

Analiza zasipa plavža

V članku je opisan matematični model plavža, namenjen izračunu optimalnega zasipa rud, koksa in dodatkov. Model zajema bilance posameznih elementov v grodlju, sejalna razmerja rud, količinske, zlasti tržne omejitve vložkov, zahteve po baziciteti žlindre in aglomerata, količine aglomerata in drobnega ter vsipnega koksa. Zasip plavža je usmerjen k doseganju čim nižje lastne cene grodlja.

UVOD

Stroški grodlja predstavljajo pri večini jekel daleč največji strošek v lastni ceni železarskih proizvodov. Zato je za vsako železarno proizvodnja ali nakup čim cenejšega grodlja velikega pomena. V lastni ceni grodlja pa predstavljajo pretežni del stroškov stroški železovih rud, koksov in drugih goriv ter dodatkov; stroški predelave ne predstavljajo niti petine vseh stroškov in so glede na količino proizvodnje v pretežni meri fiksni. Z namenom, da bi proizvedli čim cenejši grodelj, je bila v železarni Jesenice izdelana že vrsta kalkulacij, ki so pri različnih kombinacijah inputov ugotavljale lastno ceno grodlja. Seveda so te kalkulacije zajele le majhen del možnih kombinacij v zasipu plavžev in še daleč niso vodile k določitvi kombinacije, ki bi dajala najnižjo lastno ceno grodlja. Izračun lastne cene je bili samo posledica s tehnološkimi omejitvami določenih in ovrednotenih vložkov in predelave, ne pa kriterij optimalnega zasipa. Zato smo se odločili, da, namesto da bi izdelovali množico kalkulacij in tipali za ugodnejšo strukturo vložka, sestavimo matematični model celotnega sistema in ga usmerimo k željenemu cilju, upoštevaje omejitve upravljanja, tako tehnološke kot omejitve okolja. S tem dobimo možnost izračuna tistega zasipa, ki vodi k najnižji lastni ceni grodlja, poleg tega pa možnost analize stabilnosti sistema in s tem hitrega prilagajanja nastalim spremembam. Tako obstoji možnost postavitve čim cenejšega vložka za vsako stanje sistema; spremembe in vplive na sistem lahko celo simuliramo in vnaprej predvidevamo pot, po kateri naj se sistem giblje, da bo dosegel zaželeni cilj: čim nižje stroške proizvodnje grodlja.

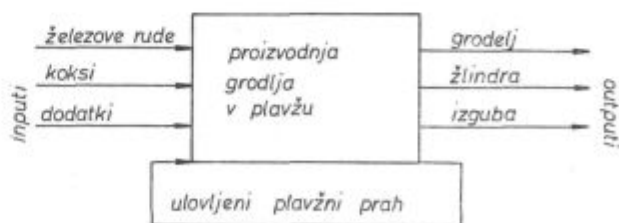
Zaradi preglednosti dela bomo najprej definirali večino elementov, ki jih v analizi uporabljamo. Nato bomo opisali matematični model plavža, ki obsega strukturo, omejitve in cilj proizvodnje grodlja. Ta model bomo opisali s sistemom linearnih enačb in neenačb, ki dokaj realno predstavljajo tisti del sistema — plavža, ki nas v naši analizi zanima.

Model izračuna optimalnega zasipa s stališča stroškov smo sestavili tako, da je možno razširjanje z novimi inputi, s spremenjeno kvaliteto inputov, z novimi tehnološkimi in tržnimi omejitvami, spremenjenimi nabavnimi cenami itd. Prav tako so široko odprte možnosti analizam sprememb, stabilnosti, prilagodljivosti sistema.

V samem modelu smo poskušali najti pravo mero med realnostjo in podrobnostmi na eni strani ter razumljivostjo sistema na drugi strani. Pri tem obsega model tisti del plavža, ki nas v naši analizi zanima. Zavedamo pa se, da je celo s ciljem raziskave opredeljen model le eden od možnih in da ga je mogoče še izpopolnjevati. Želimo tudi poudariti, da nam gre v našem članku predvsem za prikaz sistema, ne pa za tehnološke, tržne ali knjigovodske značilnosti, ki jih bomo omenjali le v kolikor bo to nujno potrebno. Obenem pa se za vso pomoč in sodelovanje pri delu, zlasti glede tehnologije plavža, zahvaljujemo strokovnemu sodelavcu raziskovalnega oddelka dipl. inž. Pavličku Aleksandru.

I. RAZLAGA UPORABLJENIH PODATKOV

Proizvodnjo grodlja lahko prikažemo z naslednjim materialnim input-output procesom:



V plavž vlagamo ali zasipamo železovo rudo, kokse in dodatke, ki se po procesu v plavžu pretvorijo v grodelj in žindro. Del surovin gre v iz-

* Avtor je imel referat o zasipu plavža na 3. posvetovanju iz uporabe operacijskih raziskav na Bledu — aprila 1970.

gubo; izgubljeni del delno ulovijo in preko dodatne predelave — aglomeriranja vračajo v proces, delno pa gre za stalno v izgubo.

Cilj naše analize je postaviti takšno kombinacijo inputov, ki bo v danem okolju in pri znanem proizvodnem procesu dajala najcenejši grodelj, ki odgovarja postavljenim kvalitetskimi zahtevam.

Količine inputov, ki jih iščemo, bomo označevali z x_j = količina j-tega inputa v kg, potrebna za proizvodnjo tone grodlja; $n = 1, 2, \dots, n$

Pri tem naj velja, da je od n — inputov k železovih rud, $(m - k)$ koksov in $(n - m)$ apnencev:

x_j = količina j-te rude v kg/t; $j = 1, 2, \dots, k$;

x_j = količina j-tega koksa v kg/t; $j = k + 1, k + 2, \dots, m$;

x_j = količina j-tega dodatka v kg/t; $j = m + 1, m + 2, \dots, n$.

Inputi so lahko neklasirane in kosovne rude, prav tako pa tudi drobne rude (in drobni koks in drobni dodatki), ki preko aglomerata vstopajo v plavž. Inputi so še različne vrste koksov in dodatkov.

Opredelimo vsak input s štirimi skupinami podatkov, ki jih prikazuje naslednja kolona — vektor:

$e_{1,j}$ = delež SiO_2 v j-tem inputu

$e_{2,j}$ = delež Al_2O_3 v j-tem inputu

$e_{3,j}$ = delež Fe_2O_3 v j-tem inputu

$e_{4,j}$ = delež FeO v j-tem inputu

$e_{5,j}$ = delež Mn_2O_3 v j-tem inputu

$e_{6,j}$ = delež CaO v j-tem inputu

$e_{7,j}$ = delež MgO v j-tem inputu

$e_{8,j}$ = delež P_2O_5 v j-tem inputu

$e_{9,j}$ = delež S v j-tem inputu

$e_{10,j}$ = delež žarizgub v j-tem inputu

$e_{11,j}$ = delež Fe v j-tem inputu

$e_{12,j}$ = delež Mn v j-tem inputu

$e_{13,j}$ = delež P v j-tem inputu

$e_{14,j}$ = delež vlage v j-tem inputu

$e_{15,j}$ = delež C v j-tem inputu

$d_{1,j}$ = delež drobiža do 1 mm v rudi

$d_{2,j}$ = delež drobiža nad 1 mm do 9 mm v rudi

$d_{3,j}$ = delež drobiža nad 9 mm v rudi

$d_{4,j}$ = količina izgubljenega prahu v kg na kg inputa

c_j = cena kg inputa ob vstopu v plavž

Prvo grupo podatkov — podatke o vsebnosti elementov v inputih — daje tehnična kontrola kvalitete. Tehnična kontrola surovin daje vsebnosti v suhi snovi, medtem ko se nabavne cene inputov nanašajo na vlažne snovi. Zato bomo, kot bo iz teksta razvidno, preračunali vsebnosti na suho snov v vsebnosti na vlažno snov, tako da bodo neznanke » x_j « predstavljale količine vlažnih inputov. Pri koksih so običajno ločeno prikazane vsebnosti v celotnem koksu, nato pa še vsebnosti v pepelu koksa kot v novi celoti. Zaradi poenostavitve razlage in izrazov bomo vsebnosti elementov v pepelu jemali preračunane na

vsebnosti v celotnem koksu. S tem se pri pisanju modela izognemo množenju deleža pepela koksa z deležem elementov v pepelu koksa. Razumljivo je, da imajo inputi na nekaterih mestih deleže »nič«, kar velja zlasti za dodatke.

