

## Uporaba procesnega računalnika v elektrojeklarni\*

Jože Šegel

Slovenske železarne — ŽELEZARNA RAVNE proizvaja več sto vrst ogljikovih, nizko, srednje in visoko legiranih jekel za potrebe valjarne, kovačnice in jeklolivarne. Za izdelavo jekla se uporabljajo med drugim tudi štiri elektroobločne peči, od 15 do 45 ton kapacitet. Pri analizi možnosti uporabe procesnih računalnikov za zahtevno in raznoliko proizvodnjo je bilo ugotovljeno, da je mogoče s primerno računalniško opremo in programi AVTOMET firme Process Co iz Pittsburgha (ZDA) v precej kratkem času vključiti procesni računalnik v skoraj vse faze tehnološkega procesa izdelave jekla na elektroobločnih pečeh. Takšna pot je bila učinkovitejša kot lastni razvoj aplikacij.

Članek opisuje vsebino, obseg in prve rezultate projekta uvedbe procesnih računalnikov v jeklarne železarne Ravne. V začetku so prikazane matematične metode in modeli uporabe računalnika v posameznih fazah tehnološkega procesa.

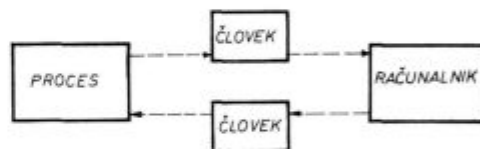
### UPORABLJENI RAČUNALNIŠKI MODELI

Za vsak industrijski tehnološki proces je značilno, da vsebuje in povezuje tok materiala, energije ter informacij. Upravljanje in kontrola tehnološkega procesa je mogoča le ob primernem obsegu in nivoju informacij. Planiranje proizvodnje, nabavljanje surovin, vodenje in kontrola procesa, povratne informacije so področja, ki so tesno povezana z informacijskim sistemom. Računalnik se

v informacijski sistem in v upravljanje tehnološkega procesa lahko vključuje v obliki različnih modelov:

#### a) »OFF-LINE« model

Najpreprostejši model je »OFF-LINE«, ki ga kaže slika 1. Obdelani podatki se v obliki povratnih informacij vračajo v proces. Računalniku daje informacije o procesu človek. Takšen način upo-



Slika 1  
Off-line model (ročno zbiranje podatkov)  
Fig. 1  
Off-line model (manual collecting data)

rabe računalnika se pogosto uporablja pri raziskavah in matematično statističnih analizah tehnoloških procesov v jeklarni. Model se uporablja predvsem pri prvih poizkusih uporabe računalnika v jeklarni, primeren pa je tudi kasneje za razvijanje in izboljšave avtomatizirane proizvodnje.

#### b) »IN-LINE« model

Pri tem modelu ročno zbiramo podatke o procesu, vnašamo podatke v računalnik preko terminala ali podobnega medija in obdelane podatke pregledamo. Po potrebi jih ročno obdelamo ter šele nato uporabimo pri upravljanju procesa (Slika 2).

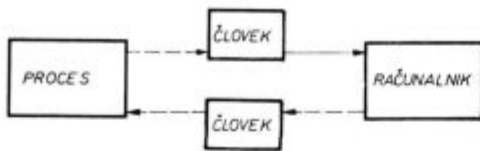
Model se uporablja tam, kjer ni mogoče avtomatsko zbiranje podatkov z merilnimi instrumenti ali pa je takšno zbiranje nerentabilno. Primer:

Pri uporabi računalnika za izračun optimalne sestave vložka tehnolog tekoče vnaša nove dohode na skladišče starega železa s terminalom.

Jože Šegel, dipl. inž. met. vodi službo za avtomatizacijo proizvodnih procesov v Železarni Ravne.

\* Članek predstavlja slovenski prevod avtorjevega referata na »Third International Iron & Steel Congress« (April 1978, Chicago, ZDA)

\*\* Uporaba procesnih računalnikov je še precej novo področje in zato za nekatere angleške izraze še nimamo ustreznega udomačenega slovenskega prevoda.



Slika 2

In-line model (pogosto in tekoče vnašanje podatkov v računalnik)

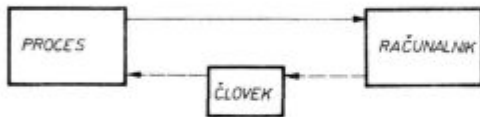
Fig. 2

In-line model (frequent and fluent data input in computer)

Izračunano sestavo vložka pregleda, po potrebi popravi in šele nato pošlje na pripravo vložka dokumente za tehtanje vložka.

### c) »ON-LINE OPEN LOOP« model

Slika 3 kaže model neposredne zveze med procesom in računalnikom pri vnašanju podatkov v računalnik. Povratne informacije se obdelajo v računalniku in dajo na razpolago človeku kot pomoč za vodenje, spremembe ali izboljšave procesa.



Slika 3

On-line open loop model

Fig. 3

On-line open loop model

Takšen model nastopa v jeklarstvu takrat, kadar računalnik lahko neposredno dobiva povratne informacije, ne more pa neposredno vplivati na spremembe v tehnološkem procesu. Razlogov za to je lahko več. Navedimo primer:

Pri izračunu dodatka ferolegur dobiva računalnik podatke o kemijski sestavi prvega preizkusnega vzorca neposredno z izvrednotenjem kvantometrskih meritev in talilcu izračuna potrebne dodatke ferolegur. Talilec se odloči, ali bo izračun uporabil ali ne, saj le on ve, ali je izdelava šarže potekala normalno. Računalnik tega ne ve, ker veliko pomembnih tehnoloških parametrov ni mogoče dovolj zanesljivo, točno in hitro meriti.

Podoben praktičen primer je tudi vključitev varnostnega sistema v računalniško kontrolo. Znak za nevarnost sprejme računalnik neposredno in ga ustrezno obdelata. Talilca pri peči dodatno opozori o znakih nevarnosti in mu svetuje, kaj naj ukrene.

### d) »ON-LINE CLOSE LOOP« model

V tem modelu z zaprto zanko, ki ga kaže slika 4 računalnik sam upravlja s procesom, brez človekovih posegov. Sistem z zaprto zanko lahko upravlja proces neposredno ali s pomočjo krmilnih naprav, kjer samo spremeni nastavljene parametre. Ta sistem se lahko uporablja v procesu

samo za nekatere dele procesa od trenutka, ko operater sporoči računalniku, da je vse pripravljeno.

Pri vodenju raztaljevanja vložka ene košare v elektro obločni peči imamo primer, da talilec sporoči, da je košara založena in od tega trenutka dalje stopi v veljavo »ON-LINE CLOSE LOOP« model uporabe računalnika.



