 C = 1 A s
Kapacitivnost — elektr.	farad	F	1 F = 1 C/V
Magnetni pretok	weber	Wb	1 Wb = 1 V s
Gostota magnetnega pretoka	tesla	T	1 T = 1 Wb/m <sup>2</sup>
Magnetna poljska jakost	amper na meter	A/m	1 A/m
Induktivnost	henry	H	1 H = 1 Wb/A
Svetlobni tok	lumen	lm	1 lm = 1 cd sr
Osvetljenost	lux	lx	1 lx = 1 lm/m <sup>2</sup>

Tabela 3: Decimalne predpone enotam

Mnogokratnik	Ime	Simbol
10 <sup>12</sup>	tera	T
10 <sup>9</sup>	giga	G
10 <sup>6</sup>	mega	M
10 <sup>3</sup>	kilo	k
10 <sup>2</sup>	hekto	h
10	deka	da
10 <sup>-1</sup>	deci	d
10 <sup>-2</sup>	centi	c
10 <sup>-3</sup>	mili	m
10 <sup>-6</sup>	mikro	μ
10 <sup>-9</sup>	nano	n
10 <sup>-12</sup>	piko	p
10 <sup>-15</sup>	femto	f
10 <sup>-18</sup>	ato	a

oerstedt, clausius, stopinja Englerja, stopinja Fahrenheita, colski sistem mer, po letu 1975 izraz stopinja kot enota za temperaturo in stilb, po letu 1976 izraz stopinja Kelvina (namesto njega samo: Kelvin), od leta 1978 pa poi.d, atmosfera, mm Hg, tor, mm vodnega stebra, kalorija, konjska moč. Jugoslovanski zakon<sup>10</sup> pa dopušča enote izven sistema SI, kot so angström, mikron, barn, gal, dyna, tehnična atmosfera, fizikalna atmosfera, milimeter živosrebrnega stebra, milimeter vodnega stebra, stokes, kilopondmeter, kalorija, konjska moč, curie, rentgen, rad in rem (rad in rem sta enoti za absorbirano ali ekvivalentno dozo ioniziranega sevanja) do konca leta 1980.

Ker smo še navajeni misliti v do sedaj uporabljenih enotah, daje tabela 5 pregled nekaterih najpogostejših pretvornikov nedovoljenih enot v enote sistema SI.

Tabela 4: Imena in enote, ki jih sistem SI še dopušča

Fizikalna veličina	Enota		
	Ime	Simbol	Definicija
Površina	ar	a	1 a = 100 m <sup>2</sup>
	hektar	ha	1 ha = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
Prostornina	liter	l	1 l = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
Kot — ravninski	kotna stopinja	°	1 ° = (π/180) rad
Masa	tona	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg
Tlak	bar	bar	1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa
Čas	minuta	min	1 min = 60 s
	ura	h	1 h = 3600 s
	dan	d	1 d = 24 h = 86 400 s
Energija	elektronski volt	eV	1 eV = 1,60219 · 10 <sup>-19</sup> J
Masa	atomska enota mase	u	1 u = 1,66053 · 10 <sup>-27</sup> kg
	stopinja Celzija	°C	°C = K - 273,15

## VPLIV ENOT SISTEMA SI NA VREDNOSTI NEKATERIH FIZIKALNIH KOLICIN V METALURGIJI

Na področju preiskave kovin je najpomembnejše pogledati si nove enote za merjenje napetosti, trdote in žilavosti. Tehnični komite 17. organizacije ISO (International Organisation of Standardization)<sup>5</sup> je junija 1970 predlagal, da bi **napetosti** merili v N/mm<sup>2</sup>. Nove vrednosti dobimo, če stare vrednosti množimo z 9,81 in produkt zaokrožimo na celo število, npr. 50 kp/mm<sup>2</sup> bo po novem 490,5 ali zaokroženo 491 N/mm<sup>2</sup>. Podkomite 6 preje omenjenega komiteja<sup>6</sup> je na seji januarja 1971 sklenil, da morajo vrednosti Brinellove, Rockwellove in Vickersove **trdote** ostati nespremenjene pri prehodu na newton kot enoto sile. Pri merjenju Rockwellove trdote ostane obtežba po velikosti ista, le da bo izražena v N, t. j. 1471,5 N namesto dosedanjih 150 kp pri HRC. Če želimo pri Brinellovi in Vickersovi trdoti ohraniti iste številčne vrednosti pri uporabi N kot enote za obtežbo, se spremenita tudi definiciji obeh trdot:

$$HB = \frac{0,102 \cdot 2 A}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

$$HV = 0,189108 \frac{A}{d^2}$$

ISO predlaga zato, da bi Brinellovo in Vickersovo trdoto pisali v bodoče brez enot in sicer 120 HB 5/250/30 namesto HB 5/250/30 = 120 kp/mm<sup>2</sup> ali 650 HV 30 namesto HV 30 = 650 kp/mm<sup>2</sup>.

**Udarne zarezne žilavost** bo v bodoče dana v J, t. j. v enotah za delo, pri čemer se bo udarno delo nanašalo na presek ISO preskušanca z ostro zarezo. Pri merjenju žilavosti z drugačnimi preskušanci lahko dobljene vrednosti preračunamo na osnovi oblike preskušanca, tako da številčne vrednosti (v kpm/cm<sup>2</sup>) množimo z 9,81 in presekom.

