

povečava a devijacije se smanjuju kad se rast ubrzava i obrnuto kod usporavanja.

Prema tome na osnovu empirijskih podataka možemo zaključiti da u jugoslavenskoj privredi vlada zakonitost uprosječavanja bruto stopa dobiti u odnosu na fondove poduzeća. Kad jednom organi ekonomske politike nauče kontrolirati monopoloidne situacije, ta će zakonitost doći još više do izražaja.

*Institut ekonomskih nauka,
Beograd*

Branko HORVAT

ANALIZA PROIZVODNEGA PROGRAMA V JEKLOVLEKU V ŽELEZARNI JESENICE¹⁾

Namen analize proizvodnega programa v jeklovleku je bil določiti letne količine proizvodov tako, da bo v danih razmerah v čim večji meri dosežen cilj proizvodnje.

Jeklovlek je obrat, ki izdeluje samo izdelke za prodajo. Materialni vložek predstavlja jeklo v palicah, delno pa v kolobarjih. Dobi ga iz predhodnih obratov: profilnih valjarn, žične valjarne in žičarne, pa tudi z nakupom. Ta vložek v jeklovleku vlečejo, luščijo ali brusijo. Del proizvodnje samo toplotno obdelajo. Poleg teh osnovnih obdelav pa vse proizvode tudi čistijo, ravnaajo, toplotno obdelujejo in podobno. Po zaključeni proizvodnji gredo proizvodi v prodajo.

I. OPREDELITEV PROIZVODOV²⁾

Osnovna razdelitev proizvodov je na vlečeno, luščeno, brušeno in samo toplotno obdelano jeklo. Naslednji znak, po katerem se ločijo posamezni proizvodi, je kvaliteta proizvodov po JUS-u. Proizvodi se razlikujejo še po stanju obdelave: svetlo, žarjeno ali normalizirano ali fosfatirano in oplemeniteno. Medtem ko pri luščenem in brušenem jeklu prihaja v poštev samo okroglo jeklo, pa je vlečeno jeklo lahko tudi šesterokotno, ploščato, kvadratno ali s posebnimi profili. Zadnja razdelitev proizvodov je glede na dimenzijo. Dolžina palic ne igra posebne vloge, pač pa se premer palic giblje vse od 5 — 80 mm. To območje je razdeljeno v tri razrede: fino, tanko in srednje jeklo. Medtem ko se lastne cene nanašajo na ta območja, pa je za prodajne cene, norme in podobno potrebno poznati točno debelino. Le-ta pa praktično zavzame katerokoli celo, pa tudi decimalno število v že omenjenih mejah. Vse vrednosti je nemogoče, pa tudi nesmiselno zajemati, saj se na pr. tržne omejitve nanašajo le na grupe proizvodov. Nastaja vprašanje: katere in koliko debelin v eni grupi je treba vzeti kot reprezentančne proizvode? Ali vzeti sredino grupe, kvartalne vrednosti modus ali moduse, ali najugodnejšo debelino ali poiskati kakšno drugo rešitev.

Da bi bila naša odločitev lažja, smo najprej preštudirali odvisnost prodajne cene, lastne cene in norm od debeline za nekaj proizvodov. Dobili smo za vse proizvode podobno sliko:

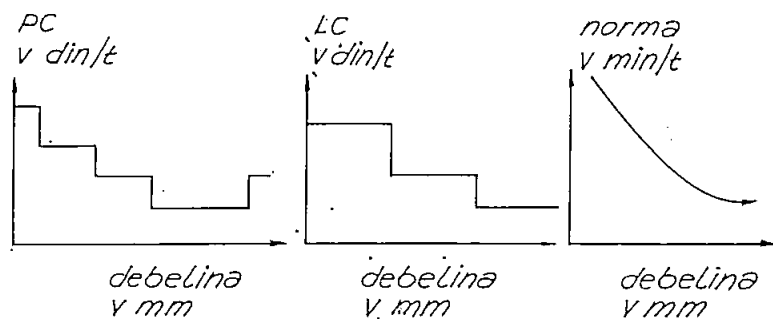
Z rastočo debelino prodajna cena, lastna cena in norma padajo, kar je povsem logično. Prodajna cena pri večjih debelinah spet prične rasti, medtem ko za lastne cene poznamo le vrednosti za grupe.

Vzemimo kot prvo možnost, da bi upoštevali tisto debelino, pri kateri je razlika med prodajno in lastno ceno največja. Lahko bi tvorili tudi

¹⁾ Pri nalogi je s strokovnimi nasveti sodeloval profesor Ekonomske fakultete v Ljubljani dr. Alojzij Vadnal, ki se mu za pomoč tudi ob tej priliki zahvaljujemo.

