

Racionalizacija in optimiranje proizvodnje v jeklarni Bela

M. Tolar, *Železarna Jesenice*

in

J. Lamut, *Oddelek za montanistiko, FNT, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 20*

1 Uvod

Dramatične spremembe v načinu gospodarjenja v R Sloveniji predvsem v zadnjih dveh letih je slovensko jeklarstvo potisnilo na rob ekonomske katastrofe, iz katerega sta možna le dva izhoda:

- zapiranje jeklarn in s tem ukinitve produkcije jekla v R Sloveniji
- brezkompromisno zapiranje zastarelih ter hitro in učinkovito ekonomičnejše delo perspektivnih obratov na podlagi maksimalnega izkoriščanja tehnoloških in tehničnih izboljšav ter lastnega znanja
- investicije v izpopolnitev tehnoloških poti

Jeklarna Bela je kot najmodernejši jeklarski obrat Slovenskih Železarn v izredno slabem ekonomskem položaju in se trenutno nahaja v visokih izgubah. Za stanje, kakršno je, so po našem mnenju sledeči vzroki:

- previsoke specifične porabe vseh vrst v primerjavi z zapadnoevropskimi elektro jeklarnami
- previsoki ostali stroški
- nedograjenost jeklarne v smislu tehnološke celote
- izdelava cenovno neustreznega asortimenta jekel

2 Agregati za produkcijo jekla v jeklarni Bela

V Jeklarni Bela so instalirani naslednji agregati za izdelavo, obdelavo in vlivanje jekel:

- UHP-EOP sistema EBT z nominalno kapaciteto 85 ton tekočega jekla in močjo transformatorja 60 MW
- VOD/VD napravo za izvajanje sekundarne metalurgije
- TN napravo za obdelavo jekel s sintetičnimi žilindri in strojem za uvajanje polnjenih žic
- Enožilna naprava za kontinuirno vlivanje slabov debeline 160, 200 in 250 mm in širine 800 do 1600 mm ter maksimalne dolžine 5900 mm.

3 Stanje opremljenosti agregatov jeklarne Bela po njeni izgradnji v letu 1987

Vzroki za neopremljenost Jeklarne Bela s celotnim spektrom dodatne opreme, ki je danes instalirana v modernih jeklarnah, so bili:

- finančne restrikcije
- del dodatne opreme, ki je danes neobhoden za izvajanje tehnoloških operacij, je bil v času projektiranja jeklarne, ki seže v leto 82/83 v fazi testiranja.

3.1 Stanje priprave vložka

Staro železo, ki je kupljeno v okviru inozemskih dobav je zelo različne kvalitete tako v pogledu kemične sestave kot dimenzij oziroma volumske teže. Za direktno uporabo je z oceno dobro ovrednoteno le malo.

Domače staro železo je v pogledu uporabnosti slabo in njegove lastnosti zelo nihajo v odvisnosti od dobaviteljev kot tudi časa dobave. Lastni povratek se v bistvu uporablja tak kot nastane v posameznem obratu.

Priprave starega železa v modernem smislu praktično ni. V pripravi vložka obstaja le rezalna naprava—škarje, ki tako po dimenzijah kot količinah lahko obdelajo in pripravijo le del saržirnega vložka. Potrebnost investicije v to področje, ki je bistveno za dobro delo EOP, je ocenjena različno. Poudariti moramo našo grobo oceno, da imamo zaradi nepripravljenega starega saržirnega železa približno za 20–40 kWh/t višje specifične porabe električne energije, če ne upoštevamo še vzporednih učinkov kot so: spec. porabe OM, elektrod, zastojev T/T časov. Naša trditev je potrjena z ustrežno literaturo¹.

Smatramo, da je ureditev in investiranje v ta del tehnološke poti bistveno predvsem iz razlogov:

- dvig specifične storilnosti EOP
- dvig v kvalitetnem smislu
- znižanje specifičnih porab vseh vrst na primarnem agregatu jeklarne.