V drugi grupi podatkov so podatki o zrnovitosti, ki se nanašajo samo na neklasirane in kosovne rude. Vsi drobni inputi gredo namreč v aglomerat, medtem ko zrnovitost pri ostalih inputih ni tako pomembna ali pa je razmeroma stalna, tako da na naš izračun bistveno ne vpliva.

Zrnovitost rud vpliva na količino ulovljenega plavžnega prahu in izgubo inputov ter na porabo koksa v plavžu. Zaenkrat bi spregovorili samo o količini ulovljenega prahu in izgubi inputov.

Že pri samem prehodu v železarno je dovoljeno določeno odstopanje v količini inputov, ki je običajno navzdol od določene teže. Del inputov se nato izgubi pri razkladanju, prekladanju, sejanju in pri drugih predelavah. V plavžu gre del prahu s plavžnim plinom iz peči. Pretežen del tega prahu je ulovljen, delno pa gre tudi v izgubo.

Plavžni prah, ki ga ulovijo, gre tako kot na pr. drobne rude v aglomeracijo in se v aglomeratu ponovno vrača v plavž. Zato lahko rečemo, da ne predstavlja niti izgube niti ponovnega vložka, oziroma je tako izguba kot ponoven vložek. V analizi ga ne bomo upoštevali nikjer drugje kot samo pri proizvodnji aglomerata.

Količina izgubljenega prahu je odvisna predvsem od zrnovitosti in trdnosti inputov. Iz dosedanjih poročil vemo, da znaša izguba grodlja 30—40 kilogramov na tono proizvedenega grodlja, kar (upoštevaje slabšo vsebnost železa v izgubljenem prahu) pomeni okrog 100 kg rude za tono grodlja, oziroma okrog 50 kg inputa na tono vloženega inputa. Ta količina pa se od inputa do inputa spreminja. Zato smo jo določili na osnovi sklepanja in statističnih regresijskih analiz odvisnosti izgub od posameznih inputov.

Drugi faktor, ki poleg zrnovitosti vpliva na količino izgubljenih inputov, je krhkost rud. Tako so na pr. sideritne rude izredno drobljive. Krhkost pri njih smo zajeli še z dodatnim faktorjem, ki znaša za krhkost med 1 do 2.

Pri apnencu izgub nismo upoštevali, ker so malenkostne, pač pa smo pri železu upoštevali njegovo slabšo vsebnost v izgubljenih inputih.

Tako smo za vsak input določili količino izgube v kg. Prednosti tega načina določanja inputov proti običajnemu povečevanju zahtev za 30—40 kilogramov grodlja več so v glavnem naslednje:

— inpute razlikujemo glede na zrnovitost in obstojnost,

— ne zajemamo samo izgub železa, marveč tudi drugih elementov;

— optimalne količine so prav tako izražene za proizvodnjo tone grodlja in zmnožene s stroški inputov predstavljajo stroške vložka;

— v končnem izračunu so podane že dejanske vsebnosti v grodlju, itd.

Zadnji del matrike predstavljajo cene inputov. To so cene inputov ob vstopu v plavž; o njih bomo več govorili pri postavljanju funkcije cilja.

Prvo in drugo grupo podatkov daje dnevno ali pa nekajdnevno oddelke tehnične kontrole. » $d_{4,j}$ « izračunamo iz druge grupe podatkov in je specifičen za vsak input. Zadnjo grupo podatkov daje obratovno knjigovodstvo.

Poleg teh podatkov moramo poznati za vsak input še razpoložljivo količino, za grodelj pa zahtevano kvaliteto. O tem bomo govorili še kasneje.

II. MATEMATIČNI MODEL ZASIPA PLAVŽA

Vse omejitve, ki smo jih upoštevali v optimalnem zasipu plavža, lahko razdelimo v več grup omejitev.

1. Grupa omejitev: kvaliteta grodlja

Želimo, da tona grodlja vsebuje:

najmanj	a_{Fe}	kg	Fe	(927 kg)
najmanj	a_{Mn}	kg	Mn	10 kg
najmanj	a_{Si}	in največ	A_{Si} kg	Si (3–6 kg)
največ	A_S	kg	S	(0,6 kg)
največ	A_P	kg	P	(1,2 kg)
najmanj	a_C	in največ	A_C kg	C (35–42 kg)

V oklepajih smo navedli vrednosti, ki smo jih v našem prvem izračunu upoštevali. Vsota vseh elementov mora biti 1000 kg; nosilci elementov so inputi. Ogljik prihaja v plavž samo iz koksa in omejitve zanj nismo upoštevali, saj gre ves »odvečni ogljik« v plavžni plin. Z uvedbo plavžnega plina in drugimi, s tem povezanimi spremembami pa bi model za naše namene že preveč zakomplikirali.

Omejitve bomo pisali z običnimi števili, da bi tako poudarili možnosti različnih vsebnosti v grodlju, pri čemer se lahko smer neenačb in enačb tudi menja, na pr. enačba spremeni v neenačbo in podobno.

a) količina železa v grodlju

Železo prihaja v grodelj iz železovih rud in pepela koksa; gre pa v grodelj, žlindro in izgubljene inpute. Zato velja naslednji opisno zapisani odnos: železo v grodlju = železo iz inputov — železo v žlindri — železo v izgubi.