Tabela 5: Pretvorniki nekaterih enot, ki jih sistem SI ne dopušča

Fizikalna veličina	Pretvarjanje	
Dolžina	1 Å	= $10^{-10}$ m
Sila	1 kp	= 9,80665 N
	1 dyn	= $10^{-5}$ N
Tlak, napetost	1 kp/mm <sup>2</sup>	= 9,80665 N/mm <sup>2</sup> = 0,980665 · 10 <sup>5</sup> Pa
	1 at	= 0,980665 bar = 0,980665 · 10 <sup>5</sup> Pa
	1 atm	= 1,01325 bar = 1,01325 · 10 <sup>5</sup> Pa
	1 tor	= 1,333224 mbar = 133,3224 Pa
	1 mm Hg	= 133,3224 Pa
Energija	1 mm VS	= 9,80665 Pa
	1 kpm	= 9,80665 J
	1 erg	= $10^{-7}$ J
	1 kcal	= 4,1868 kJ
	1 kWh	= 3600 kJ
Moč	1 kpm/s	= 9,80665 W
	1 KM	= 735,49875 W
Viskoznost	— dinamič.	1 P
	— kinemat.	1 St
Magnetni pretok	1 M	= $10^{-8}$ Wb
Gostota magn. pretoka	1 G	= $10^{-4}$ T
Magnetna poljska jakost	1 Oe	= 79,6 A/m
Enota radioaktivnosti	1 Ci	= količina radioaktivne snovi, ki ima 3,700 · 10 <sup>10</sup> razpadov/s
Enota radioaktivnega sevanja	1 r	= sevanje, ki ustvari v 1 cm <sup>3</sup> zraka toliko ionov, da prenesejo 1 elektrostatično enoto elektrenine kakršnega koli predznaka

Pri ISO preskušancih z ostro zarezo dobimo novo vrednost žilavosti (kot udarno delo), če dosejajo vrednost v kpm/cm<sup>2</sup> množimo s 7,8 (faktor  $9,81 \times$  presek preskušanca) in produkt najprej zaokrožimo na celo število, potem pa še zadnje število zaokrožimo na 0 ali 5. Tabela 6 kaže nekaj praktičnih primerov preračunavanja številčnih vrednosti v dosedanjih enotah v številčne vrednosti v novih enotah. Namesto preračunavanja udarnega dela pri drugačnih oblikah preskušancev je primernejše številčno podati udarno delo, zraven pa navesti obliko preskušanca. Pri DVM preskušancih je faktor, s katerim množimo stare vrednosti žilavosti v kpm/cm<sup>2</sup> 6,9, pri ISO preskušancih z okroglo zarezo pa 4,9<sup>7</sup>.

V ekstraktivni metalurgiji bodo največje številčne spremembe doživele veličine povezane s toplotno energijo. V novejših strokovnih člankih v svetovni literaturi<sup>8</sup> za **toplotno prevodnost** uporabljajo W/cm K in za **toplotno prehodno število** W/cm<sup>2</sup> K, čeprav je enota za količino toplote J. Stremimo k čim večji racionalnosti in pregledneje je pisati W kot J/s. Z uporabo cm v enoti za toplotno prevodnost se številčne vrednosti gibljejo med 0,1 za pline in 100 za dobro prevodne kovine. Vrednosti izražene v cal/cm s °C oziroma cal/cm<sup>2</sup> s °C množimo z 4,1868, da dobimo nove številčne vrednosti, če pa so izražene v kcal/m h °C oziroma kcal/m<sup>2</sup>

h °C pa moramo množiti z 0,01152 oziroma 0,0001152. **Specifično toploto** izražamo v J/kg K, pri čemer stare vrednosti izražene v cal/g °C ali kcal/kg °C množimo z 4186,8. **Kalorična vrednost** goriv ima enoto kJ/kg in staro vrednost v kcal/kg množimo s 4,1868. Nekaj primerov preračunavanja kaže tabela 6.

Ostale pomembnejše veličine bodo s prehodom na novi merski sistem doživele spremembe le v potenci faktorja 10, tako je **viskoznost** izražena v Pa s (Tabela 5), **difuzijski koeficient** v m<sup>2</sup>/s, **površinska napetost** v N/m (1 N/m = 10<sup>3</sup> dyn/cm). Primeri preračunavanja so v tabeli 6.

Pri **magnetnih materialih** prinaša uvedba sistema SI vidno poenostavitev. Gostoto magnetne energije so v dosedanjih enotah izražali v G Oe (gostota magnetnega pretoka  $\times$  magnetna poljska jakost), medtem ko so za histerezne izgube na enoto prostornine uporabljali erg/cm<sup>3</sup>, čeprav predstavljata obe veličini s fizikalnega stališča energijo na enoto prostornine, t. j. isto. Pri tem je bil 1 G Oe = 0,08 erg/cm<sup>3</sup>, torej so se številčne vrednosti za obe energiji razlikovale med seboj za okoli 12,5 krat. Po novem merskem sistemu bo gostota magnetne energije izražena v J/m<sup>3</sup> tako kot histerezne izgube. Če namreč po tabeli 2 pretvorimo T · A/m dobimo, da je 1 T A/m = 1 J/m<sup>3</sup>.

Tabela 6: Nekateri praktični primeri preračunavanja številčnih vrednosti v nove enote