Slika 4

On-line closed-loop model

Fig. 4

On-line closed loop model

Raztaljevanje ene košare lahko smatramo za podproces, ki ga neposredno upravlja računalnik. Upravljanje se zaključi, ko je košara raztaljena.

Za celoten proces izdelave jekla v elektroobločnih pečeh je značilno, da lahko uporabljamo vse do sedaj naštetih modele. Proces razdelimo na podprocese in glede na tehnološki in informacijski nivo izberemo in vključimo enega od obravnavanih modelov uporabe računalnika.

Poleg različnih modelov uporabe računalnika imamo opraviti še s sistemom, ki mora upravljati več procesov. Računalnik mora biti istočasno na razpolago in delati za več peči, ki lahko delajo v isti ali v različnih tehnoloških fazah. Dokaj zahtevna naloga je v računalniku rešena s sistemom »Time Sharing«, ki omogoča istočasno delo za več tehnoloških procesov takrat, ko je to potrebno, ali kakor rečemo, v realnem času. V takem sistemu je nujno potrebno dodeliti posameznim programom uporabe določene prednosti, kajti nekateri deli tehnološkega procesa izdelave jekla so bolj nujni in važnejši od drugih.

Sistem upravljanja procesa s pomočjo računalnika lahko gledamo s stališča nadzora in ugotovimo, da imamo opraviti z izrazito uporabo povratnih informacij in napovedi z matematičnimi modeli. Tako na primer s pomočjo kemijske analize prvega preizkusnega vzorca nadziramo proces in ga z računalnikom popravljamo pri dodajanju ferolegur.

Na drugi strani v naprej napovedujemo, katere vrste in koliko vložnih surovin je potrebno nabaviti.

## UPORABLJENE MATEMATIČNE METODE

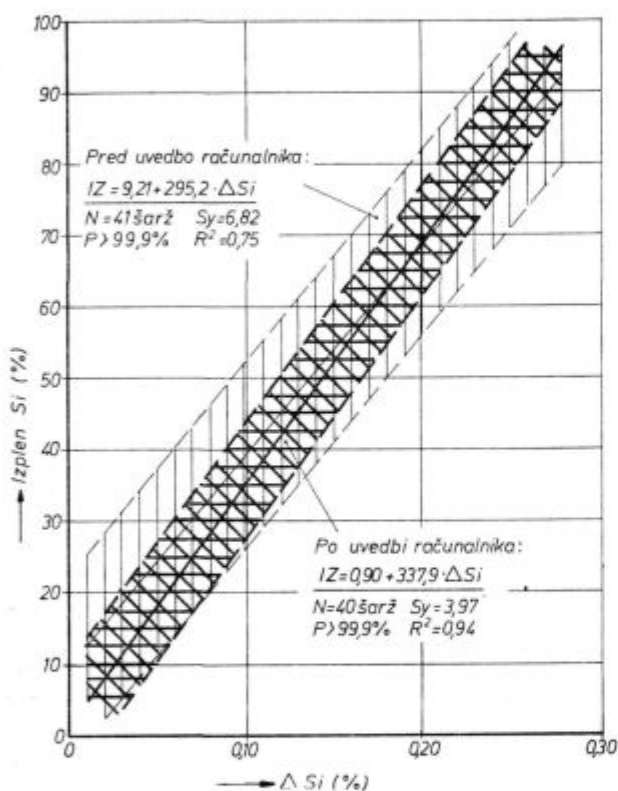
Za celoten koncept uporabe procesnega računalnika pri izdelavi jekla je značilno, da se je potrebno posluževati poleg različnih modelov uporabe računalnika tudi različnih matematičnih metod optimalnega izračuna. Še posebej izstopa kombinacija uporabe metod linearnega programi-

ranja in statičnih regresijskih enačb. Ta kombinacija se pojavlja pri:

- optimiranju naročanja vložnih materialov,
- izračun sestave vložka,
- izbiri jekla po raztalitvi vložka in
- izračunu dodatka ferolegur.

Matematičnemu modelu so dodane praktične omejitve. Model je dinamičen, saj je koristno in potrebno občasno iskati nove regresijske enačbe, ki morebiti pojasnjujejo novosti v tehnološkem procesu. Takšno novost predstavlja tudi uvedba procesnega računalnika za izračun dodatka ferolegur.

Na sliki 5 je prikazana regresijska odvisnost med odgorom Si in razliko % Si (prirastek % pri legiranju) pred uvedbo računalnika in po njem.



Slika 5

Primerjava regresijske enačbe izplena silicija pred in po uvedbi računalnika

Fig. 5

Comparison of the regression equation for silicon yield before and after the application of computer control.

Za uspešnost uvedbe računalnika za vodenje jeklarskih procesov so izredno pomembne dobre regresijske enačbe, ki pojasnjujejo zakonitosti v procesu in povečajo matematično determiniranost procesov in zanesljivost izračunov.

Pri iskanju regresijskih enačb odgorov smo se poslužili večstopenjske nelinearne analize regresije na IBM 370 računalniku. Za posamezne skupine jekel in elementov smo pripravili s pomočjo več tisoč šaržnih kartonov več kot 130 regresijskih enačb.

Pri dani željeni kemijski sestavi jekla in praktičnih omejitvah je ciljna funkcija linearnega programiranja: minimalni stroški. To pomeni, da je potrebno poiskati najcenejšo kombinacijo vložnih ali legirnih materialov. S pomočjo regresijskih enačb odgorov in drugih statističnih parametrov dosežemo natančnejši končni izračun posameznih materialnih komponent.

## RAZDELITEV IN POVEZANOST SISTEMOV UPORABE RAČUNALNIKA NA ELEKTROOBLOČNIH PEČEH

Paket programov AVTOMET firme Process Co. iz ZDA posega posredno in neposredno v vse faze izdelave jekla na elektroobločnih pečeh.

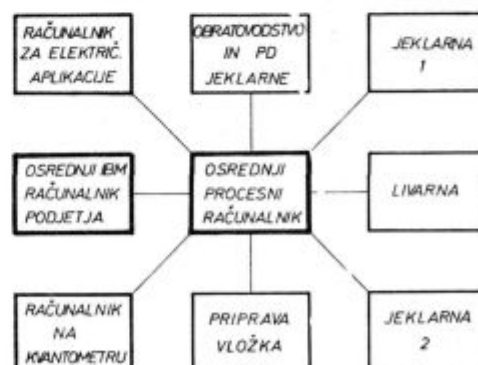
V posameznih fazah dela se uporabljajo različni sistemi uporabe računalnika.