Količina železa v žlindri je majhna, največ okrog 3 kg na tona grodlja, zato jo brez težav lahko smatramo za konstantno in jo bomo označili s »c«. Vsebnost železa v izgubljenem prahu je nižja od vsebnosti v surovinah, zato jo bomo znižali z empirično ugotovljenim faktorjem (v našem

prvem izračunu je bil $I_{Fe} = 0,7$). Zapišimo zdaj omejitve v matematični obliki:

$$\sum_{j=1}^n \frac{e_{11,j}}{1 + e_{14,j}} x_j - C - I_{Fe} \sum_{j=1}^n d_{4,j} \frac{e_{11,j}}{1 + e_{14,j}} x_j \geq a_{Fe}$$

V skrajni obliki je omejitev za železo naslednja:

$$\sum_{j=1}^n \frac{e_{11,j}}{1 + e_{14,j}} (1 - I_{Fe} \cdot d_{4,j}) x_j \geq a_{Fe} + c$$

b) količina mangana v grodlju

Znano je, da preide okrog 50–60 % razpoložljivega mangana v grodelj, ostanek pa v žlindro. Zato je opisno in matematično izražena omejitev naslednja:

mangan v grodlju = $f \cdot$ (razpoložljiva količina mangana v rudah — količina mangana v izgubi);

$$f \cdot \sum_{j=1}^n \frac{e_{12,j}}{1 + e_{14,j}} \cdot (1 - d_{4,j}) \cdot x_j \geq a_{Mn}$$

pri čemer f pomeni delež Mn, ki preide v grodelj: $0,50 \leq f \leq 0,60$

c) količina silicija v grodlju

V toni grodlja znaša količina silicija med a_{Si} in A_{Si} kg, kar odgovarja 2,14 a_{Si} , oziroma 2,14 A_{Si} kg SiO_2 . Zapišimo najprej količino SiO_2 v grodlju v opisni obliki:

SiO_2 v grodlju = SiO_2 v inputih — SiO_2 v žlindri — SiO_2 v izgubljenem prahu

Količino Si dobimo, če delimo enačbi z 2,14. Na desni strani enačbe ne poznamo količine SiO_2 v žlindri. Le-tega izrazimo s pomočjo zahteve po baziciteti žlindre; baziciteta izraža razmerje med bazičnimi in kislimi snovmi v žlindri in znaša po Kalyanramu:

$$B = \frac{CaO + 0,7 MgO}{0,94 SiO_2 + 0,18 Al_2O_3}$$

V našem prvem izračunu smo vzeli baziciteto 1,1. Iz enačbe sledi, da je količina SiO_2 v žlindri enaka:

$$SiO_2 = \frac{1}{0,94 \cdot B} (CaO + 0,7 MgO - 0,18 \cdot B \cdot Al_2O_3)$$

CaO, MgO in Al_2O_3 pa v celoti preidejo v žlindro. Zdaj lahko zapišemo omejitve za SiO_2 v matematični obliki:

$$2,14 a_{Si} \leq \sum_{j=1}^n \frac{e_{1,j}}{1 + e_{14,j}} (1 - d_{4,j}) x_j - \frac{1}{0,94 \cdot B} \left[\sum_{j=1}^n \frac{e_{6,j}}{1 + e_{14,j}} (1 - d_{4,j}) x_j + 0,7 \sum_{j=1}^n \frac{e_{7,j}}{1 + e_{14,j}} (1 - d_{4,j}) x_j - 0,18 \cdot B \sum_{j=1}^n \frac{e_{2,j}}{1 + e_{14,j}} (1 - d_{4,j}) x_j \right] \leq 2,14 A_{Si}$$

Celotno omejitev skrajšamo in prevedemo na Si.

$$a_{Si} \leq \frac{1}{2,14} \sum_{j=1}^n \frac{1 - d_{4,j}}{1 + e_{14,j}} (e_{1,j} - \frac{1}{0,94 \cdot B} e_{6,j} - \frac{0,7}{0,94 \cdot B} e_{7,j} + \frac{0,18}{0,94} e_{2,j}) x_j \leq A_{Si}$$

Tako je v omejitvi za silicij upoštevana tudi zahteva po baziciteti žlindre.

d) količina žvepla v grodlju

Količina žvepla v grodlju mora biti manjša od A_s kg. Pri — v našem primeru — zahtevani baziciteti žlindre gre v žlindro okrog 1,6–1,8 % žvepla na količino žlindre. Omejitev za žveplo je naslednja:

S v grodlju = S iz inputov — S v žlindri — S v izgubljenem prahu — S v plinu

Količina gorljivega žvepla v plinu ni velika; zato jo lahko zanemarimo in se pri tem zavedamo, da smo s tem v modelu upoštevali težje pogoje od dejanskih.

V opisno izraženi enačbi ne poznamo količine S v žlindri na desni strani enačbe, da bi lahko ugotovili količino žvepla v železu. V žlindro preidejo: Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , MgO , FeO , MnO in S . Količine Al_2O_3 , CaO in MgO gredo v celoti v žlindro (in v izgubo). Količino Fe v žlindri smo že pri omejitvi Fe vzeli kot konstantno. Potemtakem je tudi količina FeO konstantna. Za Mn pa smo rekli, da ga gre okrog 40–50 % ali delež $(1 - f)$ v žlindro. Količino SiO_2 v žlindri smo določili z zahtevano baziciteto pri omejitvi silicija.

Da lahko izračunamo količino žvepla v žlindri, moramo najprej ugotoviti količino žlindre. Količina žlindre pa je enaka vsoti vseh že omenjenih elementov. V tej vsoti pa poznamo vse elemente razen količine žvepla, kar pomeni, da poznamo le $(1 - p)$ -ti del žlindre, pri čemer »p« pomeni delež žvepla v žlindri.

Zapišimo zdaj celotno omejitev za količino $(1 - p)$ tega dela žlindre:

$$(1 - p) \cdot Z = \frac{1}{0,94 \cdot B} \left[\sum_{j=1}^n \frac{1 - d_{4,j}}{1 + e_{14,j}} (e_{6,j} + 0,7 e_{7,j} - 0,18 \cdot B \cdot e_{2,j}) x_j + \sum_{j=1}^n \frac{1 - d_{4,j}}{1 + e_{14,j}} (e_{2,j} + e_{6,j} + e_{7,j}) x_j + (1 - f) \cdot 1,293 \sum_{j=1}^n \frac{1 - d_{4,j}}{1 + e_{14,j}} e_{12,j} \cdot x_j + 1,285 \cdot c \right]$$

V skrajšani obliki lahko zapišemo:

$$(1 - p) Z = \sum_{j=1}^n \frac{1 - d_{4,j}}{1 + e_{14,j}} \left[\left(\frac{1}{0,94 \cdot B} + 1 \right) e_{6,j} + \left(\frac{0,7}{0,94 \cdot B} + 1 \right) e_{7,j} + \left(1 - \frac{0,18}{0,94} \right) e_{2,j} + 1,293 (1 - f) e_{12,j} \right] x_j + 1,285 \cdot c = \sum_{j=1}^n z_j \cdot x_j + 1,285 \cdot c$$

Rekli smo, da gre v žlindro p -ti delež žvepla. Žveplo v žlindri je:

$$S_{Zl} = p \cdot Z = p [(1 - p) \cdot Z + S_{Zl}]$$

V tem izrazu poznamo p in $(1 - p) Z$. Dobimo:

$$S_{Zl} (1 - p) = p (1 - p) Z$$

Namesto $(1 - p) Z$ pišimo Z_s . Tako dobimo, da je S

$$S_{Zl} = \frac{p}{1 - p} \cdot Z_s$$

Ta izraz je povsem razumljiv. Če gre na pr. v celotno žlindro »Z« 1,6 % žvepla, potem gre v Z_s nekaj večji odstotek, oziroma točno

$$\frac{0,016}{1 - 0,016} \cdot 100 \% \text{ žvepla}$$

Zapišimo zdaj celotno omejitev za žveplo:

$$\sum_{j=1}^n \frac{e_{9,j}}{1 + e_{14,j}} (1 - d_{4,j}) x_j - \frac{p}{1 - p} \sum_{j=1}^n z_j \cdot x_j \leq A_s + 1,285 \cdot \frac{p}{1 - p} \cdot c$$

Opozorimo še na to, da pri vseh inputih, ki gredo preko aglomeracije, preide le okrog 10 % žvepla v aglomerat. Zato pri njih že predhodno izračunamo $0,1 \cdot e_{9,j}$, tako, da ni potrebno vnašanje posebnega koeficienta v našo enačbo. Na desni strani neenačbe pa je poleg dovoljene količine žvepla v grodlju še žveplo, ki odpade kot delež na FeO v žlindri.