3.2 UHP-EOP-EBT—85 ton

Z uvedbo in razmahom sekundarne metalurgije izdelave jekla je EOP izgubila klasično mesto v E jeklarni in se je njeno delo reduciralo na funkcijo talilnega agregata, v katerem čim hitreje izvedemo sledeče faze tehnološkega procesa:

- raztalitev vložka
- oksidacijo odvečnih elementov iz kopeli
- razfosorenje
- ogretje taline na temperature, ki omogoča izdelavo jekla po postopkih sekundarne metalurgije

Firma DEMAG je dobavila EOP brez dodatne opreme, ki je bistvena za boljše in gospodarnije delo agregata. Od pričetka obratovanja leta 1987 do danes smo uspeli kupiti, vgraditi in usposobiti za obratovanje na EOP sistem za vpihovanje prašnatih karbonskih materialov za tvorbo penečih žilinder, kisikovo kopje in DPP oziroma VVS sistem za mešanje jeklene kopeli z inertnimi plini skozi dno agregata. Vsa ta oprema normalno deluje in daje v ekonomsko-tehničnem pogledu pozitivne rezultate.

3.3 Področje sekundarne metalurgije

Na področju sekundarne metalurgije so locirani sledeči agregati:

- VOD/VD naprava kapacitete 90 ton
- TN naprava
- stroj za uvajanje polnjenih žic

Bistveni agregat, katerega prisotnost na tem področju v modernih jeklarnah ne moremo pogojevati je ponovna peč, ki omogoča maksimalne prihranke. Ponovna peč kot sam agregat nima direktno velikega vpliva na zniževanje stroškov. Njena polna veljavnost pa nastopi v funkciji rezervoarja jeklene taline, ki je podvržena metalurškim operacijam in nam omogoča vlivanje jekla v sekvencah, kjer so prihranki maksimalni.

3.4 Naprava za kontinuirno vlivanje slabov

Izvedba naprave za kontinuirno vlivanje jekla nam zaradi načina hlajenja žile ne omogoča vlivanja posameznih kvalitet mikrolegiranega jekla. Investicije v spremembo hladilnega sistema in dodatno manjkajočo opremo so nujno potrebne.

Iz opisa je razvidna opremljenost agregatov in tehnoloških poti v Jeklarni Bela z dodatno opremo. Slika 1 prikazuje primerjavo opremljenosti EOP v jeklarni Bela s sorodnim agregatom v BSW, ki predstavlja najproduktivnejšo mini jeklarno na svetu.

4 Primerjave specifičnih porab med jeklarno Bela in BSW²

V tabeli 1 so navedene specifične porabe na tono izdelanega jekla (slab, gredica) v obeh jeklarnah.

Glede na omenjene razlike v opremljenosti primarnih ter dodatnih agregatov v tehnološki verigi izdelave jekla smo na podlagi podatkov BSW³, ki navajajo prihranke specifičnih porab po vrsti ukrepov izdelali novo tabelo 2, ki prikazuje specifično porabo električne energije.

Razlika med jeklarno Bela in BSW znaša 60 kWh/t jekla. Znan je podatek⁴, da je med procesom izdelave chg v jeklarni Bela približno 8% izgube električne energije zaradi motenj iz kakršnihkoli vzrokov (zastoji) in to zneso: $570 \times 0,08 = 45 \text{ kWh/t}$ ostalih 20 kWh* razlike lahko upravičeno pripišemo slabši pripravljenosti starega železa, kar je že omenjeno.