Tabela 1 nam daje pregled uporabe računalnika za vse faze izdelave jekla. Vidimo, da je večina teh na nivoju »ON-LINE OPEN LOOP« in da je za celoten proces izdelave jekla na elektropečeh značilno, da ga ni mogoče obravnavati kot en model.

Ob uvajanju vseh naštetih vrst uporabe se vzporedno pojavlja problem enotnega sistema zbiranja, prenosa in uporabe informacij. Glavni procesni računalnik jeklarne mora zagotavljati ustrezno povezavo

- s pripravo dela in obratovodstvom jeklarne,
- s posamezno elektroobločno pečjo,
- s pripravo vložka,
- z računalnikom v kemijskem laboratoriju,
- z računalnikom za krmiljenje električne energije,
- z osrednjim računalnikom podjetja in
- posredno ter neposredno z nabavno službo.

Slika 6 kaže omenjeno povezanost v železarni Ravne, kjer se gradi enoten računalniški informacijski sistem za celo podjetje.



Slika 6

Informacijski računalniški sistem jeklarne v železarni Ravne

Fig. 6

Information computer system in the steelplant of Ravne Ironworks.

Tabela 1: Pregled uporabe procesnega računalnika po fazah izdelave jekla na elektroobločnih pečeh

OPERACIJA	UPORABA RAČUNALNIKA	MODEL UPORABE RAČUNALNIKA
Naročila	Vodenje knjige naročil	OFF-LINE
Nabava surovin	Optimalno naročanje surovin	OFF-LINE
Priprava vložka	Izračun sestave vložka	IN-LINE
Taljenje vložka	— Vodenje faze taljenja — Razdeljevanje razpoložljive električne energije	ON-LINE CLOSE LOOP ON-LINE CLOSE LOOP
Kemijska analiza 1. preizkusni vzorec	— Izvrednotenje meritev kvantometra* — Izbira jekla za izdelavo	ON-LINE CLOSE LOOP ON-LINE CLOSE LOOP
Oksidacija	Izračun količine in časa pihanja kisika	ON-LINE CLOSE LOOP
Kemijska analiza 2. preizkusnega vzorca	Izvrednotenje meritev kvantometra*	ON-LINE OPEN LOOP
Dezoksidacija in rafinacija	Izračun dodatkov za dezoksidacijo in rafinacijo	ON-LINE OPEN LOOP
Kemijska analiza 3. preizkusnega vzorca	Izvrednotenje meritev kvantometra	ON-LINE OPEN LOOP
Dodatek ferolegur	Izračun dodatkov ferolegur	ON-LINE OPEN LOOP
Litje	Vnašanje podatkov o izdelavi šarže	IN-LINE

(\* Programi firme ARL)

Za lažjo rešitev opisane zahteve je paketu AVTOMET dodan novi programski produkt »TERMINALS MANAGER« za upravljanje terminalov, ki ima:

- nadzorno
- varnostno in
- servisno funkcijo.

Uporabniki s terminali ne morejo nekontrolirano neposredno klicati programov preko operacijskega sistema, ampak samo preko »TERMINALS MANAGERja«, ki dejansko dopolnjuje operacijski sistem (slika 7).

Celoten računalniški sistem dela v realnem času (24 ur na dan) in na osnovi »Time Sharing« uporabe računalnika. Več uporabnikov lahko hkrati uporablja računalnik ali celo isti program. Takšen sistem je nujen, kadar je na računalnik vezanih več peči, ki predstavljajo z informacijskega stališča neodvisne tehnološke procese.

V nadaljevanju bo na kratko opisana vsebina posameznih vrst uporabe procesnega računalnika v železarni Ravne.

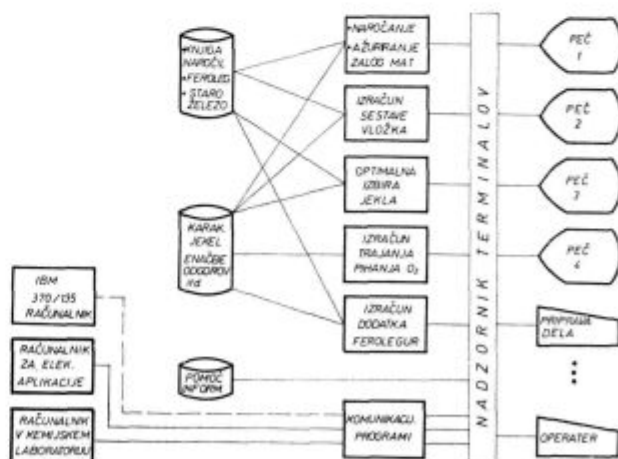
### OPTIMALNO NABAVLJANJE VLOŽNIH SUROVIN

Po uvedbi računalniškega izračuna sestave vložka in dodatka ferolegur lahko jeklarna pri-

stopi k uvedbi optimalnega nabavljanja ferolegur, legiranih odpadkov in starega železa s pomočjo procesnega računalnika.

To uporabo uvajamo v treh stopnjah razvoja:

- a) Jeklarna vodi nabavno službo z zahtevami na osnovi nepredvideno porabljenega vložka.
- b) Za pomembnejše nabave vložnih surovin uporablja nabavna služba računalnik in posebna



Slika 7  
V železarni Ravne uporabljeni AVTOMET programi  
Fig. 7  
AVTOMET programmes used in Ravne Ironworks.



programa: enega za legirane odpadke in staro železo, drugega za ferolegure.

c) Nabavna služba uporablja postopek nabavljanja, ki temelji na računalniškem izračunu potreb na osnovi plana proizvodnje in stanja zalog.

Za uspešnejšo uporabo računalnika pri izračunu sestave vložka in dodatka ferolegur je nujno, da nabavna služba upošteva potrebe jeklarne. Uporaba računalnika v jeklarni pospešuje porabo cenejših legiranih odpadkov in ferolegur. Klasičen način nabavljanja surovin za jeklaro temelji na povprečni porabi surovin v preteklem obdobju. Takšen način nabavljanja postane problematičen, saj računalniku pri izračunu sestave vložka ali dodatka ferolegur ne nudimo vse možnosti izbire surovin, ki jih ponuja trg. To predstavlja pri matematično optimalnem izračunu dodatno omejitev, katere posledica je dražja rešitev. Jeklarina mora pričeti uporabljati dražje surovine, če ji zmanjka cenejših. V takšnih situacijah prične jeklarina pospeševati nabavo cenejših surovin.