e) količina fosforja v grodlju

V toni grodlja sme biti največ A_p kg fosforja. Fosfor v celoti preide v grodelj in seveda v izgubljeni prah. Zato bomo brez težav zapisali omejitve za fosfor kar v matematični obliki:

$$\sum_{j=1}^n \frac{e_{13,j}}{1 + e_{14,j}} (1 - d_{1,j}) x_j \leq A_p$$

f) količina vseh elementov v grodlju

Količina vseh elementov v grodlju mora biti enaka 1 toni. Od vseh elementov nismo upoštevali ogljika, ki ga je v grodlju med 35 in 42 kg. Količina preostalih elementov mora znašati 958—965 kg. Verjetno je, da bo sistem v optimalni rešitvi težil h količini 958 kg, zato bomo kot omejitve za vseh 5 elementov raje upoštevali 959—965 kg, oziroma meji a in A , v kolikor želimo postaviti posebne zahteve ali na pr. neenačbi spremeniti v enačbo.

Praktično enostavno seštejemo koeficiente v vseh omejitvah elementov in dobimo ustrezne koeficiente za omejitve vseh elementov. Zaradi kontrole pravilnosti izračuna koeficientov za vseh pet omejitev pa imamo možnost izračunati tudi omejitve za vsoto vseh teh elementov:

Zapisalimo bomo že skraćeno obliko omejitve:

$$a + c + 1,285 \cdot \frac{p}{1-p} \cdot c \leq \sum_{j=1}^n \frac{e_{11,j}}{1 + e_{14,j}} \\ (1 - l_{Fe} \cdot d_{1,j}) x_j + \sum_{j=1}^n \frac{1 - d_{1,j}}{1 + e_{14,j}} \left\{ e_{12,j} \left[f - \frac{p}{1-p} \right. \right. \\ \left. \left. \cdot 1,293 (1 - f) \right] + \frac{1}{2,14} \cdot e_{1,j} + e_{6,j} \left[- \frac{1}{2,14} \cdot \frac{1}{0,94 \cdot B} - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{p}{1-p} \left(\frac{1}{0,94 \cdot B} + 1 \right) \right] + e_{7,j} \left[- \frac{1}{2,14} \cdot \frac{0,7}{0,94 \cdot B} - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{p}{1-p} \left(\frac{0,7}{0,94 \cdot B} + 1 \right) \right] + e_{2,j} \left[\frac{1}{2,14} \cdot \frac{0,18}{0,94} - \frac{p}{1-p} \cdot \right. \right. \\ \left. \left. \cdot \left(1 - \frac{0,18}{0,94} \right) \right] + e_{9,j} + e_{13,j} \right\} x_j \leq A + c + 1,285 \cdot \frac{p}{1-p} \cdot c$$

V tej, pa tudi v ostalih omejitvah lahko izračunamo koeficiente, ki se ne spreminjajo; ostali, kot na pr. $e_{1,j}$, p , f itd. pa se lahko spreminjajo v skladu z zahtevami, ki jih postavljamo. Zaradi kompliciranosti in težav pri ročnem računanju se vsaj nekatere koeficiente matrike procesa splača izračunavati strojno. Na pr. za j -ti input ugotovimo vrednosti parametra za $e_{1,j}$ in $d_{1,j}$, določimo še ostale vrednosti: l_{Fe} , f , p itd. ter prepustimo stroju izračunavanje celotnega koeficienta, ki stoji pred x_j . S tem se čas računanja skrajša, možnost napak pa zmanjša.

S tem smo zaključili prvo grupo omejitev, ki je enaka omejitvam pri problemih mešanice, s tem da smo upoštevali medsebojno vezane inpute in outpute. V omejitve silicija je vključena tudi zahteva po baziciteti žlindre, v omejitve žvepla pa količina žlindre. Zaradi hoda peči zahteva tehnologija večjo količino žlindre kot 320 kg, kar predstavlja nekaj nižjo količino, če žveplo odštejemo. Ta omejitve ni zahtevana povsem natančna, zato lahko zapišemo:

$$\sum_{j=1}^n z_j \cdot x_j + 1,285 \cdot c \geq (1 - p) \cdot r,$$

kjer r predstavlja dovoljeno količino žlindre. Dobimo:

$$\sum_{j=1}^n z_j \cdot x_j \geq (1 - p) \cdot r - 1,285 \cdot c$$

2. Grupa omejitev

Inpute — rude lahko predstavljajo neklasirane, kosovne in drobne rude, oziroma aglomerat. V takšnem stanju lahko rude tudi nabavljamo. Kosovne rude zakladamo neposredno v plavž, drobne pa najprej aglomeriramo. Neklasirane rude lahko zakladamo neposredno v plavž; lahko pa jih tudi presejemo in kosovno rudo založimo v plavž, drobiž pa v aglomeracijo. V tem primeru običajno zahtevamo, da se obe frakciji v celoti porabita, to se pravi, da niti drobna niti kosovna ruda ne preostaneta. Sejalno razmerje se da vsaj približno določiti.

Predpostavimo, da je med — rudami »1« rud neklasiranih, pri čemer naj pomeni:

- x_1 = količina neklasiranega l-tega inputa v kg/t
- x_{1+1} = količina ustrezne kosovne frakcije v kg/t
- x_{1+2} = količina ustrezne drobne frakcije v kg/t

Pri sejanju rude gre v kosovno frakcijo »s« rude, ostalo pa gre v drobno rudo.

Zato lahko zapišemo to grupo omejitev:

$$x_1 + 1 = \frac{s_1}{1 - s_1} \cdot x_{1+2}, \text{ pri čemer pomeni:}$$

- s_1 = sejalno razmerje za l-to rudo,
- 1 = indeks iz skupa indeksov (j)

S tem je zadovoljeno zahtevi, da se obe frakciji porabita. V kolikor želimo eno frakcijo proizvajati na zalogo, tvorimo drugačno razmerje ali ga celo izpustimo, v kolikor nam je vseeno, če se zaloge ene frakcije kopičijo. Povsem enaka omejitve velja v primeru več kot dveh frakcij, s tem, da je število omejitev vedno za »1« manjše od števila frakcij.

3. Grupa omejitev

se nanaša na dodatne tehnološke in tržne omejitve. Iz posebnih razlogov želimo, da je vložek nekaterih surovin v določenih mejah. Tak primer so na pr. teže reduktivne rude, rude z veliko količino drobiža, ki jih ne moremo sejati, rude iz zaloge, pri katerih so količine omejene s transportnimi sredstvi itd.

Tu ločimo več možnih primerov.

Najenostavneje je, če so omejitve, ki so običajno ugotovljene empirično, dane v kg/t grodlja. V tem primeru je omejitev

$x_j \leq u_j$, pri čemer je

u_j = zgornja dovoljena meja za j -ti input.

Nekoliko težji je primer, če je omejitev izražena v odstotkih, bodisi od rudnega ali pa celotnega zasipa. V takem primeru velja:

$$x_j \leq \sum_{j=1}^n x_j$$

kjer je vsota spremenljivk vsota samo določenih inputov pa vse do celotnega vložka.