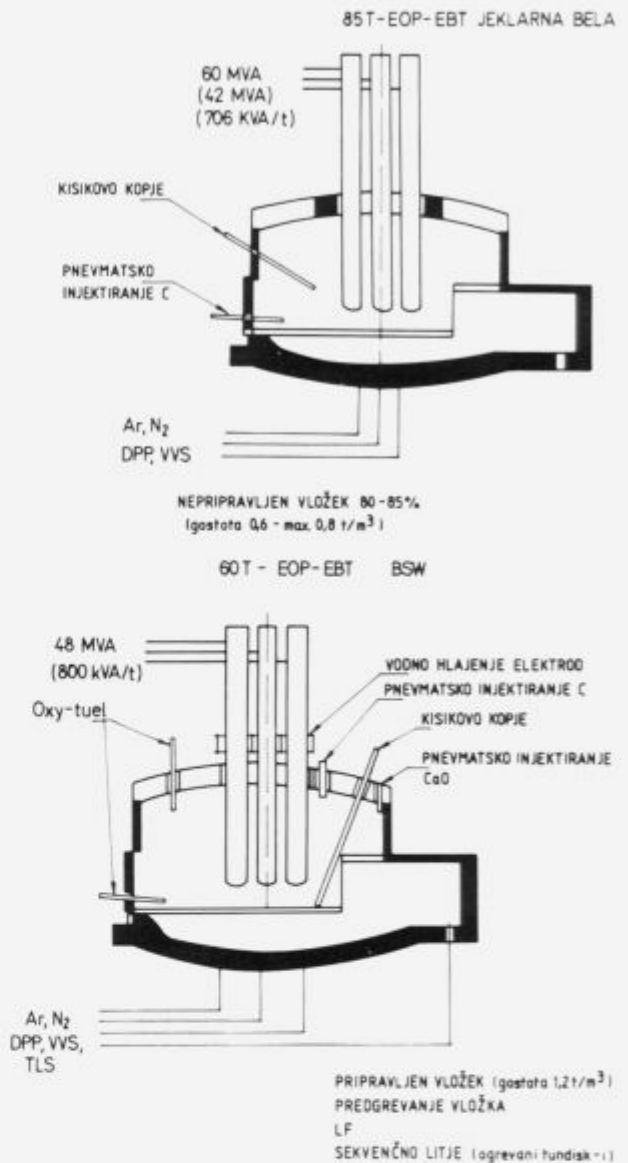
Proizvodnja, specifična storilnost, specifična poraba EE in elektrod od samega začetka obratovanja jeklarne Bela je prikazano z diagrami na slikah 2,3,4,5 in 6. Enak izračun primerjave med jeklarno Bela in BSW, kot smo ga izdelali za EE velja tudi za specifično porabo elektrod, kjer prav tako pridemo v obeh jeklarnah na približno enake specifične porabe.

5 Stroški

Tabela 3 prikazuje stroške izdelave jekla v jeklarni Bela in BSW.

Določen vpliv na izredno visoko ceno jekla imajo stroški, ki so trenutno nad evropskim nivojem. Preračun stroškov pri upoštevanju izenačitve specifičnih porab v jeklarni Bela in BSW kaže, da bistveno odstopamo navzgor v:

*Upoštevam, da BSW izgubi cca 5 kWh/t na račun zastojev.



Slika 1. Primerjava opremljenosti.



Slika 2. Proizvodnja jeklarne Bela.

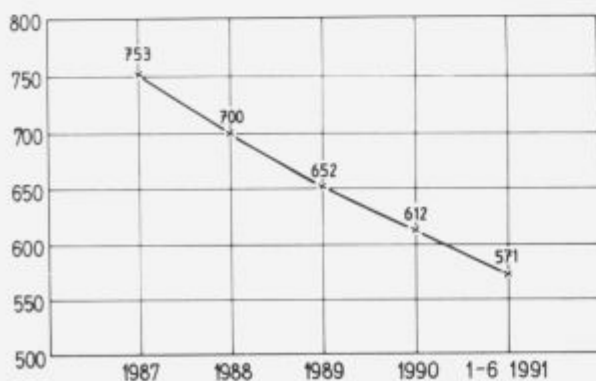
• vložek energija	+54 DEM/t
OM	+65 DEM/t
	+32 DEM/t

Tabela 1. Specifični kazalci v Jeklarni Bela in BSW.

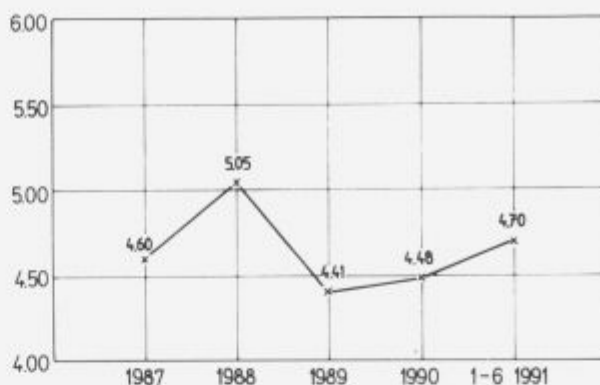
Kazalec	Jeklarna Bela	BSW
produktivnost t/MWh	1.15	1.7
EE EOP kWh/t	570	390
LF	0	15
	570	405
kisik m ³ /t	16	22
elektrode kg/t		
EOP	4.7	2.75
LF	0	0.15
	4.7	2.90
Poraba OM kg/t		
srce	0.53	0.30
stena in dno	1.07	0.3
obrizeg sten in dno	5.92	4.5
Zastoji %		
mehanski	3.2	0.2
električni	5.39	0.1
tehnološki	8.17	3.8
	16.76	4.1