Temu sledi druga stopnja uporabe računalnika pri nabavljanju surovin. Uslužbenec nabavne službe ali priprave proizvodnje vnese v računalnik planirano proizvodnjo jekla in razpoložljive vrste surovin na trgu. Po potrebi lahko spreminja in poizkuša različne cene posameznih surovin. Pride do igre »kaj-če« pri kateri želi uslužbenec za dano situacijo dobiti najcenejšo in najsprejemljivejšo rešitev. To pride v poštev predvsem za pomembnejše nabave ali plane nabav.

Pri računanju optimalne nabave legiranih odpadkov in drugih vrst starega železa uporabljamo program, ki je podoben programu za izračun sestave vložka. Razširjen je toliko, da mu je dodana datoteka razpoložljivih vrst legiranih odpadkov in drugega starega železa na trgu. Naenkrat lahko izračunamo potrebno nabavo za eno vrsto jekla in poljubno število šarž.

Zato za posamezne skupine jekel izberemo predstavnike, ki pri izračunu tudi količinsko predstavljajo celo skupino.

Za optimalno planiranje in nabavljanje ferolegur se uporablja program, ki je podoben programu za izračun ferolegur. Pred uporabo tega programa se formira datoteka povprečne kemijske sestave jekla pred legiranjem in tekoča datoteka razpoložljivih vrst ter količin ferolegur na trgu. Program se lahko uporablja za kratkoročne in dolgoročne nabave ferolegur.

Naslednja stopnja uporabe računalnika na tem področju je popolna integralna uporaba računalnika pri nabavljanju surovin za celotno proizvodnjo jeklarne z upoštevanjem stvarnega stanja na trgu. Planirana proizvodnja jeklarne za različna obdobja se prenese iz osrednjega v procesni računalnik. Pri tem se vnese stanje na trgu in stanje zalog v podjetju ter dobi lista vložnih surovin za nabavo. Pride do skladne uporabe programov in opreme IBM ter procesnega računalnika.

## IZRAČUN SESTAVE VLOŽKA

Za vložek pri izdelavi legiranih in visoko legiranih jekel se uporablja staro železo in znaten del legiranih odpadkov, t. j. staro železo z višjo vsebnostjo legiranih elementov.

Iz več deset ali celo sto vrst legiranih odpadkov je treba izračunati sestavo vložka tako, da bomo dobili po raztalitvi želeno kemijsko sestavo in težo jekla v peči. Ta cilj lahko dosežemo z različnimi kombinacijami količin in vrst legiranega odpadka, vendar je samo en izračun za določeno situacijo optimalen, kar pomeni najcenejši in tehnološko sprejemljiv.

Pri optimizaciji izračuna sestave vložka s pomočjo linearnega programiranja z računalnikom poiščemo najcenejšo mešanico vložka in pri tem upoštevamo:

- razpoložljive zaloge legiranih odpadkov, ferolegur in starega železa,
- ciljano kemijsko sestavo po raztalitvi vložka,
- ceno posameznih vložnih materialov in
- tehnološke omejitve.

Zaradi točnega in enotnega izračuna sestave vložka se delno zoži razsipanje kemijske sestave po raztalitvi, kar ugodno vpliva na vsakdanjo prakso izdelave jekla.

Pomembna je pravilna nastavitve ciljne kemijske sestave po raztalitvi. Pri legiranih elementih, ki ne odgorevajo, optimiramo ciljano kemijsko sestavo po raztalitvi. S tem ukrepom prihranimo drage ferolegure. To je delno mogoče izvesti tudi pri jeklih z visokim predpisanim % C za tiste elemente, ki zmerno odgorevajo (n. pr. Cr, Mn).

Za vsakdanjo uporabo je program za izračun vložka s procesnim računalnikom pripravljen tako, da delavec priprave dela jeklarne s terminalom pokliče računalniški program. Pred tem mora v računalnik vnesti dejansko stanje zalog na skladišču starega železa. Pri enem klicanju programa izračuna sestavo za eno ali več šarž ene vrste jekla.

## IZBIRA JEKLA NA OSNOVI KEMIJSKE SESTAVE ŠARŽE PO RAZTALITVI VLOŽKA

V jeklarnah, kjer izdelujejo ogljikova in legirana jekla pretežno iz starega železa, nastopa resen problem, če staro železo ni dovolj dobro sortirano. Praktično nikoli ne vemo dovolj natančno, kakšna bo kemijska sestava šarže po raztalitvi. Zato je smotrno, da se šele takrat, ko vemo, s kakšno talino razpolagamo, dokončno odločimo, katero vrsto jekla bomo izdelali. Pri izbiri upoštevamo:

- naročene vrste jekla in jekla, ki jih delamo morebiti na zalogo,

— kemijsko analizo taline po raztalitvi vložka in  
— proizvodne ter tehnološko kakovostne omejitve.

Zelo koristno orodje za hitro in optimalno rešitev tega problema je procesni računalnik, ki ima v programu postavljen naslednji osnovni cilj: **poiskati tisto jeklo iz spiska naročil, pri katerem bo najvišji odstotek znižanje variabilnih stroškov.**

Znižanje se nanaša na planske variabilne stroške. Znižanje variabilnih stroškov in istočasno stabilizacijo tehnološkega procesa pri izdelavi šarže dosežemo zaradi:

- a) skrajšanja časa pihanja kisika,
- b) izkoriščanja nizkega % Cu pri raztalitvi vložka za izdelavo zahtevnejših vrst jekla,
- c) upoštevanja in izkoriščanja legirnih elementov, ki jih je pokazal prvi preizkusni vzorec in
- d) uvedbe alternativne vrste jekla za primere reševanja izmečka zaradi kemijske sestave.

Skrajšanje časa pihanja kisika dosežemo zaradi upoštevanja % C in % Si v prvem preizkusnem vzorcu in iskanja tistega jekla, pri katerem bo zagotovljen tehnološko še dopusten minimalen padec ogljika med oksidacijo.

Slučajno nizek % Cu v prvem preizkusnem vzorcu predstavlja določeno vrednost, ki jo je dobro izkoristiti, in to tako, da od možnih vrst jekla izberemo tisto jeklo, pri katerem je v končni analizi nizek % Cu posebno pomemben.

Odstotek legiranih elementov v prvem preizkusnem vzorcu je močno odvisen od slučaja. Če je odstotek posameznega legirnega elementa relativno visok, je smotrno izdelati ustrezno legirano jeklo. Pri tem se poslužimo simulacije izračuna dodatka ferolegur, ki nam omogoča ocenitev prihranka ferolegur. V to simulacijo je avtomatsko vključen tudi linearni program.

Uporaba računalnika za obravnavano področje poteka v realnem času, tako da delovodja pri peči pokliče s terminalom program, vtipka vhodne podatke in počaka na računalniško rešitev.