Veličina	Način izražanja		Preračunavanje
	novi	stari	
Trdnost ( $\sigma_M$ )	491 N/mm <sup>2</sup>	50 kp/mm <sup>2</sup>	$50 \times 9,81 = 490,5 \rightarrow 491$
Meja plastičnosti ( $\sigma_T$ )	226 N/mm <sup>2</sup>	23 kp/mm <sup>2</sup>	$23 \times 9,81 = 225,63 \rightarrow 226$
Modul elastičnosti (E)	104400 N/mm <sup>2</sup>	10460 kp/mm <sup>2</sup>	$10460 \times 9,81 = 104378,4 \rightarrow 104400$
Rockwellova trdota	55 HRC	55 HRC	
Brinellova trdota	120 HB	HB = 120 kp/mm <sup>2</sup>	
Vickersova trdota	650 HV	HV = 650 kp/mm <sup>2</sup>	
Zilavost			
ISO preskuš. z ostro zar.	115 J	15 kpm/cm <sup>2</sup>	$15 \times 7,8 = 117 \rightarrow 115$
ISO preskuš. z okrog. zar.	75 J (ISO z okroglo zarezo)	15 kpm/cm <sup>2</sup>	$15 \times 4,9 = 73,5 \rightarrow 74 \rightarrow 75$
DVM	105 J (DVM)	15 kpm/cm <sup>2</sup>	$15 \times 6,9 = 103,5 \rightarrow 104 \rightarrow 105$
Toplotna prevodnost	2,01 W/cm K	0,48 cal/cm s °C	$0,48 \times 4,1868 = 2,009664 \rightarrow 2,01$
	1,99 W/cm K	173 kcal/m h °C	$173 \times 0,01152 = 1,99296 \rightarrow 1,99$
Toplotno prehodno število	5,57 · 10 <sup>-3</sup> W/cm <sup>2</sup> K	1,33 · 10 <sup>-3</sup> cal/cm <sup>2</sup> s °C	$1,33 \times 4,1868 = 5,568444 \rightarrow 5,57$
	4,61 · 10 <sup>-3</sup> W/cm <sup>2</sup> K	40 kcal/m <sup>2</sup> h °C	$40 \times 0,0001152 = 0,004608 \rightarrow 4,61 \cdot 10^{-3}$
Specifična toplota	502,4 J/kg K	0,12 cal/g °C	$0,12 \times 4168,8 = 502,416 \rightarrow 502,4$
	502,4 J/kg K	0,12 kcal/kg °C	
Kalorična vrednost	33500 kJ/kg ali: 33,5 MJ/kg	8000 kcal/kg	$8000 \times 4,1868 = 33494,4 \rightarrow 33500$
Viskoznost	0,3 Pa s	3 P	$3 \times 0,1 = 0,3$
Difuzijski koeficient	3,5 · 10 <sup>-10</sup> m <sup>2</sup> /s	3,5 · 10 <sup>-6</sup> cm <sup>2</sup> /s	$3,5 \cdot 10^{-6} \times 10^{-4} = 3,5 \cdot 10^{-10}$
Površinska napetost	0,52 N/m	520 dyn/cm	$520 \times 10^{-3} = 0,52$
Gostota magnetne energije	55 J/m <sup>3</sup>	6900 G Oe	$6900 \times 0,008 = 55,2 \rightarrow 55$
Histerezne izgube na enoto prostornine	55 J/m <sup>3</sup>	550 erg/cm <sup>3</sup>	$550 \times 0,1 = 55$
Količina mase	količina mase v % 30 % masne količine 30 %	ut. % 30 ut. % 30 (ut.) %	
Volumska količina	volumska količina v % 30 % volumske količine	vol. % 30 vol. %	
Molska ali atomska količina	količina snovi v % 30 % snovne količine	atom. %, mol. % 30 atom. %, 30 mol. %	

Tabela 7: Simboli fizikalnih in kemičnih veličin in predlagane enote

Veličina	Simbol	Enota	Pripomba
Kot	$\alpha, \beta, \gamma$	rad	
Dolžina	$l, L$	m	simbol na prvem mestu ima prednost
debelina	$d$	m	
debelina plasti	$\delta$	m	
širina	$b$	m	
višina	$h$	m	
Premer	$d, D$	m	
polmer	$r, R$	m	
Površina	$A$	$m^2$	
Specifična površina	$S$	$1/m$	
Prostornina	$V$	$m^3$	
Čas	$t$	s	
čas, ko doseže veličina mejno vrednost	$\tau$	s	
Hitrost	$v$	m/s	
Kotna hitrost	$\omega$	rad/s	
Pospešek	$a$	$m/s^2$	približno $9,81 m/s^2$
zemeljski pospešek	$g$	$m/s^2$	
Masa	$m$	kg	
Gostota	$\rho$	$kg/m^3$	
Pretok mase	$Q_m$	kg/s	JUS predpisuje $q^1$
Gostota masnega pretoka	$q_m$	$kg/s m^2$	količino v $g/s cm^2 atm$ množimo z 10,13
Masno prestopno število	$\alpha_m$	$kg/s m^2 bar$	
Masno prehodno število	$k_m$	$kg/s m^2 bar$	
Difuzijski koeficient	$D$	$m^2/s$	
Količina snovi	$n$	mol	
Molska masa	$M$	g/mol	
Sila	$F$	N	
teža	$G$	N	
specifična teža	$\gamma$	$N/m^3$	
Moment sile	$M$	N m	
Delo, energija	$W$	J	
Tlak	$p$	Pa	
atmosferski tlak	$p$	bar	
Napetost	$\sigma$	$N/mm^2$	tudi: $\sigma_{0,005}$
trdnost	$\sigma_M$	$N/mm^2$	
meja elastičnosti	$\sigma_{0,01}$	$N/mm^2$	
meja plastičnosti	$\sigma_T, \sigma_{0,2}$	$N/mm^2$	
Strižna napetost	$\tau$	$N/mm^2$	
Modul elastičnosti	$E$	$N/mm^2$	
Strižni modul	$G$	$N/mm^2$	
Modul vzvoja	$K$	$N/mm^2$	
Specifični raztezek	$\epsilon$	%	
raztržni spec. razt.	$\delta$	%	
kontrakcija	$\Psi$	%	
Stisljivost	$\chi$	$mm^2/N$	
Koeficient trenja	$f$	—	
Moč	$P$	W	
Dinamična viskoznost	$\eta$	Pa s	
kinematična viskozn.	$\nu$	$m^2/s$	
Žilavost	$\rho$	J	