Tabela 2. Prihranki glede na vrsto ukrepov—znižanje EE (kWh/t)

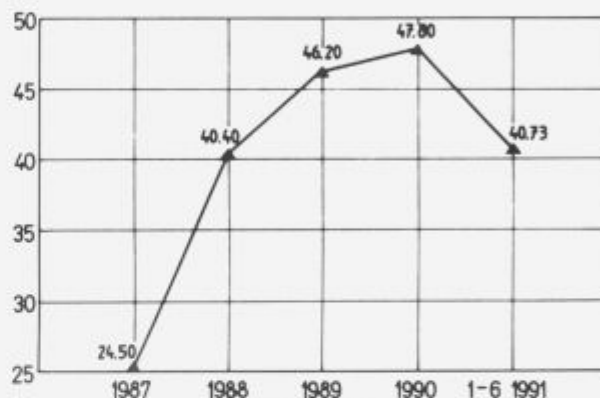
Ukrep	jeklarna Bela	BSW
obstoječe	570	390
predgrevanje vložka	0	40
kontrola dolžine obloka	0	15
statični VAR sistem	0	5
avtomatika dodajanja legur	0	5
LF	0	15
sistem vročih ponovc	0	10
procesna avtomatika	0	15
trening posadk	15	30
skupaj	585	525



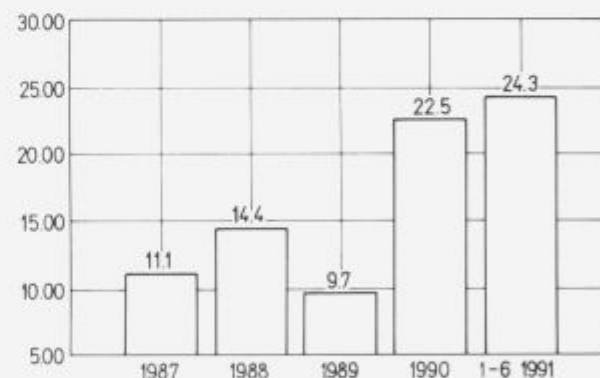
Slika 3. Specifična poraba električne energije.



Slika 4. Specifična poraba elektrod.



Slika 5. Produktivnost.



Slika 6. Specifična poraba kisika na peči.

AM+zavarovanje +71 DEM/t
ostalo +32 DEM/t
skupaj +254 DEM/t

Torej: $925 - 254 = 671$ DEM/t jekla oziroma smo zaradi naših specifičnih porab predragi za: $671 - 474 = 197$ DEM/t jekla.

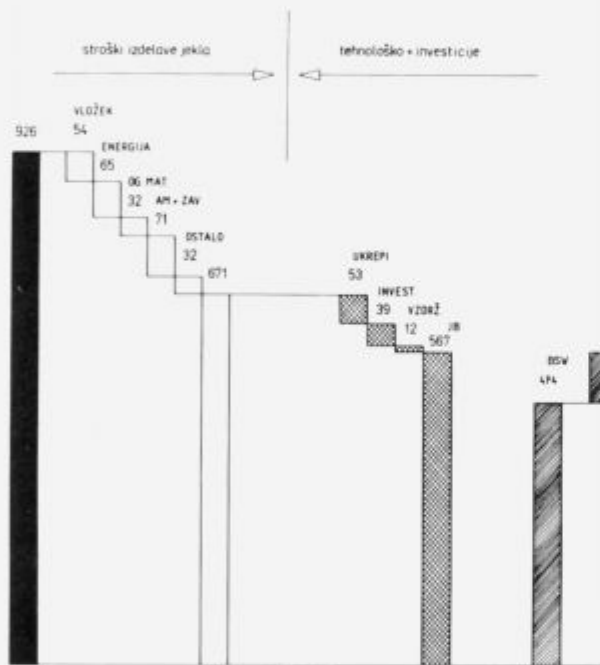
Odnose kaže slika 7.