Izpis računalniške rešitve je običajno v takšni obliki, da daje delovodji možnost lastne presoje in izbire jekla iz ožjega računalniškega izbora.

Priprava dela jeklarne dnevno vodi evidenco naročil v računalniku. Računalnik pa avtomatsko odšteva že izdelane šarže.

Pri celovitejši obdelavi podatkov celega podjetja nastopi za to uporabo posredna ali neposredna povezava procesnega računalnika z osrednjim računalnikom podjetja. V železarni Ravne je to IBM 370 računalnik, ki ima razvit paket programov za napovedovanje potreb. Priprava dela jeklarne dobi naročila drugih obratov preko IBM centra v procesni računalnik.

## IZRAČUN KOLIČINE IN ČASA PIHANJA KISIKA

Pred fazo oksidacije jeklene taline lahko računalnik, ki dela v realnem času, izračuna količino in čas pihanja kisika.

Vhodni podatki za izračun obsegajo:

- kemijsko sestavo in temperaturo taline pred oksidacijo,
- vrsto jekla, ki ga želimo izdelati in
- težo šarže.

Z uporabo matematičnega modela in procesnega računalnika točneje izračunamo čas pihanja kisika in se s tem bolj približamo željeni kemijski sestavi po oksidaciji.

Ključni vpliv na izračunano količino kisika ima izračunan padec % C in % Si. Za posamezno jeklo ali grupo jekel imamo tehnološko predpisan najmanjši padec % C.

Računalnik izračuna količino ali čas pihanja kisika s pomočjo regresijskih enačb, ki so različne za različne grupe jekel. Podobno nam s pomočjo regresijskih enačb izračuna % Cr in % Mn po oksidaciji. To je koristna informacija za kasnejše legiranje.

Izračun količine in časa pihanja kisika lahko nastopi kot samostojen program ali kot sestavni del programa za izbiro jekla na osnovi kemijske analize po raztalitvi vložka.

V teku je posebna naloga za izboljšavo tehnologije pihanja kisika, ki bo povečala natančnost izračuna časa pihanja kisika in s tem povečala učinkovitost uporabe računalnika pri oksidaciji.

## IZRAČUN DODATKA FEROLEGUR

S pomočjo procesnega računalnika, v jeklarni inštaliranih industrijskih računalniških terminalov in »time sharing« računalniškega sistema lahko optimalno, natančneje in hitreje izračunavamo dodatek ferolegur pri izdelavi jekla v elektropečeh.

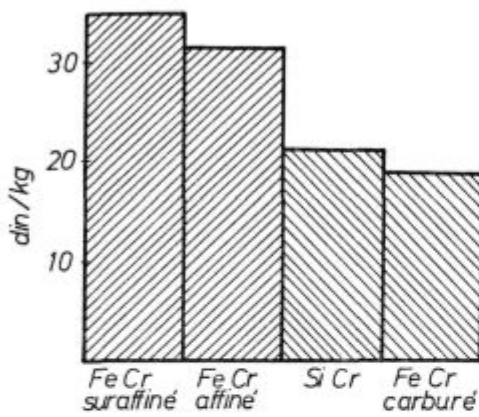
Pri tem želimo doseči naslednje cilje:

- znižati proizvodne stroške jekla,
- izboljšati enakomernost kakovosti jekla in
- znižati odstotek kemijsko zgrešenih šarž.

To dosežemo zaradi:

a) **Matematično optimalnega izračuna dodatka cenejših ferolegur na račun dražjih.** Večkomponentne ferolegure in ferolegure z višjim odstotkom ogljika so znatno cenejše, kot čiste enokomponentne ferolegure. Za ilustracijo razmerja cen čistega mangana v različnih ferolegurah si oglejmo sliko 8. Vidimo, da je Mn iz SiMn ali FeMn carburé kar 3-krat cenejši kot iz FeMn suraffinè.

Z računalnikom se uporablja za optimalni izračun matematična metoda linearnega programi-



Slika 8

Primerjava cene čistega metala v različnih ferolegurah

Fig. 8

Comparison of pure metal price in various ferroalloys.

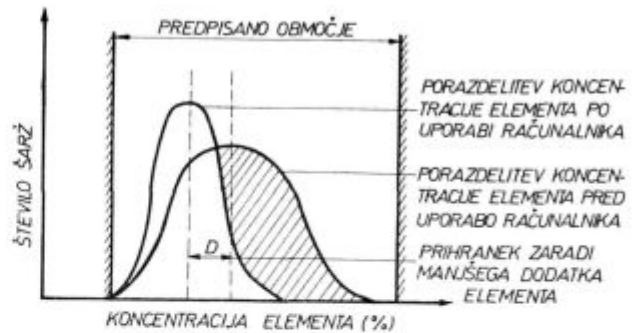
ranja, ki zaradi zahtevnosti brez računalnika sploh ni praktično izvedljiva.

b) Za vse uporabnike računalnika in programa za izračun dodatka ferolegur je **enoten postopek in enaka ciljano** sestava jekla v končni kemijski analizi.

Zaradi objektivnih in subjektivnih razlogov se pri »ročnem« izračunavanju dodatka ferolegur dogaja, da bi pri isti šarži različni delovodje izračunali različen dodatek ferolegur. Posledica tega je širše razsipanje končne kemijske sestave jekla.

Poleg matematičnega modela izračuna dodatka ferolegur so v računalnik vnesene regresijske enačbe izkoristkov — odgovor legirnih elementov in najboljša praksa glede tehnoloških posebnosti in omejitev.

Enačbe izkoristkov so razdeljene po tehnoloških postopkih in skupinah jekel. Dobljene so s pomočjo matematično-statistične analize regresije podatkov, zbranih v dokumentaciji več tisoč šaržnih kartonov. Takšna analiza je praktično izvedljiva le na večjem računalniku. Učinek uporabe računalnika pri legiranju je zoženje razsipanja končne kemijske sestave jekla.



Slika 9

Znižanje in zoženje koncentracije legiranega elementa ob uporabi procesnega računalnika

Fig. 9

Reduction and narrowing the concentration interval of the alloying element by application of the computer control.

Na sliki 9 vidimo, da lahko zaradi zožitve kemijske sestave premaknemo ciljano sestavo k nižjim vrednostim in s tem dosežemo premaknitev razsipanja bližje spodnji predpisani meji. Razlika med staro »ročno« srednjo vrednostjo in novo »računalniško« srednjo vrednostjo je ekvivalentna prihranku ferolegur.

c) Eliminirane so človeške napake pri rutinskem delu ročnega računanja dodatka ferolegur.

d) Računalnik naenkrat izračuna dodatek vseh ferolegur, tako da večkrat avtomatsko ponovi izračun. Pri tem se popravlja predpostavljena teža jekla po legiranju, kar je še posebej pomembno pri visoko legiranih jeklih.

e) V tehnoloških predpisih imajo dezoksidanti in nekatere ferolegure predpisan dodatek v kg/t jekla. Ta predpis je vključen v izračun legiranja na računalniku.

f) Računalnik nudi pomoč pri razredčitvenih izračunih šarže.

g) Delovodja dobi informativno podatek o pričakovanem padcu temperature zaradi legiranja.