Navedimo še primer, ko je omejitev za input podana z letno omejitvijo inputa. To nastopa zlasti pri tržnih ali uvoznih omejitvah. Zapišimo omejitev:

$$\frac{V_{jo}}{q} \leq x_j \leq \frac{V_{jo}}{q}$$

V_{jo} = letna spodnja tržna meja za j -ti input v kg

V_{jo} = letna zgornja tržna meja za j -ti input v kg

q = letna količina proizvodnje grodlja v tonah

Količine proizvodnje »q« pa vnaprej ne poznamo. Vemo pa, da na m^2 zgorevalne površine v plavžu v eni uri zgori vedno približno enaka količina suhega koksa. Ta količina se sicer menja v odvisnosti od vodenja peči. Pri večji porabi koksa na m^2 zgorevalne površine se dvigne storilnost in poraba koksa. Večja storilnost vodi k nižjim fiksnim stroškom, večja poraba koksa pa k višjim stroškom koksa. Zato smo izračunali regresijski odvisnosti porabe koksa na tono grodlja in storilnosti od porabe koksa na m^2 zgorevalne površine ali obremenitve talilnika, ju ovrednotili s stroški in tisto obremenitev talilnika, kjer je bila vsota stroškov koksa in fiksnih stroškov minimalna, vzeli kot optimalno in za nas konstantno. Tako torej zgori na m^2 talnilnika »t« kg koksa v eni uri ali letno »T« kg, pri čemer velja:

T = površina talilnika $\times$ število ur v letu $\times t$

Če zgori letno v plavžu »T« kg koksa in če poznamo porabo koksa na tono grodlja, lahko zapišemo, da je:

$$q \text{ v tonah} = \frac{T \text{ v kg}}{\text{poraba suhega koksa v kg/t grodlja}}$$

Poraba suhega koksa pa je enaka:

$$\sum_{j=k+1}^m \frac{1-d_{4,j}}{1+e_{14,j}} \cdot x_j$$

Zdaj lahko zapišemo omejitev v celoti:

$$\frac{\frac{V_{jo}}{T}}{\sum_{j=k+1}^m \frac{1-d_{4,j}}{1+e_{14,j}} \cdot kx_j} \leq x_r \leq \frac{\frac{V_{jo}}{T}}{\sum_{j=k+1}^m \frac{1-d_{4,j}}{1+e_{14,j}} \cdot kx_j}$$

oziroma

$$\frac{V_{jo} \sum_{j=k+1}^m \frac{1-d_{4,j}}{1+e_{14,j}} \cdot kx_j}{T} \leq x_r \leq \frac{V_{jo}}{T} \sum_{j=k+1}^m \frac{1-d_{4,j}}{1+e_{14,j}} \cdot kx_j$$

Levi subindeks pri » x_j « pomeni, da gre za kovinski input, v našem primeru za vsipni koks.

Pojasnimo to na primeru. Rudnik lahko dobavi letno največ $V_{jo} = 170.000$ ton rude. Predpostavimo letno porabo suhega koksa 110.000 ton z vlago 7 %. Dobimo (pri $d_{4,koks} = 0,05$):

$$x_r \leq \frac{170000}{110000} \cdot \frac{0,95 \cdot x_{koks}}{1,07}$$

$$1,444 x_{koks} - x_r \geq 0$$

S to omejitvijo nam je poleg tega, da smo ohranili linearne odnose, uspelo dobiti tudi obrazec, po katerem lahko iz porabe koksa določimo količino proizvodnje.

4. Grupa omejitev

se nanaša na količino in kvaliteto aglomerata. V aglomeraciji se drobne rude, drobni koks in drobni apnenec sprimejo v aglomerat. Pri tem izgubijo vlago, žarizgube in pretežni del žvepla (okrog 90 %). V aglomerat preidejo:

aglomerat = drobne rude + škaja + plavžni prah + drobni koks + drobni dodatki

Drobne rude in škaja predstavljajo neposreden vložek v aglomeracijo. Pri plavžnem prahu upoštevamo samo ulovljeni plavžni prah, ki ga je približno enaka količina kot ulovljenega. Količina drobnega

koksa je približno enaka 10 % količine celotnega aglomerata, o čemer bomo še kasneje govorili. Količino dodatkov, v našem primeru apnenca pa določimo z zahtevo po baziciteti aglomerata, izraženo po Kalyanramu:

$$Ba = \frac{CaO + 0,7 MgO}{0,94 SiO_2 + 0,18 Al_2O_3}$$

oziroma:

$$CaO + 0,7 MgO - 0,94 \cdot Ba \cdot SiO_2 - 0,18 \cdot Ba \cdot Al_2O_3 = 0$$

Zapišimo to v matematični obliki:

$$\left[\sum_j \frac{1 - 0,62 d_{4,j}}{1 + e_{14,j}} a_g x_j + \sum_j \frac{d_{4,j}}{1 + e_{14,j}} k x_j \right] [e_6 j + 0,7 e_{7,j} - Ba (0,94 e_{1,j} + 0,18 e_{2,j})] = 0$$

Izraz v prvem oklepaju na levi strani se nanaša na neposredne inpute in na ulovljeni plavžni prah. Glede na to, da smo predpostavili, da je izguba neposrednih inputov do aglomeracije le tri četrtine celotne izgube, ena četrtina pa se izgubi še v obliki aglomerata, smo upoštevali pri neposrednih inputih le $0,75 \cdot d_{4,j}$. Ena četrtina prahu se torej izgubi kot aglomerat. Ta količina pa se izgubi na poti od aglomeracije do plavža in v plavžu ter je je okrog polovica ulovljene. Ta ulovljeni del pa se vrne v aglomeracijo kot plavžni prah, zato bomo namesto $0,75 \cdot d_{4,j}$ pisali $0,62 \cdot d_{4,j}$. Za ulovljeni plavžni prah surovin $k x_j$ pa smo že rekli, da je njegova količina približno enaka količini izgubljenega prahu.

Pri aglomeriranju izgine vlaga kot tudi žaroizgube in večji del žvepla. Količina žvepla ni velika, zato jo bomo pri omejitvi količine aglomerata zanemarili. Celotna proizvodnja aglomerata je omejena s kapaciteto aglomeracije — K_{ag} , izraženo v tonah letno.

Količina proizvedenega aglomerata je naslednja:

$$\sum_j \frac{1 - e_{10,j}}{1 + e_{14,j}} (1 - 0,62 d_{4,j}) a_g x_j + \sum_j \frac{1 - e_{10,j}}{1 + e_{14,j}} \cdot d_{4,j} \cdot k x_j \leq \frac{K_{ag}}{T} \sum_{j=k+1}^m \frac{1 - d_{4,j}}{1 + e_{14,j}} k x_j$$

Pri ločevanju drobnih inputov v aglomeraciji in neposrednih inputov v plavžu smo se posluževali levih subindeksov, tako da nismo z dodatno delitvijo indeksa »j« otežkočili preglednost obeh omejitev aglomerata.

Količina drobnih koksov (pri katerih gre v aglomerat samo pepel) pa je približno enaka z odstotkom celotnega aglomerata oziroma v naši nenačbi izraza na levi strani.

Zapišimo ta izraz kot

$$\sum_j k_j \cdot x_j$$

Poraba drobnega koksa pa je $s \cdot \sum_j k_j \cdot x_j$, oziroma

$$\sum_{j=k+1}^m \frac{1 - d_{4,j}}{1 + e_{14,j}} a_g x_j - s \cdot \sum_j k_j \cdot x_j = 0$$

Količina celotnega aglomerata v kg/t grodlja je potemtakem enaka s-kratni porabi drobnega koksa. S tem smo pri aglomeratu navedli tri omejitve:

- zahtevo po baziciteti aglomerata, s katero smo določili tudi količino apnenca;
- omejitev količine aglomerata, ki je omejena s kapaciteto aglomeracije;
- količino drobnega koksa.