Veličina	Simbol	Enota	Pripomba
Temperatura	T	K	
Koef. linearnega razt.	$\alpha$	1/K	
Količina toplote	W	J	JUS predpisuje Q <sup>2</sup>
Pretok toplote	Q <sub>t</sub>	W, J/s	JUS predpisuje Φ <sup>3</sup>
Gostota topl. pretoka	q <sub>t</sub>	W/cm <sup>2</sup>	
Toplotna prevodnost	λ	W/cm K	
Toplotno prestopno št.	α <sub>t</sub>	W/cm <sup>2</sup> K	
Toplotno prehodno štev.	k <sub>t</sub>	W/cm <sup>2</sup> K	
Temperaturna prevodnost	a	—	= λ/ρ c <sub>p</sub>
Specifična toplota	c	J/kg K	pri konstantnem tlaku: c <sub>p</sub>
Kalorična vrednost	H	kJ/kg	
Izsevnost, emisivnost	ε	—	
Entalpija	H	J	
prosta entalpija	G	J	
notranja energija	U	J	
Entropija	S	J/K	
Specif. latentna topl.	l	J/kg	
Električna napetost	U	V	
Jakost električ. toka	I	A	
Upornost	R	Ω	
Spec. elektr. upornost	ρ	Ωm	
Spec. elektr. prevodnost	γ	S/m	
Elektrodni potencial	E	V	
Magnetni pretok	Φ	Wb	
Gostota magnet. pretoka	B	T	
Jakost magnetnega polja	H	A/m	
Permeabilnost	μ	T/(A/m)	
Jakost svetlobe	I	cd	
Koncentracija	C	mol/l	
Aktivnost	a		
Fugativnost	f		
Aktivnostni koeficient	γ		
Poroznost	p, ε		
Plinska konstanta	R	J/mol K	= 8,31
		bar cm <sup>3</sup> /mol K	= 83,14
Boltzmannova konstanta	k	J/K	= 1,38.10 <sup>-23</sup>
Štefanova konstanta	σ	W/cm <sup>2</sup> K	= 5,67.10 <sup>-12</sup>
Planckova konstanta	h	W	= 6,62.10 <sup>-34</sup>
Faradayeva konstanta	F	J/V g ekviv.	= 96 485
Reynoldsovo število	N <sub>Re</sub>		= v l ρ/η
Prandtlovo število	N <sub>Pr</sub>		= c <sub>p</sub> η/λ
Schmidtovo število	N <sub>Sc</sub>		= η/ρ D
Sherwoodovo število	N <sub>Sh</sub>		= α <sub>m</sub> l/D
Grashofovo število	N <sub>Gr</sub>		= g l β ΔT/v <sup>2</sup>
Froudovo število	N <sub>Fr</sub>		= v <sup>2</sup> /g l
Nusseltovo število	N <sub>Nu</sub>		= α <sub>t</sub> l/λ

<sup>1</sup> po analogiji s pretokom toplote<sup>2</sup> po analogiji z energijo<sup>3</sup> po analogiji s pretokom mase



Samo izrazoslovno (brez številčnih sprememb) se spremeni utežni odstotek v količino mase ali masno količino, volumski odstotek v volumsko količino ter molski ali atomski odstotek v količino snovi ali snovno količino. Primere izražanja na stari in novi način kaže tabela 6. V primeru, da gre za masno količino, pa pri številčnih vrednostih lahko uporabljamo samo odstotek<sup>7</sup>, torej lahko pišemo 30 % masne količine namesto starih 30 ut. %, ali pa samo 30 %, npr. tiskarska zlitina vsebuje 30 % antimona in se razume, da je to 30 % masne količine antimona.

### PREDLOG ZA POENOTENO UPORABO SIMBOLOV, KI OZNACUJEJO FIZIKALNE IN KEMIČNE VELIČINE

Kvalitativno opisujemo naravne pojave s simboli, ki kvalitativno predstavljajo fizikalne in kemične veličine. Tudi tu je čim večja poenostavitev potrebna za jasnost izražanja. Toda pri pregledu domače strokovne in znanstvene literature naletimo na nepotrebno zmešnjavo pri uporabi simbolov za različne veličine, posebno še, kadar je avtor uporabljal različne tuje vire, pa čeprav je veliko simbolov pri nas že standardiziranih<sup>9</sup>. Tabela 7 daje pregled simbolov fizikalnih in kemičnih veličin, ki naj bi jih enotno uporabljali in ki so v glavnem v skladu z JUS, kjer standardi obstojajo, le nekje so spreminjevalni predlogi zaradi analogije med prenosom toplote in prenosom mase. Obenem tabela navaja tudi najprimernejše enote v skladu s sistemom SI za posamezne veličine.

### ZAKLJUČEK

Mednarodni sistem enot, ki so ga postavili na 10. generalni konferenci za mere in uteži in kasneje izpopolnili, sestoji iz osnovnih enot za dolžino, čas, maso, električno jakost toka, termodinamično temperaturo, jakost svetlobe in količino snovi. Iz teh sedmih osnovnih enot lahko izpeljemo enote za katero koli fizikalno veličino. Sistem SI, ki ga bodo morale sprejeti vse države podpisnice konvencije za metrični sistem, dopušča le koherentno izpeljane enote iz osnovnih enot ter enote koherentnih enot z decimalnimi predponami, tako da lahko vsako kvantitativno količino izrazimo s številko med 0,1 in 1000. Izmed nekoherentno izpeljanih enot je dopustno uporabljati le enote za čas in kotno stopinjo, obenem pa sistem SI še dovoljuje uporabo posebnih imen za nekatere enote koherentnih enot z decimalnimi predponami kot so

ar, hektar, tona, bar, liter. Uporabljati se sme tudi nekoherentni atomsko fizikalni enoti elektronski volt in atomsko enoto mase ter stopinjo Celzija.

Novi sistem enot bo vplival tudi na številne vrednosti veličin v metalurgiji. Po priporočilih ustreznih komitejev in podkomitejev ISO bomo napetosti merili v N/mm<sup>2</sup>, pri Rockwellovi trdoti bo obtežba ostala ista le izražena v N, vse trdote pa bodo ohranile številčno iste vrednosti le da jih bomo navajali brez enot kot 120 HB, ipd. Žilavost pa bo izražena v J, t. j. udarnem delu ter se bo številčna vrednost nanašala na ISO preskušanelec z ostro zarezo, če ne bo poleg vrednosti označeno, za kakšen preskušanelec gre. Toplotno prevodnost bomo izražali v W/cm K, specifično toploto v J/kg K, kalorično vrednost v kJ/kg, viskoznost v Pa s, difuzijske koeficiente v m<sup>2</sup>/s, površinsko napetost v N/m, gostoto magnetne energije v J/m<sup>3</sup>, ipd.

Enote, ki niso v skladu s sistemom SI so po jugoslovanskem zakonu o merskih enotah<sup>10</sup> dovoljene le do konca leta 1980.