Računalnik pri izračunu dodatka ferolegur upošteva zaloge, sestavo in ceno ferolegur in željeno kemijsko analizo po raztalitvi. Zato je potrebno zabeležiti zaloge ferolegur v računalnik.

BARŽA: 78091    JERLO: VCV150    CAS: 18:07    DATUM: 15-NOV-77			
MATERIAL	DODATI KG	ZE DOBANO KG	STROSKI
CASI	V PONDVCD 43.		1186,80
ALZV	26.		473,20
ALZV	V PONDVCD 7.		163,80
FEV	80.		18720,00
FESI	49.		779,70
FEMNC	139.		1028,60
FECRC	534.		6408,00
SIMN	313.		2817,00
SKUPAJI	1211.		32004,50

TEZA VLOZKA	47000.
TEZA ŠARŽE V PONDVCI 80	43357.
STROSKI LEGIRANJA (DIN/KG)	0,74
PADEC TEMPERATURE PRI LEGIRANJU	59.

Slika 10

Primer rezultata izračuna dodatka ferolegur

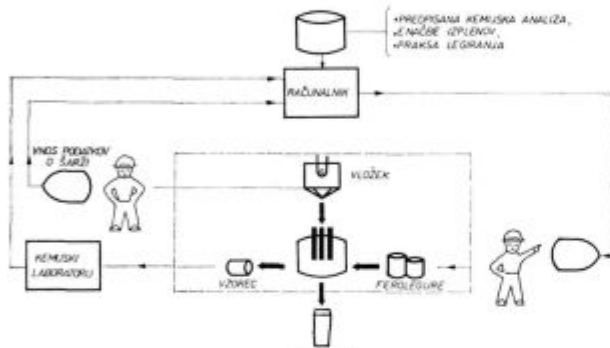
Fig. 10

Example of calculation of a ferroalloy addition.



Delovodja pokliče program za izračun dodatka ferolegur preko terminala. Pokliče ga lahko kadarkoli. Običajno je to takrat, kot je pri ročnem izračunavanju pristopil k uporabi logaritemskega računalna. Delovodja preko terminala po načelu vprašanje — odgovor vtipka osnovne vhodne podatke, ki so nujni za izračun. Temu sledi računanje v računalniku in izpis rezultata na terminal. S posebno oznako v vhodnih podatkih je predlegiranje ločeno od glavnega legiranja, kajti izkoristki ferolegur in željena kemijska sestava pri predlegiranju ni enaka legiranju.

Slika 10 kaže primer izpisa rezultata izračuna dodatka ferolegur na procesnem računalniku železarne Ravne in slika 11 sistem uporabe računalnika pri tej aplikaciji.



Slika 11

Sistem uporabe računalnika pri legiranju (on-line, open loop system)

Fig. 11

Application of computer control in alloying (on-line open loop system).

### KRMILJENJE PORABE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Kontrola in vodenje porabe razpoložljive električne energije s pomočjo manjšega procesnega računalnika omogoča enakomernjšo porabo električne energije. Stroške električne energije je tako mogoče znižati, saj ima na ceno kWh močan vpliv najvišja urna poraba energije v tekočem mesecu. V primerjavi z ostalimi odjemalci so elektroobločne peči velik porabnik električne energije, zato se krmiljenje porabe električne energije v celem podjetju osredotoči na enakomerno porabo energije elektroobločnih peči in preprečevanje visokih konic porabe.

S stališča računalniškega krmiljenja se lahko uporablja sistem z zaprto zanko »on-line close loop«. Osrednjo vlogo ima procesni računalnik z vmesniki. Vhodni podatki so skupna poraba električne energije podjetja in posamezne elektroobločne peči. Računalnik računa trend skupne porabe energije. Pomembna vloga pri ukrepanju računalnika imajo prednosti posameznih peči. Te prednosti so dinamične in so odvisne predvsem od faze dela, v kateri je peč. Običajno ima prednost tista peč, ki je bližje izlivu šarže iz peči. Računalnik preprečuje preveliko porabo energije

tako, da izključi za določen čas peč z najnižjo prioriteto, če je to tehnološko dopustno, ali prepreči vključitev nove peči.

Vzporedno računalnik zbira, shranjuje in izpisuje na terminal v razdelilni postaji podatke o porabi električne energije.

Sistem upravljanja mora biti zgrajen tako, da je vedno mogoč preklon na ročno vodenje.

### VODENJE ELEKTRIČNE MOČI ELEKTROOBLOČNE PEČI

Način vodenja električne moči na elektroobločni peči vpliva na specifično porabo električne energije, vzdržljivost obzidave in potrošnja elektrod. Še posebej pomembna je faza taljenja vložka. Za ročno vodenje je potrebno veliko strokovnega znanja in spretnosti, če želimo doseči dobre rezultate, ki pa še vedno zaostajajo za optimalnimi možnostmi.

Procesni računalnik vodi taljenje posamezne košare vložka po optimalni, praktično potrjeni poti s sistemom zaprte zanke »on-line close-loop«. Računalnik uravnava moč preko industrijskih vmesnikov in servo motorjev.

Povratne informacije o toku, napetosti, stopnji napetosti in  $\cos \phi$  dobiva preko standardnih senzorjev in vmesnika.

Za posamezno peč je v računalniški sistem vključeno avtomatsko tekoče zbiranje pomembnejših podatkov, ki vključujejo tudi varnostni sistem.