5. Grupa omejitev

se nanaša na porabo vsipnega koksa. Poraba vsipnega koksa je odvisna od cele vrste faktorjev, ki smo jih skoraj vse analizirali s statističnimi analizami. Velik del vpliva na porabo koksa nosi struktura vložka. Če je potrebna majhna količina (kvalitetnega) vložka za tono grodlja, potem je tudi poraba koksa majhna in obratno. Zato pri predpostavki, da so ostali vplivi na porabo koksa konstantni, lahko rečemo, da je poraba koksa funkcija zasipa. Za to odvisnost smo imeli na razpolago več funkcij; nekatere od njih omenimo:

$$\begin{aligned} \text{poraba koksa} &= 0,20 \cdot Z + 200 \\ \text{poraba koksa} &= 0,257 \cdot Z + 200 \\ \text{poraba koksa} &= 0,193 \cdot Z + 409 \\ \text{poraba koksa} &= 0,241 \cdot Z + 222 \\ \text{poraba koksa} &= 0,203 \cdot Z + 276 \end{aligned}$$

Prvi dve enačbi sta teoretični in veljata za porabo suhega koksa. Prva velja za samohodni vložek, druga pa za aglomerat in klasirane rude. Naslednje tri funkcije so statistične in se nanašajo na porabo vlažnega koksa. Prvo od njih smo ugotovili z izračunom od regresije za zadnja štiri leta za oba plavža skupaj. Zadnji dve pa se nanašata na dnevne podatke v letu 1969 za vsako peč posebej.

Poleg količine zasipa pa vpliva na porabo koksa tudi zrnovitost rude. Po Flintu velja, da vsak kg drobiža do 1 mm poveča porabo koksa za 0,16 kg, vsak kg drobiža od 1—10 mm pa za 0,08 kg. Pri porabi koksa želimo upoštevati tudi zrnovitost inputov.

Zato smo se odločili za naslednjo odvisnost: $\text{poraba suhega koksa} = 0,215 \cdot Z + 230$

Zapišimo zdaj celotno omejitev najprej v opisni obliki:

$\text{poraba suhega koksa} = 0,215$ (poraba neklasiranih in kosovnih rud + poraba dodatkov + poraba drobnih rud v aglomeraciji + poraba drobnih kok-

sov (pepela) v aglomeraciji + poraba drobnih dodatkov v aglomeraciji + ulovljeni prah, ki gre v aglomeracijo) + 230 +
 + 0,16 (delež prahu do 1 mm v rudah) +
 + 0,08 (delež prahu do 10 mm v rudah)

Zapišimo omejitev še v matematični obliki:

$$\sum_{j=k+1}^m \frac{1-d_{4,j}}{1+e_{14,j}} \cdot kx_j = 0,215 \left[\sum_{j=1}^k (1-d_{4,j}) \cdot kx_j + \sum_{j=m+1}^n (1-d_{4,j}) \cdot kx_j + \sum_{j=1}^n \frac{1-e_{10,j}}{1+e_{14,j}} \cdot kx_j \right] +$$

$$(1-0,62 d_{4,j}) \cdot a_g x_j + \sum_{j=1}^n d_{4,j} \cdot \frac{1-e_{10,j}}{1+e_{14,j}} \cdot kx_j \Bigg] +$$

$$+ 0,16 \sum_{j=1}^k d_{1,j} \cdot kx_j + 0,08 \sum_{j=1}^k d_{2,j} \cdot kx_j + 230$$

Namesto izrazov, ki predstavljajo inpute v aglomerat, je bolj enostavno upoštevati kar s-kratno količino drobnega koksa.

III. FUNKCIJA CILJA

Kot cilj proizvodnje grodlja smo sprva namevali postaviti čim nižje stroške vložka. Vendar bi ta funkcija lahko vodila do sicer cenenejšega vložka, ki pa bi dal nizko proizvodnjo, s tem pa zaradi fiksnih stroškov visoko lastno ceno grodlja. Zato smo se odločili za minimiranje polne lastne cene grodlja:

$$(\text{min.}); Co = \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j + v + \frac{F}{2}$$

pri čemer pomeni:

c_j = cena inputa v din/kg ob vstopu v plavž;

v = variabilni stroški v din/t grodlja;

F = skupni fiksni stroški plavža v din;

q = letna količina proizvodnje grodlja v tonah.

Stroške vložka smo izračunali s kalkulacijami. Za vse inpute smo poznali nabavno ceno fco Železarna. K tej smo najprej prišteli stroške prevoza in skladiščenja. Klasiranim rudam smo prišteli še variabilne stroške klasiranja. Isto velja za pražene rude in aglomerat; tudi njim smo prišteli variabilne stroške predelave. Pri kosovnih in drobnih rudah, ki jih sejemo sami, smo izračunali kalkulacije tako, da smo upoštevali različno vsebnost in zrnovitost po klasiranju.

Tako smo za vse inpute ugotovili ceno ob vstopu v plavž, pri čemer smo pri aglomeraciji in pražilnih pečeh upoštevali samo variabilne stroške predelave.

Variabilni stroški plavža so konstantni ne glede na količino proizvodnje grodlja. Po izračunu jih prištejemo k lastni ceni grodlja.

Fiksni stroški predstavljajo stroške plavža, aglomeracije in pražilnih peči. Ponovimo še formulo za izračun količine proizvodnje:

$$q = \frac{T}{\sum_{j=k+1}^m \frac{1-d_{4,j}}{1+e_{14,j}} \cdot kx_j}$$

Fiksni stroški na tono proizvedenega grodlja so:

$$\frac{F}{q} = \frac{F}{T} \sum_{j=k+1}^m \frac{1-d_{4,j}}{1+e_{14,j}} \cdot kx_j$$

Na ta način smo izrazili cilj proizvodnje grodlja tako, da zasip teži k najnižji lastni ceni grodlja, upošteva tako cene vložka kot količino proizvodnje in njen vpliv na fiksne stroške. V funkciji cilja pa so najpomembnejši stroški koksa kot stroški inputa in kot pokazatelj količine proizvodnje, saj je v njihovi ceni zajet vpliv dveh razmeroma pomembnih faktorjev.

Izračunani vrednosti funkcije kriterija je potrebno prišteti še variabilne stroške plavža. Poleg tega v modelu nismo upoštevali dodajanja mazuta, ki znižuje porabo koksa. Zato po izračunu dodamo še stroške mazuta in odštejemo stroške zamenjanega koksa. S statističnimi analizami pa smo za naše plavže določili optimalno količino dodajanja mazuta in zamenjanega koksa, tako da je tudi to znižanje stroškov zaradi dodajanja mazuta konstantno. Tako je k stroškom lastne cene grodlja, ki je izračuna računalnik, potrebno prišteti še variabilne stroške plavža in prav tako konstantne stroške zamenjave mazut/koks. Ta dodatni proporcionalni strošek pa znaša le okrog 5 odstotkov lastne cene grodlja.

IV. ANALIZA OPTIMALNE REŠITVE

Celotnega modela ne bi napisali še enkrat.