Na koncu članka pa je še tabelaričen pregled večine fizikalnih in kemičnih veličin s predlogom enotne uporabe simbolov za te veličine ter predlogom enot. Večina predlaganih simbolov je v skladu z JUS, kjer standardi obstojajo, le ponekod je avtor predlagal spreminjevalne simbole zaradi analogije med prenosom toplote in prenosom mase, ki sta si tudi po poteku naravnih pojavov med seboj analogna.

### Literatura:

1. Mitter W. »Zur Einführung des internationalen Einheitensystems (SI-System)« — *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte* 117 (7): 235—244, 1972.
2. *Bundesgesetzblatt* (1970), Teil I, Nr. 62, str. 981—991.
3. Verö J. »Das internationale System der Masseneinheiten, das SI« — *Vorträge der VII. hüttenmännischen Materialprüfertagung*, Balatonszéplak 1973.
4. **DIN 1301**, Einheiten, Einheitenamen, Einheitenzeichen, November 1971.
5. Klaus F. »Auswirkungen des neuen Gesetzes über Einheiten im Messwerten« — *Archiv für das Eisenhüttenwesen*, 42 (1): 75, 1971.
6. Gerischer K, in W. Schmidt. »Was bedeutet die Einführung der Krafteinheit Newton für die Härteprüfung nach Brinell, Rockwell und Vickers?« — *Materialprüfung*, 13 (6): 199, 1971.
7. Dörr G. in W. Schmidt. »Zur Einführung der SI-Einheiten« — *DEW-Technische Berichte*, 13 (1): 3—10, 1973.
8. *Thermophysical Properties of Matter*, The TPRC Data Series, Vol. 1—3, IFI Plenum, New York 1970.
9. JUS A.A1.020 — JUS A.A1.022, JUS C.A4.001.
10. Zakon o spremembah zakona o merskih enotah in merilih, Uradni list SFRJ, št. 37/73, str. 1127—1131, 5. julija 1973.

## Lastnosti varov za varenje v zaščitni atmosferi CO<sub>2</sub>

Vzporedno z vedno večjo uporabo raznovrstnih jekel z višjo mejo raztezanja oziroma višjo trdnostjo za gradnjo raznih nosilnih konstrukcij, cevovodov in tlačnih posod mora iti tudi razvoj dodajnih materialov za varjenje teh jekel. Pri tem je potrebno stremeti za tem, da je z ozirom na tehnološke lastnosti jekel, kemijska analiza dodajnega materiala prirejena tako, da že pri čistem varu dosežemo odgovarjajoče minimalne lastnosti za trdnost in žilavost. Mehanske lastnosti spoja so seveda dodatno še odvisne od mešanja z osnovnim materialom, debeline pločevine ter tehnike varjenja (oblika spoja, količina vnešene toplote, način ohlajanja itd.). Vendar pa je poznavanje lastnosti čistega vara osnova za izbiro odgovarjajočega varilnega dodatnega materiala. Ker se v zadnjem času v varilstvu vedno bolj uvaja tudi tehnika varjenja v zaščitni atmosferi, a kot zaščitni plin pri nas pretežno še vedno uporabljamo CO<sub>2</sub>, smo na Raziskovalnem oddelku — Železarne Jesenice izvršili preiskave varov večjega števila različno legiranih varilnih žic (Tabela št. 1) prirejenih za uporabo

Tabela št. 1: Kemijska sestava varilnih žic

Vrsta žice legirane z	Štev.	KEMIČNA SESTAVA							
		C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	Mo	V
Mn	1	0,09	0,66	1,33	—	—	—	—	—
	2	0,10	0,70	1,55	—	—	—	—	—
	3	0,10	0,80	1,60	—	—	—	—	—
	4	0,09	0,90	1,65	—	—	—	—	—
	5	0,15	1,05	1,50	—	—	—	—	—
	6	0,16	1,06	1,80	—	—	—	—	—
	7	0,12	1,12	1,70	—	—	—	—	—
	8	0,10	1,15	1,75	—	—	—	—	—
	9	0,13	1,23	1,70	—	—	—	—	—
	10	0,08	1,10	2,00	—	—	—	—	—
Mo	11	0,10	1,05	1,35	—	—	—	0,32	—
	12	0,10	0,60	1,20	—	—	—	0,50	—
	13	0,11	0,80	1,45	—	—	—	0,54	—
Ni	14	0,08	0,60	1,80	—	—	1,00	—	—
	15	0,10	0,67	1,72	—	—	1,03	—	—
NiMo	16	0,08	0,50	1,80	—	—	1,10	0,36	—
	17	0,10	0,93	1,58	—	—	1,04	0,38	—
NiV	18	0,12	0,70	1,70	—	—	1,00	—	0,10
	19	0,10	0,97	1,57	—	—	1,00	—	0,11
NiCu	20	0,13	0,92	1,63	—	0,53	0,68	—	—
	21	0,09	0,80	1,55	—	0,47	0,50	—	—
NiMoV	22	0,10	0,90	1,63	—	—	0,53	0,30	0,12
	23	0,10	0,60	1,20	—	—	1,20	0,40	0,10
	24	0,12	0,90	1,45	—	—	1,00	0,50	0,13
NiCr Mo	25	0,08	0,70	1,20	0,30	0,45	2,50	—	—

CO<sub>2</sub>. Poleg podanih analiznih sestav v tabeli št. 1 je sestava žic odgovarjala tudi zahtevam:

P maks. 0,02 %	Cu maks. 0,20 %
S maks. 0,02 %	Al maks. 0,02 %
Cr maks. 0,10 %	Sn maks. 0,02 %

Cilj je bil ugotoviti kakšne mehanske lastnosti dobimo pri uporabi CO<sub>2</sub> plina. Vari so bili izdelani z žicami dimenzije Ø 1,2 mm in pri varilnih pogojih:

Jakost toka:	180 A
Napetost toka:	26 V
Hitrost pomika žice:	6 m/min.
Pretok plina:	15 l/min.