6 Ukrepi za znižanje specifičnih porab v jeklarni Bela

Zaradi previsokih proizvodnih stroškov smo v jeklarni Bela ob koncu leta 1990 pričeli z intenzivnim izvajanjem ukrepov, ki vodijo k ekonomičnejšemu delu. Tehnološki ukrepi, ki so razvidni iz tabel 4 in 5, skupno z investicijami nam prinesejo prihranek v višini 92 DEM/t, ostali prihranek moramo izkazati še v znižani specifični porabi električne

Tabela 3. Stroški izdelave jekla.

Vrsta	Jeklarna Bela		BSW	
	%	DEM/t	%	DEM/t
vložek	42	385	65	308
AM+zavarovanje	20	182	11	52
variabilni stroški	38	358	24	114
	100	925 (14)	100	474
variabilni stroški:				
transport	6	21	12	13
OM	18	65	13	15
elektrode	7	24	14	16
vzdrževanje	10	34	15	17
energija	43	153	44	50
ostalo	17	61	2	3



Slika 7.

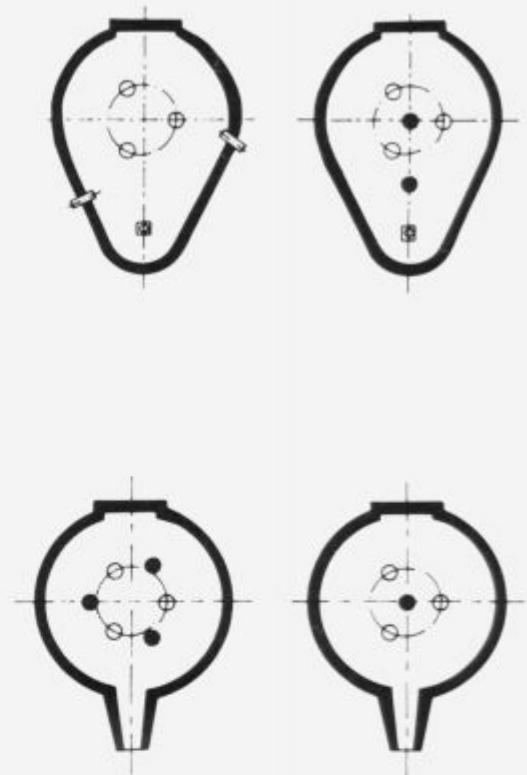
energije, ki bo sledila investicijam v pripravi vložka (20 kWh/t) in znižanju zastojev na minimum med izdelavo chg (40 kWh/t), kar je $60 \times 0.2 \text{ DEM} = 12 \text{ DEM/t}$ in intenzivnemu sekvenčnemu litju ter izdelavi cenovno visokih kvalitet t.j. dinamio, nerjavnih in mikrolegiranih jekel.

7 DPP (Direct pouring plug-Radex) oziroma VVS (Veitch-Venete-Spülsystem) sistem

Eden izmed ukrepov za znižanje stroškov izdelave jekla je mešanje jeklene taline z uvajanjem inertnega plina skozi dno EOP. V jeklarni Bela smo s tem načinom dela pričeli leta 1989. Prvotno smo imeli vgrajen DPP sistem, ki smo ga zaradi pomankljivosti v letu 1991 zamenjali z VVS sistemom.

Shemi obeh sistemov prikazuje slika 8.

Prednosti VVS sistema pred DPP so prikazane v tabeli 6.



Slika 8.

Tabela 6.

DPP ⁵	VVS ⁶
porozni kamen je v stiku z jeklom	izvor inertnega plina je pokrit s porozno maso dna in ni v kontaktu z jeklom
porozni kamen je potrebno menjati na 250 chg	izvor argona (ceveni sistem) traja toliko časa kot je kampanja dna (nad 1 leto)
obraba kamna znaša 0.4 do 0.5 mm na obratovalno uro	dno EOP potrebuje redno vzdrževanje
curek plina je ostro lokaliziran	curek plina je širok
močno lokalno mešanje	mešanje je širše
žlindre lokalno ni, dvig dušika	film žlindre ni prekinjen, zaščita taline
potreben je kontinuirni tok plina (hot hell)	tok plina po P/ON prekinemo

8 Metalurški efekti mešanja taline z inertnim plinom

Izredno pomembna je mešalna energija, ki jo določimo po znanih enačbah⁷.

Metalurške prednosti so:

- mešanje taline skozi dno z inertnim plinom izboljša transport ogljika iz notranosti kopeli na površino oziroma fazno mejo žlindra—jeklena talina in izboljša se redukcija Fe, Mn in Cr oksidov.