Prvi program, ki smo ga izračunali, je obsegal 21 omejitev in 28 spremenljivk. Izračunali smo ga v Centru za mehanografsko obdelavo podatkov na računalniku IBM-360. Medtem ko smo celoten linearni program pripravljali okrog tri mesece s prekinitvami, je računalnik izračunal celoten program, v katerem smo zahtevali optimalno rešitev, in analizo optimalne rešitve v manj kot 10 minutah.

1. Analiza optimalne rešitve

V optimalni rešitvi (LPSOLUTION) smo dobili za vsako surovino optimalno količino v kg. Poleg tega računalnik zapiše, ali je ta rešitev prišla na postavljeni omejitvi ali pa neke med obema mejama. Računalnik zapiše tudi elemente iz funkcije cilja, to se pravi ceno inputa ob vstopu v plavž. Izredno pomemben pa je podatek, ki pove, za koliko je vsak input, ki ni prišel v optimalno rešitev, predrag.

Poleg teh podatkov je navedena tudi kvaliteta grodlja, oziroma vrednost, ki jo zavzemajo postavljene omejitve. Tako je na pr. izračunana količina žlindre in podobno.

Seveda pa je navedena tudi vrednost funkcije cilja, ki je pri naših dosedanjih izračunih dajala nižje lastne cene, kot pa jih sicer planiramo in dosegamo.

Analizo optimalne rešitve izdela računalnik ločeno za spremenljivke in omejitve, ki so zavzele vrednosti na postavljenih mejah in ločeno za tiste, ki so med mejami. Poleg že navedenih podatkov pri optimalni rešitvi pa daje računalnik za vsako spremenljivko meje, v katerih se lahko menja cena inputa, ne da bi ta input izpadel iz rešitve. Računalnik pa da še meje za količine inputov: optimalno količino in meje za stanje indiferentnosti sistema glede na spremembo cene danega inputa. Navedimo primer za dva inputa in za eno omejitev:

	optim. količ. strošek	zviš. stroš. znižanje	zniž. reš. poveč. reš.	najviš. str. najnižji
x_1 — neklasir. limonit	0,00 kg 0,134 din/kg	0,009 din/kg 0,009 din/kg	0,0 kg 90,0 kg	— din/kg 0,125 din/kg
x_{22} — škaja	56,0 kg 0,084 din/kg	0,168 din/kg 0,674 din/kg	0,0 kg 56,4 kg	— 0,589 din/kg
Fe	936,9 kg 0,0 din/kg	0,380 din/kg 0,76 din/kg	936,4 kg 937,2 kg	0,380 din/kg 0,279 din/kg

2. Možnosti analiz

S postavljenim modelom plavža so se odprle možnosti, ki so imele vrsto prednosti pred dosedanjimi: upoštevajo razmeroma veliko omejitev, vse gredo po istem principu, čas se močno skrajša, informacij je več, rešitve so optimalne itd. Glede na to, da smo naredili že precej analiz, bomo nekatere možnosti opisali.

a) Sprememba števila inputov

Takoj po prvem izračunu, v katerem smo upoštevali tudi precej uvoženih rud, smo izračunavali vložek samo iz domačih rudnikov, kjer so inputi trenutno dosegljivi. Z enostavnim odvzemom luknjanih kartic za tuje inpute smo izračunali nov zapis samo za domače surovine. Isto bi dosegli z dodatno zahtevo računalniku, naj upošteva, da so količine tujih inputov nič. Tako smo lahko primerjali na povsem istih osnovah dva vložka, od katerih je bil samo domači dražji. Jasno je, da je izračun zahteval malo časa in da je ves preostali čas ostal za študiranje rešitev, česar kasneje ne bomo več ponavljali.

Kasneje so se pojavile zahteve po analizah nekaterih rud, ki bi jih lahko uvozili. Za te rude smo izračunali vse potrebne elemente in jih vključili v naš model ter izdelali nov izračun. Povsem lahko smo razbrali spremembe proti dosedanjim rešitvam. Analizirani input lahko sploh ni spremenil dosedanje rešitve; v tem primeru smo imeli podatek, za koliko je predrag. Lahko pa je prišel v rešitev in spet smo lahko ugotovili, kako stabilen je v njej.

b) Sprememba števila omejitev

Obenem z novimi inputi smo često dodali tudi nove omejitve. V tem primeru smo morali za vse ali samo nekaj inputov izračunati nove koeficiente. Pri opustitvi nekaterih omejitev pa smo za izračun enostavno odvzeli kartice.

c) Sprememba koeficientov v funkciji cilja

Že kmalu po prvem izračunu nas je zanimalo, koliko bi stal grodelj, če bi plavž postavili poleg rudnika. Cene inputov smo znižali za prevozne stroške in izdelali nov izračun, v katerem se je bistveno spremenila optimalna rešitev. Izračun pa smo na pr. izvedli le z dodatno instrukcijo MODIFY, kjer smo navedli spremenjene elemente.

Temu je podobna analiza vpliva spremenjenih prevoznih tarif. Te so se spremenile in podjetju preostane edina možnost, da se temu poskuša prilagoditi. Rezultati izračuna pa pokažejo, ali je to možno in v kakšni meri.

Precej smo napravili tudi analiz novih inputov, ko sploh nismo poznali nabavnih cen in se je komerciala o njih šele dogovarjala ali pa je šlo celo za blagovno metalurško zamenjavo. V teh primerih smo najprej postavili približno ceno, nato pa za spremembe teh cen izračunavali rešitve. Uporabili smo LPPARAMETRIC instrukcijo in dobili na pr. rešitve za različne vrednosti nabavne cene inputa. Tako je komerciala še pred določitvijo nabavne cene točno vedela, koliko nam kakšna cena prinese, tehnologi pa, kakšno kvaliteto grodlja in količino proizvodnje lahko pričakujemo.

S temi analizami pa smo lahko predvidevali vse spremembe, ki bi nastale pri spremembi cen, n. pr. smo zvedeli, da se en koks namerava podražiti. Že iz dosedanjih izračunov vemo, koliko se lahko cena tega koksa spremeni, ne da bi ga prenehali kupovati. Kaj pa še je sprememba večja? V tem primeru pridejo v poštev drugi koksi; če pa teh ni, potem se lahko spremeni zasip, tako da bo poraba koksa nižja. Na osnovi tako izdelanih analiz so lahko poslovne odločitve res dobre.

d) *Sprememba omejitev*

Zanimalo nas je, kako se spreminja lastna cena grodlja, če se spremeni na pr. količina ostružkov. S parametrisiranim programiranjem smo zahtevali rešitve za 5000 ton, 10.000 ton, 15.000 ton itd. ostružkov in v manj kot pol ure od zahteve za analizo smo lahko dali rezultate. Podobno smo menjali omejitve za druge inpute, pa tudi za kvaliteto grodlja.

e) *Sprememba koeficientov*

Vsebnosti inputov se spreminjajo. Z enostavno instrukcijo MODIFY ali REVISE lahko izračunamo spremembe zasipov. Omenimo še primer, ko smo pri neki rudi že izdelali analizo. Vedeli pa smo, da bo ruda verjetno slabše kakovosti, kot je bilo dogovorjeno. Simulirali smo slabšo vsebnost in dobili njen vpliv na zasip in lastno ceno grodlja.

f) *Možnosti ostalih analiz*

Poleg navedenih sprememb smo spreminjali tudi cilj zasipa. Zaradi možnosti pomanjkanja vložka v naslednjih fazah podjetja ni cilj čim nižja lastna cena grodlja, marveč večja količina proizvodnje ali minimalna poraba koksa. Tako smo kot cilj upoštevali minimalno porabo koksa. Prav tako

smo menjali tudi zahteve po baziciteti in podobno. Rezultati vseh izračunov doslej pa so nam potrdili pravilnost postavljenega modela.