Tabela št. 2: Kemijska sestava čistega vara

Vrsta žice legirane z	Štev.	KEMIČNA SESTAVA							
		C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	Mo	V
Mn	1	0,07	0,36	0,66	—	—	—	—	—
	2	0,08	0,35	1,00	—	—	—	—	—
	3	0,09	0,50	1,05	—	—	—	—	—
	4	0,08	0,60	1,12	—	—	—	—	—
	5	0,10	0,76	1,01	—	—	—	—	—
	6	0,10	0,71	1,20	—	—	—	—	—
	7	0,10	0,75	1,22	—	—	—	—	—
	8	0,08	0,68	1,18	—	—	—	—	—
	9	0,09	0,83	1,15	—	—	—	—	—
	10	0,05	0,67	1,25	—	—	—	—	—
Mo	11	0,10	0,66	0,98	—	—	—	0,30	—
	12	0,08	0,35	0,75	—	—	—	0,49	—
	13	0,09	0,45	0,97	—	—	—	0,54	—
Ni	14	0,07	0,32	1,25	—	—	0,98	—	—
	15	0,08	0,39	1,23	—	—	1,00	—	—
NiMo	16	0,06	0,13	0,72	—	—	1,08	0,36	—
	17	0,08	0,46	0,95	—	—	0,94	0,34	—
NiV	18	0,07	0,34	0,89	—	—	0,95	—	0,07
	19	0,07	0,55	1,08	—	—	0,95	—	0,10
NiCu	20	0,10	0,59	1,08	—	0,50	0,65	—	—
	21	0,08	0,55	1,10	—	0,45	0,48	—	—
NiMoV	22	0,10	0,61	1,17	—	—	0,45	0,25	0,12
	23	0,10	0,42	0,79	—	—	1,15	0,39	0,08
	24	0,10	0,70	1,11	—	—	0,98	0,50	0,12
NiCr Mo	25	0,06	0,34	0,58	0,26	—	2,20	0,41	—

Vare smo preizkusili predvsem na mejo raztezanja, trdnost in žilavost do — 20°, to je za uporabo osnovnih visokotrdnih jekel in za orientacijo pri nadaljnjem delu.

Odgovarjajoči rezultati kemijskih in mehanskih lastnosti so podani v tabeli št. 3 in št. 4.

Tabela št. 3: Mehanske lastnosti čistega vara

Vrsta žice (debelina z)	Štev.	Meja razt. (kp/mm <sup>2</sup> )	Trdnost (kp/mm <sup>2</sup> )	Raztežak (L-Sd)(%)	Kontrakc. (%)	Žilavost V-Notch (kp/cm <sup>2</sup> )				
						20°	0°	-20°	-40°	-60°
Mn	1	44,2	55,6	22	44,5	10,5	8	6		
	2	45,4	57,4	26	65	13	10	8		
	3	44,7	56,5	25	63	11,5	8,5	6,5		
	4	45,5	55	25	65	12,5	9	6,5		
	5	49,4	62,5	28	64	13	9	6		
	6	53	64,2	20	44,5	10	9,5	8,5		
	7	45,5	60,3	25	65,2	11	9,5	6,5		
	8	45,5	57,5	25	66	9	8,5	6,5		
	9	50,5	64,5	26	62,5	10	7,5	5		
	10	48	62	26	45	11,5	7,5	5,5		
Mo	11	48	59	24	64	12,5	9,5	6,5		
	12	51,5	60	25	62	12,5	9	6,5		
	13	56	65,5	20	62,1	11,5	8,5	6,6		
Ni	14	45,5	58	25	64,5	14	7,5	6	5	2,5
	15	48,5	61,5	24	65	12,5	8	6,5	5	2,5
NiMo	16	48,5	60,3	23	64	11	6,2	5,1		
	17	54	66,9	21	63	10,5	8	5,5		
NiV	18	58	70	22	62	10	7	5,2	2,5	
	19	65	72,7	20	62	11,5	8	6,5	2,5	
NiCu	20	50,5	61,5	24	65	11,5	7,5	5,9	4,5	
	21	47,6	56,6	26	65	13	10	8,5	6,5	
NiMoV	22	63,6	74	20	58	9	6,5	4,5		
	23	67,5	72	20	58	9	6,5	4,5		
	24	69,5	84	20	56	6,5	4,75	4		
NiCrMo	25	64	71,6	21	58	10	5,5	3,7		

Podane vrednosti za mejo raztezanja in trdnost predstavljajo srednjo vrednost dveh dobljenih rezultatov. Vrednosti za žilavost so povprečje štirih dobljenih rezultatov in vrednosti za vodik so povprečje petih dobljenih rezultatov. Namen informacije je prikazati kakšne vrednosti dobimo pri uporabi CO<sub>2</sub> in na osnovi teh oceniti možnost uporabe za določene namene.

Od navedenih vrst varilnih žic smo v proizvodni program vključili žice legirane z »Mn«, »Ni« in »CuNi« z naslednjimi nazivi in povprečnimi analiznimi sestavami.

Povprečna analizna sestava:

	C	Si	Mn	Cu	Ni
1.) VAC 60	0,10	0,90	1,60	—	—
2.) VAC 60 Ni	0,09	0,70	1,70	—	1,05
3.) VAC 60 CuNi	0,40	0,85	1,50	0,50	0,50
4.) VAC 65	0,12	1,10	1,70	—	—

V stalni redni proizvodnji izdelujemo VAC 60. Ostale izdelujemo po posebnem naročilu.

Tabela št. 4: Kemijske in mehanske lastnosti čistega vara za uporabo pri nizkih temperaturah.