Tabela 4. Znižanje električne energije in P/ON časov—varianta A.

Ukrepi	60 MW		42 MW		30 MW	
	P/ON (min)	EE (kWh/t)	P/ON (min)	EE (kWh/t)	P/ON (min)	EE (kWh/t)
Izhodno stanje	69.49	573.39	100.17	619.93	141.81	686.93
-1% izmeta	68.84	568.02	99.41	613.78	140.08	679.74
apno 50.7 kg/t	67.56	557.42	97.47	602.46	137.12	667.43
kisik 24.25 kg/t	63.39	550.75	87.73	586.90	115.19	632.35
peneča žindra	61.53	533.76	84.85	576.96	110.34	607.48
DPP,VVS	61.05	528.9	84.07	562.2	109.9	600.40
-6°C temp. preboda	60.92	527.75	83.89	561.05	108.85	599.25
oxy-fuel	52.82	455.90	71.46	492.7	90.08	512.47
LF	51.20	439.68	69.24	475.27	87.2	494.08
RAZLIKA	18.29	133.71	30.93	144.66	54.61	192.85

Tabela 5. Znižanje električne energije in P/ON časov—varianta B.

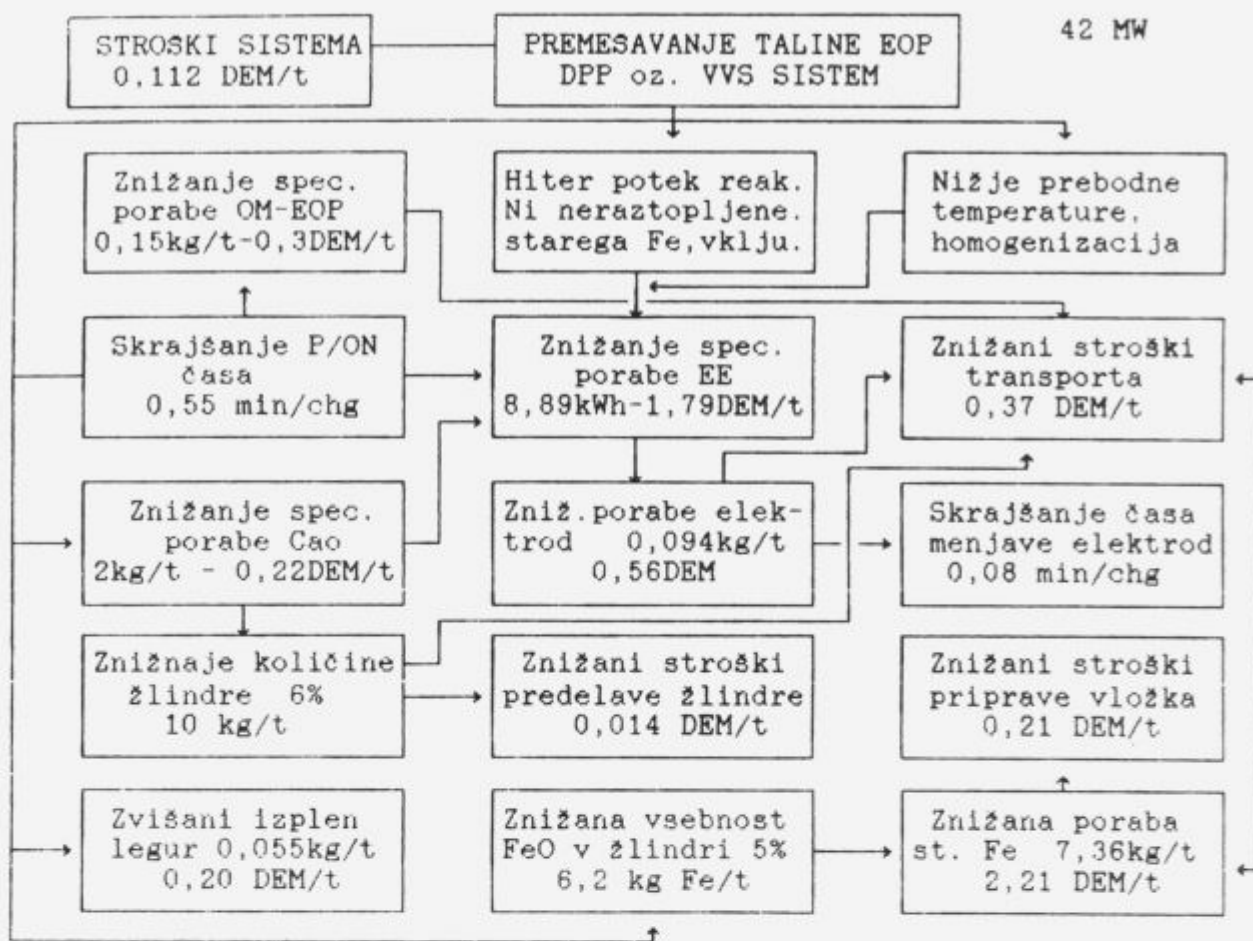
Ukrepi	60 MW		42 MW		30 MW	
	P/ON (min)	EE (kWh/t)	P/ON (min)	EE (kWh/t)	P/ON (min)	EE (kWh/t)
Izhodno stanje	69.49	573.39	100.17	619.93	141.81	686.93
-1% izmeta	68.84	568.02	99.41	613.78	140.08	679.74
apno 45/t	67.01	557.98	96.68	596.64	136.02	661.12
kisik 35kg/t	61.00	542.31	82.59	574.09	104.00	610.06
peneča žindra	59.40	525.36	80.13	554.12	100.17	585.47
DPP,VVS	59.08	521.13	79.58	548.46	99.38	578.61
-10°C temp. preboda	58.87	519.21	79.28	546.54	98.98	576.69
oxy-fuel	50.85	474.23	67.20	468.24	80.83	489.16
LF	49.18	431.20	64.95	451.40	77.98	471.40
RAZLIKA	20.31	142.19	35.22	168.53	63.83	215.53