ZAKLJUČEK

Model, ki smo ga prikazali, ni niti dokončen, niti ne more služiti vsem namenom. Že od nastanka modela leta 1969 do danes smo vanj vnesli nekaj izboljšav, ki so v precejšnji meri tudi posledica tehnoloških sprememb na plavžih. Nove izboljšave bodo šle v smeri zajemanja vpliva temperature, mazuta, obremenitve talilnika, nekaterih bilanc elementov in podobno. Z vsemi temi spremembami pa se že približujemo možnostim delnega vodenja peči preko računalnika. Seveda pa je za to potrebno opraviti še vrsto zlasti statističnih analiz, ki ugotavljajo dejanske odnose v pečeh. Še enkrat pa moramo poudariti, da opisani matematični model zasipa plavža služi le v članku opisanemu namenu; jasno je, da stvarnost lahko prikažemo s celo vrsto modelov, različnih glede na namen, ki mu služijo.

LITERATURA:

- Dantzig, George B.: Linear Programming and Extensions, Princeton University Press, Princeton, N. J., 1963.
Dobrenić, S.: Linearno programiranje u privrednoj organizaciji, Informator, Zagreb, 1966.
Hadley, G.: Linear Programming, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Massachusetts.
Introduction to Linear Programming, publikacija IBM, (E 20-8171).
Linear Programming System (360, Program Description Manual, publikacija IBM (H 20-0607).
Stanojević, R.: Linearno programiranje, Institut za ekonomiku industrije, Beograd, 1966.
Tarabar, K.: Primer upotrebe linearnog programiranja u crnoj metalurgiji, Automatika, Zagreb, br. 5—6/1963.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel ist ein mathematisches Modell für die Berechnung des optimalen Hochofenmöllers beschrieben. Das Modell umfasst die Begrenzungen für die einzelnen Elemente: Fe, Mn, Si, P, S und für die gesamten angewendeten Elemente. Dieser Teil des Modells stellt einem Beispiel der Mischung vor. Die nachträglichen Begrenzungen sich auf die Menge und Basizität der Schlacke. Die zweite Gruppe der Begrenzungen bezieht sich auf das Verlangen, dass beim Sieben der Erze alle Fraktionen im ganzen oder im bestimmten Verhältniss verbraucht werden müssen. Die dritte Gruppe der Begrenzungen enthält die Mengenmässigen und vor allem die Marktbegrenzungen der Rohstoffe in absoluter Menge oder als Anteil des Möllers ausgedrückt.

Die nächste Gruppe der Begrenzungen umfasst die Menge und Basizität des Sinters und den Anteil des Koksrüses im Sinter. Die letzte Gruppe der Begrenzungen umfasst die Koksmenge im Möller.

Als Ziel des optimalen Möllers ist der Selbstkostenpreis des Roheisens beschrieben. Es können aber auch andere Ziele in Betracht genommen werden, wie zum Beispiel ein niedriger Koksverbrauch. Im Selbstkostenpreis

sind die Kosten des Möllers und die Verarbeitungskosten einbegriffen, wobei besonders die Lösung der Einfassung der fixen Kosten zu nennen ist.

Das mathematische Modell ist schon vor zwei Jahren ausgearbeitet worden. Von der ersten Ausführung bis heute sind an dem Modell schon einige Vervollkommnungen vorgenommen worden. Wichtiger als das ist es aber, dass das Modell schon vielmals bei der Analyse des Hochofenmöllers angewendet worden ist, wobei besonders diese Daten zu Nutzen sind, welche von der Empfindlichkeit dieses Systemes auf Änderungen zu sprechen vermögen. Es sind einige Änderungen wie zum Beispiel in der Zahl und Qualität der Rohstoffe in der Zahl der Begrenzungen, die Änderungen der Rohstoffpreise u. s. w. analysiert worden. Alle diese Analysen berücksichtigen verhältnismässig viele Begrenzungen, alle werden nach demselben Prinzip gerechnet, die Ausrechnung wird stark verkürzt, es gibt viel mehr Endinformationen, die Lösungen sind optimal. Die gesamten Ausrechnungen sind auf der IBM Rechenmaschine 360 mit Hilfe des Programmes für die lineare Programmierung ausgeführt worden.

SUMMARY

A mathematical model of blast furnace for calculation of the optimum blast furnace burden is described. The model incorporates the limitations of particular elements: Fe, Mn, Si, P and S and the total limit of the sum of the mentioned elements. This part of the model represent an example of burden. Additional limitations in respect to the amount and the basicity of slag are also included. The second group of limitations takes into account that all ore fractions are to be utilized completely or in a definite ratio. The third group includes the limitations of the available amounts and market requirements for raw materials, expressed in absolute values or shares in the burden. The fourth group accounts for the amount and basicity of agglomerate and the amount of fine grained coke in the agglomerate. The last group includes the limitations on the amount of coke required.

The production cost of pig iron was used as the criterion for the optimum burden. Some other criterions, e.g. the coke rate can also be used. The production cost inclu-

des the costs for raw material, processing costs and specially worth mentioning the fixed costs.

The mathematical model has been elaborated two years ago. The paper is a report submitted to the III Symposium on the use of operational research, Bled, 1970. Since then the model has been improved, however it is more important that the model has been successfully used many times for the analyses of the blast furnace burden. The data on the sensitivity of the system on drifts in the number and quality of raw materials, number of limitations, price of raw materials, etc. were specially useful. All the analyses taking into account a comparatively high number of limitations are principally made in the same way. The time required for the calculations is significantly reduced, the volume of the final data is incomparable higher and the optimum solutions can be obtained.

All calculations were performed on IBM 360 computer with a linear program.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрено описание математического модели доменной печи соответствующей что касается расчёта оптимальным условиям шихты. При модели поставлены ограничения на содержание Fe, Mn, Si, P, S, а также верхняя граница на сумму этих элементов. Кроме этого ограничено количество и основность шлака. К второй группе ограничений относится требование употребить после посеивания руды все полученные фракции в целости или же в определённых пропорциях. Третья группа ограничений охватывает область количественную сторону шихты, берет во внимание затруднения снабжения с сырьем на рынке при чём взята абсолютное количество или определённый удел в шихте. Следующая группа ограничений рассматривает количество и основность агломерата а также количество кокса в агломерате. И, наконец, последнее ограничение обсуждает количество кокса в шихте. Одна из поставленных целей оптимальной шихты это

описание собственной цены чугуна. Можно задать другие цели, напр. уменьшение расхода на минимум кокса. В цене собственной стоимости включены расходы шихты и расход переработки, при этом упомянуто как надо охватить постоянные основные расходы. Статья представляет реферат из симпозиума исследований в Бледе (Bled) 1970 г. От того времени на модели сделано несколько усовершенствований. Более важно упомянуть, что этот модель несколько раз употреблен для анализа шихты доменной печи при чём обнаружено, что систем очень чувствителен на перемены. В статье рассмотрены также изменения в количестве и качестве сырья, изменений цен и пр. Рассмотрено количество ограничений которые следуют одному и тому же принципу. Все расчёты выполнены на счётчиках IBM 360 при помощи программ линейного программирования.