Vrsta žice	Kemična analiza						*	σ <sub>v</sub> (kp/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>m</sub> (kp/mm <sup>2</sup> )	L=5d (%)	Ψ (%)	Žilavost V-Notch (kp/cm <sup>2</sup> )					ml H <sub>2</sub> / 100 gr var
	C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni						20°	0°	-20°	-40°	-60°	
žica č.var	0,09	0,90	1,65	/	/	/	V	45,5	55,0	25,0	65,0	12,5	9,0	6,5	—	—	1,5
	0,08	0,60	1,12	/	/	/	VS-5	—	—	—	—	—	6,5	—	—		
	—	—	—	—	—	—	VS-10	—	—	—	—	—	4,5	—	—		
Ni č.var	0,10	0,67	1,72	/	/	1,03	V	48,5	61,5	24,0	65,0	12,5	8,0	6,5	5,0	2,5	1,10
	—	—	—	—	—	—	VS-5	—	—	—	—	7,0	4,5	3,5	—	—	
	0,08	0,39	1,23	/	/	1,00	N	—	—	—	—	15,0	13,5	12,0	9,0	6,5	
—	—	—	—	—	—	—	NS-5	—	—	—	—	14,5	13,5	7,0	6,0	5,0	
CuNi č.var	0,13	0,92	1,63	0,15	0,53	0,68	V	50,5	61,5	24,0	65,0	11,5	7,5	5,9	4,5	3,0	1,30
	0,10	0,59	1,08	0,10	0,50	0,65	VS-5	—	—	—	—	9,0	7,5	5,5	—	—	

\* V : v varjenem stanju  
 VS-5 : v varjenem stanju + 5% starano  
 VS-10 : v varjenem stanju + 10% starano  
 N : napetostno odžarjeno pri 580°C  
 NS-5 : napetostno odžarjeno pri 580°C + 5% starano

# Tehnična navodila avtorjem

1. Rokopis mora biti dostavljen v originalu in ne kopija. Pisan mora biti z dvojnimi presledkom tako, da se med vrstami lahko napiše nova vrsta s 4 cm robom na levi strani.
2. Članki naj bodo pisani kratko in jedrnato. Članek mora imeti na začetku kratek rezume.  
Članku je treba priložiti izvleček, ki naj obsega približno pol tipkane strani in mora biti napisan v 3 izvodih. Ta izvleček bo natisnjen v nemškem, angleškem in ruskem jeziku. Na koncu članka je treba priložiti tudi podpise k slikam na posebnem papirju. Slike in fotografije je treba zaporedno oštevilčiti s svinčnikom v skladu z besedilom. Številke slik in fotografij je treba izpisati v rokopisu tudi na levem robu zunaj teksta in sicer v višini vrste, v kateri je slika ali fotografija v tekstu navedena.  
Da se izognemo napakam pri prevajanju, naj avtorji navedejo tehnične izraze tudi v nemškem, angleškem in ruskem jeziku, v kolikor so jim poznani.
3. Citirano literaturo je treba v tekstu označiti z zaporednimi številkami, npr. avtorji 3, 5 (številka zgoraj brez zaklepaja) in jo je na koncu članka tudi treba v celoti navesti z vsemi bibliografskimi podatki, npr.:  
a) za knjige  
Avtorja navedemo s priimkom, sledi začetnica imena avtorja, naslov knjige, naslovu sledi izdaja (izdaja navajamo vedno v jeziku, v katerem je napisana, npr. 2. izd., 3. Aufl.), nato navedemo del, če je knjiga napisana v več delih, npr.: (D. 1, zv. 3, Teil 3, Bd. 5), sledi mesto izdaje, založba in leto izdaje, npr. Rapatz F. Die Edelstähle 5. Aufl. Berlin (Gröttingen) Heidelberg Springer Verlag 1962.  
b) za revije  
Avtor, naslov članka (v narekovajih), neskrajšani naslov revije, mesto, kjer izhaja revija (v oklepaju), letnik (volum, Jahrgang), leto, strani (prva in zadnja stran), npr.: Stadler, F. »Über das Legieren von nicht rostenden Stähle«, Neue Hütte (Leipzig) 11 (1966), stran 600–604.
4. Besede, ki naj se tiskajo razprto, naj se tipkajo prav tako razprto. Podčrtati pa je treba tiste besede, ki naj se tiskajo v kurzivi.
5. Obrazce in simbole v besedilu je treba vpisati jasno in čitljivo s črnilom.
6. Uporabljajo naj se uveljavljeni simboli za posamezne veličine po JUS AA 1020 in jih je treba v tekstu sproti tolmačiti.
7. Uporabljajo naj se enote in njih kratice po JUS A. A. 1040.
8. Fotografije morajo biti izdelane na trdnem, belem papirju z visokim leskom in morajo biti kontrastne in jasne.
9. Risbe rišemo v taki velikosti, da po predvideni pomanjšavi njihove dimenzije ustrezajo širini tiskarskih stolpcev. Te širine so:  
a) za en stolpec ..... 8 cm  
b) za dva stolpca z vmesnim presledkom 16,5 cm.  
Višina risbe odnosno diagram je avtomatično določena s širino. Največ pa je lahko 23 cm, kolikor pač znaša višina tiskarskega stolpca.
10. Velikost fotografij (metalografskih in ostalih). V članku je treba po možnosti uporabljati en sam oziroma čim manj različnih formatov fotografij. Uporabljamo naslednji format fotografij: 57 × 81 mm (slikovno polje brez roba). Druge formate uporabljamo le izjemoma.
11. Velikost povečave.  
Če je le mogoče, povečujemo vse risbe s faktorjem 2, s tem, da upoštevamo velikost definitivnih risb (na klišejih). Širina enostolpčne risbe v tisku (8 cm) bo torej pri risanju 8 cm × 2 cm = 16 cm. kar pomeni, da bomo risali na A4 format. Opozarjamo na to, da s širino ne mislimo le širino okvirja diagrama, temveč celotno širino risbe skupno z napisom na ordinatni osi.
12. Oblika in velikost črk in števil za povečane risbe. Uporabljamo izključno poševne črke in številke. ki jih predpisuje JUS (črke in številke po JUS so iste kot po DIN).  
Na celi risbi uporabljamo v glavnem eno velikost črk. Le za indekse in za eventualne glavne naslove uporabljamo druge velikosti. Naslovi, oziroma opisi, se predvidijo po možnosti v tisku, pod sliko za njeno vrstno številko. V odvisnosti od povečave uporabljamo naslednje velikosti črk:

Povečava	Velikost črk (mm)		Indeksi (mm)		Event. naslovi (mm)	
	na risbi	v tisku	na risbi	v tisku	na risbi	v tisku
2 ×	4	(2)	3	(1,5)	7	(3,5)
2,5 ×	5	(2)	3,5	(1,4)	8	(3,2)
3,5 ×	7	(2)	5	(1,4)	12	(3,4)

Uporabljamo predvsem 2-kratno povečavo in pripadajoče velikosti črk.