- topnost kisika v jekleni kopeli je odvisna poleg ogljika še od FeO v žindri. Pri mešanju taline z inertnim plinom nastopi redukcija raztopljenega kisika v jeklu z ogljikom iz kopeli in reakcija poteče bližje ravnotežju. Mešanje reducira parcialni tlak CO v talini.
- odstranjevanje dušika poteka pri vpihovanju argona tako, da se raztopljeni dušik absorbira v mehur argona.
- odžveplanje je odvisno od številnih faktorjev, od katerih sta najvažnejša temperatura in kemizem žindre. Mešanje povzroči redukcijo FeO v žindri, zniža kisik v jeklu.

- defosforizacija je izboljšana predvsem na račun boljšega masnega transporta.
- prihranek električne energije znaša 10 do 15 kWh/t.
- homogenizacija v temperaturnem in kemičnem pomenu.
- zvišanje produktivnosti (cold spots)
- glede OM so mnenja deljena

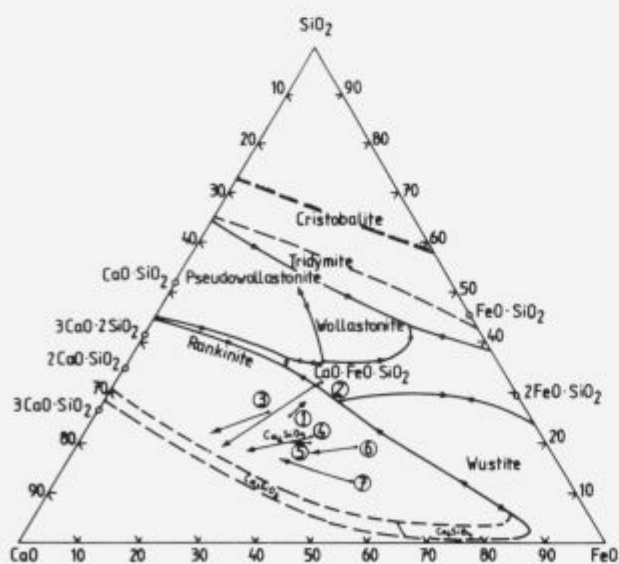
Znižanje stroškov z uporabo DPP oziroma VVS sistema nam shematsko prikazuje slika 9⁸.

Gibanje vsebnosti FeO v žindri od raztalitve do preboda pri mešanju in nemešanju kaže slika 10⁹.



Skupni prihranek 5,76 DEM/t

Slika 9.