### PROCESNI RAČUNALNIŠKI SISTEM V ŽELEZARNI RAVNE

Za kompleksno uporabo procesnega računalnika pri izdelavi jekla v elektropečeh je potrebna primerna računalniška oprema, ki zagotavlja:

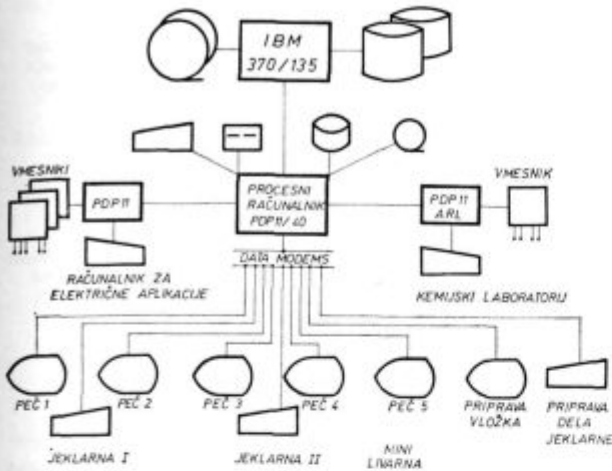
- 24-urno uporabo računalnika na dan,
- delo v realnem času,
- »Time Sharing« način uporabe računalnika,
- delo na principu prekinitvev,
- obdelavo digitalnih in analognih električnih veličin,
- uporabo terminalov in vmesnikov v industrijskih pogojih,
- povezavo med več procesnimi računalniki in osrednjim računalnikom,
- delo z enotami magnetnih diskov,
- programiranje v višjih jezikih in
- še druge posebne zahteve.

Železarna Ravne ima zgrajen sistem procesne računalniške opreme, ki ustreza navedenim zahtevam. Na sliki 12 je prikazana shema te opreme.

Računalniška oprema je izdelana pri DIGITAL EQUIPMENT CORPORATION iz ZDA, z izjemo industrijskih video terminalov, ki so izdelek firme ADDS iz ZDA.



Na osrednjem procesnem računalniku in računalniku za električne aplikacije je inštaliran RSX-11M operacijski sistem.



Slika 12

Shema računalniške in terminalske mreže v ŽELEZARNI RAVNE

Fig. 12

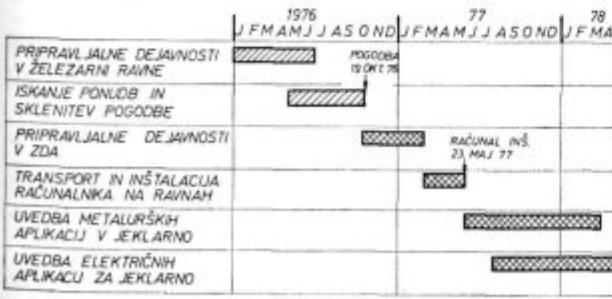
Scheme of computer and terminal net in Ravne Ironworks.

**IZKUŠNJE IN PRVI REZULTATI V ŽELEZARNI RAVNE**

Pri študiju možnosti in izbiri variante uvedbe procesnega računalnika v jeklarno smo prišli do zaključka, da bo učinkovitejša in bolj gospodarna tista varianta realizacije projekta, pri kateri bomo izkoristili v svetu že izdelane programske produkte in storitve izkušene firme. Lasten razvoj programov za posamezne aplikacije bi bil dosti daljši in manj zanesljiv.

Slika 13 prikazuje terminski plan, za katerega je značilno izredno kratko obdobje realizacije projekta od podpisa pogodbe do zaključka. V 18 mesecih so bile v vsakdanjo prakso uvedene vse predhodno opisane aplikacije. Tako se na primer na sliki 14 vidi napredovanje uporabe računalniškega izračuna dodatka ferolegur. Temu

Zaradi izredno obsežnega in kompleksnega dela pri uvajanju procesnega računalnika v jeklar-

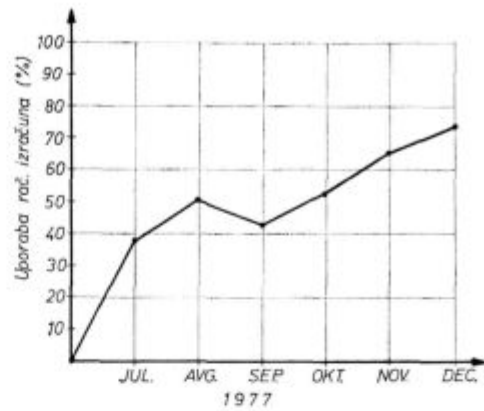


Slika 13

Terminski potek projekta

Fig. 13

Time-schedule of project.



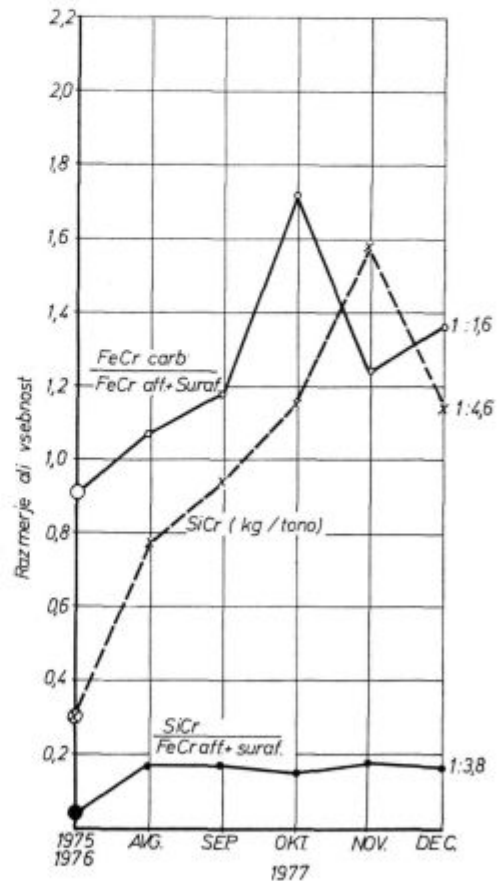
Slika 14

Odstotek uporabe kompletnega računalniškega izračuna pri legiranju

Fig. 14

Portion of the application of total computer system for the control of alloying.

no se je pokazala potreba po uporabi projektne organizacije posameznih aplikacij. Po inštalaciji računalnikov v železarni Ravne smo najprej odprli projekt za izračun dodatka ferolegur. Temu



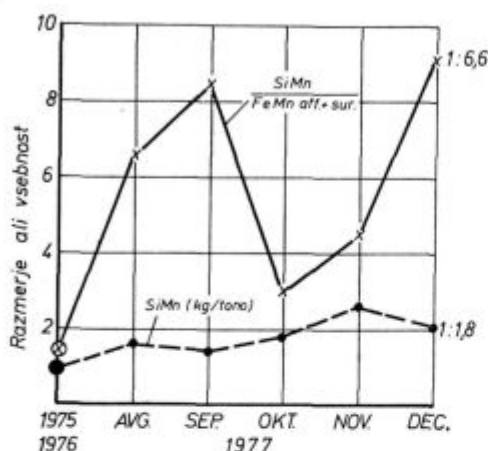
Slika 15

Porast porabe FeCr carburè in SiCr v primerjavi s porabo FeCr affiné in suraffiné

Fig. 15

Increased consumption of FeCr carbure and SiCr compared with the consumption of FeCr affiné and suraffiné.

so sledili projekt za izračun sestave vložka, izbire jekla po raztalitvi vložka, električne aplikacije in tako dalje. Šest tednov po instalaciji osrednjega procesnega računalnika se je pričela na štirih elektroobločnih pečeh uporaba računalnika pri izračunu dodatka ferolegur. Napredovanje uporabe se vidi iz že omenjene slike 14, prve učinke pa vidimo na sliki 15 in 16. Poraba cenejših ferolegur se je proti dragim čistim feroleguram močno povečala.