### 13. Debelina črt:

V odvisnosti od povečave uporabljamo naslednje debeline črt:

Povečava	koordinatne osi ali okvirji diagramov	mreža diagramov	Debelina črt v mm za			šrafure
			krivulje 1)	osnovne črte v risbah	prerezi (obrisi)	
2 ×	0,4	0,2	0,6	0,2	0,4	0,2
2,5 ×	0,5	0,3	0,8 (0,5)	0,3	0,5	0,3
3,5 ×	0,8	0,4	1,0 (0,8)	0,4	0,8	0,4

Vrednosti v oklepaju uporabljamo, kadar je v istem koordinatnem sistemu več krivulj, ki se morajo med seboj razlikovati.

Uporabljamo predvsem 2-kratno povečavo in pripadajoče debeline črt.

### 14. Vsi članki, ki bodo objavljeni v letu 1975 od prve številke dalje morajo imeti označene vse enote po novem mednarodnem sistemu enot.

Članek o novem mednarodnem sistemu enot je objavljen v 4. številki Železarskega zbornika 1973.

## Vsebina VII. letnika „Železarskega zbornika“

Stran	Stran
Arh Joža — Železarna Jesenice	Prešeren Alojz — Metalurški inštitut Ljubljana
<b>Informacija o možnosti izdelave nepomirjenega jekla v električnih pečeh . . . . .</b>	<b>Tehnološke zakonitosti razžveplanja v električni obločni peči . . . . .</b>
<b>1</b>	<b>123</b>
Arh Joža — Železarna Jesenice	Nikolič Miroslav — Jesenice
<b>Kaj je nepomirjeno jeklo in kako ga vlivamo? . . . . .</b>	<b>Visoki vakuum kot zaključna faza v razvoju svetlega ali bellega žarjenja . . . . .</b>
<b>11</b>	<b>131</b>
Čop Stanko — Železarna Jesenice	Uranc Franc — Železarna Ravne
<b>Možnosti povečane preskrbe s starim železom iz domačih virov . . . . .</b>	<b>Lastnosti hitroreznih jekel in analiza vzdržnosti orodij . . . . .</b>
<b>19</b>	<b>141</b>
Koroušič Blaženko — Metalurški inštitut Ljubljana	Jurca Stane — Metalurški inštitut Ljubljana
<b>Metalurške reakcije pri pretaljevanju kvalitetnih jekel pod žlindro . . . . .</b>	<b>Problematika kompaktnih sintranih gradiv . . . . .</b>
<b>23</b>	<b>151</b>
Exel Neža — Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana	Rekar Ciril — ZPS Slovenske železarne
<b>Korozijska odpornost Corten jekla . . . . .</b>	<b>Najnovejši razvoj železarstva možnosti za slovenske železarne . . . . .</b>
<b>31</b>	<b>161</b>
Mesec Ivan, J. Markež — Železarna Jesenice	Dobovišek Bogomir — FNT Ljubljana
<b>Elektrode PK 13/6, Novi prodajni material za varjenje feritno martezičnih jekel . . . . .</b>	<b>Nekaj misli ob sedanjem načinu ocenjevanja reaktivnosti trdnih reductentov . . . . .</b>
<b>43</b>	<b>183</b>
Brudar Božidar — Železarna Jesenice	Kuzman Karel — Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani, T. Razinger — Železarna Jesenice
<b>Interpretacija diagramov . . . . .</b>	<b>Ocena sposobnosti domačih jekel za masivno preoblikovanje v hladnem . . . . .</b>
<b>53</b>	<b>189</b>
Marinček Borut — Katedra za metalurgijo na Züriški tehniški visoki šoli	Prešeren Vasilij, Metalurški inštitut Ljubljana
<b>Pridobivanje železa potom direktne redukcije rud . . . . .</b>	<b>J. Segel, Železarna Ravne</b>
<b>65</b>	<b>Študij možnosti uvajanja procesnih računalnikov na elektroobločni peči . . . . .</b>
Rak Inoslav — Metalna Maribor	<b>199</b>
<b>Problematika varjenja poboljšane konstrukcijskega jekla tipa N-A-XTRA v težkih konstrukcijah . . . . .</b>	Senica Marjan — Železarna Ravne
<b>73</b>	<b>Vpliv aksialnih obremenitev na življenjsko dobo valjčnih ležajev . . . . .</b>
Uranc Franc — Železarna Ravne	<b>207</b>
<b>Zilavost konstrukcijskih jekel v odvisnosti od hitrosti preizkusa . . . . .</b>	Paulin Andrej — FNT Ljubljana
<b>89</b>	<b>Mednarodni sistem enot in predlog usklajene uporabe simbolov za označevanje fizikalnih in kemičnih veličin . . . . .</b>
Pratnekar Tone — Železarna Ravne	<b>213</b>
<b>Optimizacija obdelovalnih pogojev . . . . .</b>	Mesec Janez — Železarna Jesenice
<b>93</b>	<b>Lastnosti varov varilne žice za varejnje v zaščitni atmosferi pri uporabi CO<sub>2</sub> . . . . .</b>
Brudar Božidar — Železarna Jesenice	<b>221</b>
<b>Faktorski poskusi in ortogonalni polinomi . . . . .</b>	
<b>101</b>	
Szöke Laszlo — Železarski inštitut	
Budapest	
<b>Izkušne pri uporabi metaliziranih briketov in pelet v obločni peči . . . . .</b>	
<b>113</b>	

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Člani Jože Rodič, dipl. inž., Janez Barborič, dipl. inž., Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Žagar, tehnični urednik.

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS — sekretariat za informacije št. 421-1/72 od 20. marca 1973

Naslov uredništva: ZPSŽ — Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-231 int. 385 — Tisk: ČP »Gorenjski tisk«, Kranj