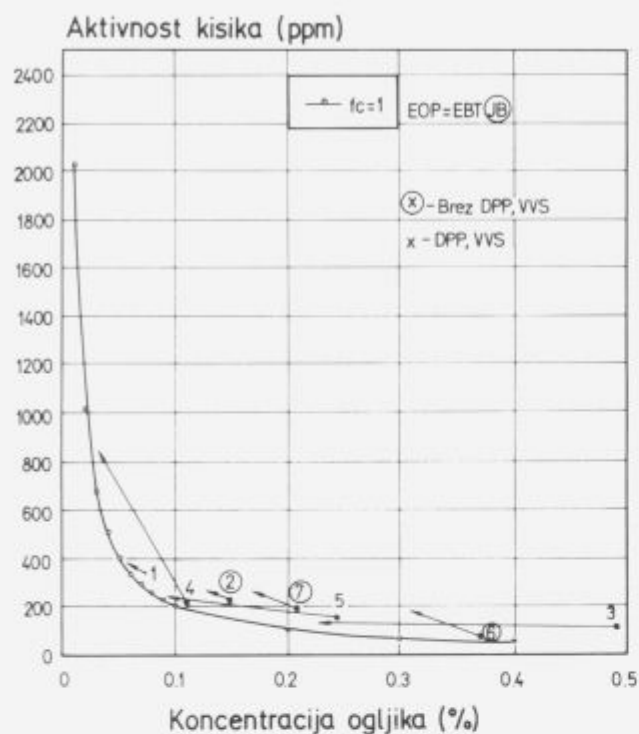


Slika 10.

Približevanje reakcij k ravnotežju je razvidno iz slike 11¹⁰.

9 Zaključki

- Jeklarna Bela ima pomanjkljivo opremljene agregate in nedograjene tehnološke poti za proizvodnjo jekla.
- Tehnološki ukrepi za znižanje stroškov se morajo izvajati naprej z nezmanjšano intenziteto in z istočasnim iskanjem novih poti.
- Potrebno je racionalizirati vsa področja porabe (službe, transport, vzdrževanje...).
- Storit določene ekonomske prijeme.
- Rigorozni ukrepi na področju nabavne politike.
- Ofenzivno nastopati na trgu in iskati nove.
- Preiti na izdelavo asortimana jekel, ki visoke stroške cenovno prenesejo: nerjavna, dinamo in mikrolegirana.
- Določiti vrstni red investicij in to na podlagi doseganja maksimalnega stroškovnega učinka, kvalitete in produktivnosti.
- Okrepiti sodelovanje z IMT, Univerzo in sorodnimi institucijami v tujini.
- Določene reorganizacije na nivoju obrata in permanentno izobraževanje vodstvenega in vodilnega kadra.



Slika 11. Odnos C-O, $T = 1600^{\circ}\text{C}$, $p = 1 \text{ atm}$.

10 Literatura

- ¹ W.E. Schwabe in sod.: Effect of Scrap Conditions and Charge Composition on Power Delivery and Melting in Arc Furnace, Electric Furnace Conf. Proceedings, Dallas, 1986.
- ² K.H. Klein in sod.: Combining Eccentric Bottom Tapping and Ladle Furnace for Highly efficient Steelmaking at Badische Stahlwerke AG, Electric Furnace Conf. Proceedings, Dallas, 1989.
- ³ K.H. Klein in sod.: Ultrahigh-efficiency steelmaking at Badische Stahlwerke AG, European Electric Steel Congress, 2, Florence, 1986.
- ⁴ S. Kanalec: Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, 1991.
- ⁵ E. Hoffken in sod.: Bottom Stirring in the Electric Arc Furnace by Introduction of Inert Gases, Stahl Eisen, 1989, s. 83/88.
- ⁶ J. Cipolla in sod.: Experience of inert gas stirring in the EAF at Armco Butler, Electric Furnace Conf. Proceedings, Dallas 1990.
- ⁷ C.T. Schade in sod.: Evaluation of Bottom Stirring in Lukens Electric arc Furnace, Electric Furnace Conf. Proceedings, Dallas, 1990.
- ⁸ M. Tolar in sod.: Ukrepi za ekonomično delo Jeklarne Bela. 2. Seminar, Jesenice, 1991.
- ⁹ M. Tolar: Neobjavljeni podatki.
- ¹⁰ M. Tolar: Neobjavljene raziskave.