Slika 16

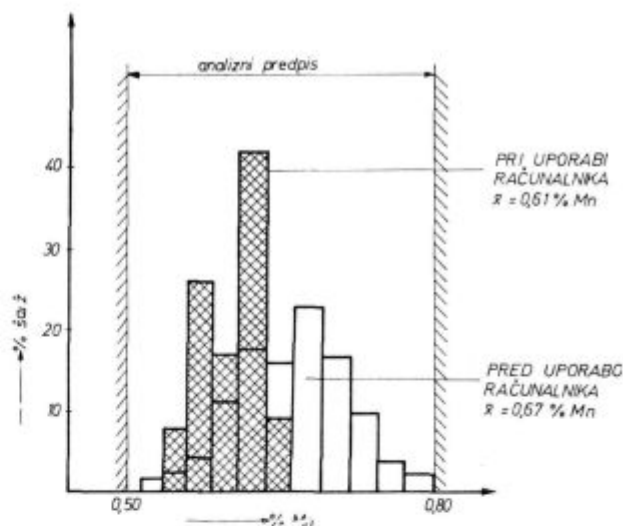
Porast porabe SiMn v primerjavi s porabo FeMn affiné in suraffié

Fig. 16

Increased consumption of SiMn compared with the consumption of FeMn affiné and suraffié.

Slika 17 kaže primer zoženja porazdelitve odstotka mangana v končni kemijski analizi ogljičnega jekla po prvih izdelanih šaržah s pomočjo procesnega računalnika. Očitno je, da je cilj pri izračunu dodatka mangana pomaknjen bliže k spodnji predpisani meji.

Računalnik se je pokazal učinkovit tudi pri izračunu sestave vložka in drugih aplikacijah in nas med uvajanjem opozarjal na nekatere tehnič-



Slika 17

Porazdelitev % Mn v jeklu Č. 1531 pred in po 4 mesečni uporabi računalnika v Jeklarni 2

Fig. 17

Manganese distribution in Č. 1531 steel before and after the 4-month application of computer control in Steel-plant No. 2.

ne pomanjkljivosti v jeklarni, ki zmanjšujejo učinkovitost uporabe računalnika. Uporaba računalnika nas vodi pri odstranjevanju teh pomanjkljivosti na osnovi ekonomskih računov. Omenjene pomanjkljivosti niso tako kritične, da bi ogrozile uspešno uvedbo računalnika, kažejo predvsem na skrite rezerve pri izboljšavah tehnološkega procesa in učinkovitejše izkoriščanje možnosti, ki jih daje procesni računalnik.

Literatura:

- Schroeder, D.L., »The Place of Time Sharing in Steel-making Avtomation« 1970 Electric Furnace Proceedings, Volume 28, stran 142-149.
- Schroeder, P.L. and Lendman, T.T. »Materials Management in Electric Furnace Steelmaking«, A. I. S. E. Steel Show, Cleveland, Ohio (Sept. 29. 1977).

ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel werden folgende Anwendungsgebiete des Rechners im Elektrostahlwerk angegeben:

1. Open loop Applikation:

- Ausrechnung des metallischen Einsatzes (Stoffbilanz)
- Ausrechnung der Legierungszusätze
- Auswahl der erzeugenden Stahlsorte (auf Grund der chemischen Zusammensetzung nach dem Einschmelzen)
- Die Führung der Lagervorräte und Bestellung der Rohstoffe für das Stahlwerk

2. Closed loop applikation:

- Optimale Führung des Verbrauches der elektrischen Energie im Werk
- Die Führung der elektrischen Ofenleistung beim Einschmelzen

- Automatische Datensammlung und Einschliessung des Alarmsystemes in den Rechnersystem der Führung

3. Die angewendeten mathematischen Methoden:

- Stahastische Modelle
- Detreministische Modelle

4. Die Berücksichtigung der besonderen Stahlwerks-umwelt.

Alle aufgezählten Anwendungsgebiete sind schon, oder sind in der Endphase der Einführung, im Hüttenwerk Ravne, mit Hilfe verschiedener Elektronenrechner eingeführt worden. Der Artikel enthält auch eine Diskussion über die Planung, die Einführung und die preliminären Ergebnisse der Anwendung des Prozessrechners im Stahlwerk.

## SUMMARY

The following fields of the computer application in an electric steel plant are presented in the paper:

1. Open loop applications:
  - calculation of the feed composition
  - calculation for adding ferroalloys
  - selection of steel to be manufactured (according to the chemical analysis after melting)
  - stock control and purchasing raw materials for steel plant
2. Closed loop applications:
  - control of optimal power consumption in the plant
  - input power control in melting

— data acquisition and automatic switch on of the alarming system in computer regulation

3. Applied mathematical models:
  - stochastic models (statistical feedback type)
  - deterministic models (fixed equations)
4. Consideration of special meltshop environments

All the above mentioned fields were introduced or they are in the final stage of introduction in the Ravne Ironworks using various computers. The paper presents the discussion on planing, introducing, and on preliminary results of application of computer control in a steel plant.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены следующие области применения счетчика в электросталеплавильном цехе:

1. Применение системы Open loop:
  - исчисление состава шихты;
  - исчисление добавки ферросплавов;
  - выбор стали намеченой для производства (на основании химического состава по расплавлению шихты);
  - руководство над наличием запасов и заказ сырья для сталелитейного цеха.
2. Применение системы Closed loop:
  - оптимальное управление над расходом электроэнергии в предприятии;
  - управление мощностью при расплавки шихты;

— автоматическая регистрация данных и приключения системы тревожной сигнализации к системе вычислительного управления.

3. Применение математических методов:
  - стохастические модели (мат. статистическая реверсивная петля);
  - детерминированные модели (фиксированные уравнения).
4. Учет над влиянием окружающей среды.

Все перечисленные области были введены в металлургическом заводе Железарна Равне и находятся теперь при помощи различных счетчиков в конечной фазе практического применения. В статье дискуссия о планировании, введении и о предварительных результатах употребления вычислительных машин для управления процессом в сталелитейном заводе.