²⁾ Opredelitev proizvodov navajamo precej podrobno zato, ker v črni metalurgiji predstavlja, kot bomo videli, poseben problem.

koefficiente teh razlik z normami in podobno ter izbrali tisto debelino, ki je v grupi najugodnejša. Proti temu načinu pa govorita vsaj dva razloga, ki sta se nam zdeli dovolj tehtna, da smo se odločili za drugo rešitev. Prvič zahteva ta način ogromno dela in drugič je rešitev manj realna kot pa drugi, bolj slučajni izbori reprezentantov. Poleg tega je možno za vsako grupo izbrati le enega reprezentanta.



Izbira aritmetične sredine ali kvantilov ne upošteva razporeditve proizvodov v grupi, čeprav zlasti večje število proizvodov že prav dobro predstavlja grupo. Zato bi bil modus, če ga je le možno predpostaviti, še najboljša rešitev.

Rešitev bo od primera do primera različna. Potem ko smo preštudirali tudi tehnološke postopke, smo se odločili za enega ali dva reprezentanta (kadar je to zahtevala tehnologija) za vsako grupo. Na pr. v grupi finega vlečenega jekla, ki obsega debelino 5 — 16 mm, smo se odločili za debelini 8 in 14 mm. Debelino 8 mm izdelujejo iz kolobarjev, ki imajo povsem drugo ceno kot palice, iz katerih izdelujejo proizvode nad 16 mm. Podobne rešitve smo našli za vse grupe vlečenega, luščenega in brušenega jekla.

Tako opredeljeni proizvodi so na pr. naslednji:

- X_3 — vlečeno — navadno Č 0345 — svetlo — tanko 20 mm — okroglo
- X_{20} — vlečeno — navadno Č 0445 — svetlo — srednje 41 mm — okroglo
- X_{L124} — luščeno — plemenito 13 A — svetlo — srednje 40 mm
- X_{B18} — brušeno — plemenito Č 4721 — svetlo — tanko 25 mm

Zajeli smo 804 proizvode, ki se med seboj razlikujejo in prihajajo v poštev za prodajo. Tudi če bi dejansko prodali druge dimenzije namesto reprezentančnih, bi bile razlike malenkostne in bi se med seboj izravnale. Od opredeljene proizvodov — čeprav na videz nepomembne — pa je vsaj v črni metalurgiji v veliki meri odvisna kakovost analize.

II. MATEMATIČNI MODEL JEKLOVLEKA

1. Funkcija cilja

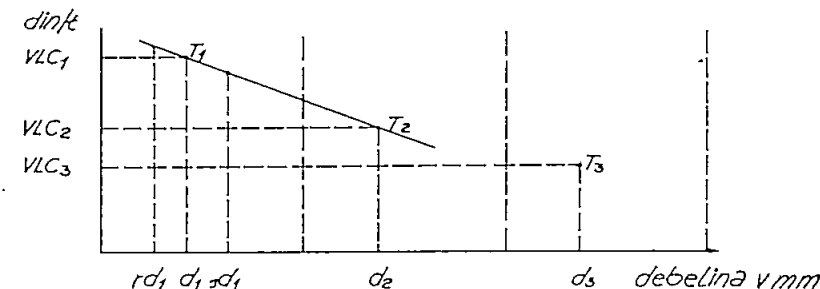
Kot funkcijo cilja smo vzeli razliko med realizacijo in stroški ali dobiček³⁾ obrata. Glede na to, da gre za letni proizvodni program, ko so proizvodne naprave dane, je smiselna odločitev na osnovi variabilnih stroškov.

³⁾ Vprašanje funkcije cilja je tesno povezano s tem, ali je tudi v samoupravnem socialist. gospodarstvu cilj proizvodnje profit ali čim večji dohodek na zaposlenega. Operac. raziskovalci — vsaj kolikor je nam znano — doslej še niso jemali za cilj dohodka na zaposlenega; zaradi

Poleg te vsebinske in še drugih prednosti pa so tako variabilni stroški kot tudi prispevek k pokritju premo sorazmerni s količino proizvodnje, s čimer je omogočena uporaba linearnega programiranja.

Za vsak proizvod smo morali ugotoviti prispevek k pokritju. Prodajne cene za vsak proizvod ni bilo težko ugotoviti, saj je točno določena. Mogoče velja omeniti le, da jih v črni metalurgiji določamo z osnovno ceno, h kateri prištevamo še doplačila za kvaliteto, dimenzijo, toplotno obdelavo in podobno. Dosti težje pa je bilo določiti variabilne lastne cene.

Planske kalkulacije so v obratu izdelane samo po vrsti proizvoda, kvalitetni grupi, stanju toplotne obdelave in dimenzijski grupi. Proizvode smo ločili tudi po kvalitetah, zato smo morali že od cene jekla⁴⁾ naprej upoštevati cene kvalitet, ne pa samo kvalitativnih grup. Tako smo za vsako kvaliteto poznali ceno vložka in predelave v jeklovleku, le da so bile te cene določene za dimenzijske grupe, ne pa tudi za posamezne dimenzije. Predpostavili smo, da se stroški nanašajo na sredine dimenzijskih razredov. Tako smo imeli za vsak proizvod naslednjo sliko:



Skoraj v vsaki grupi smo vzeli po dva debelinska reprezentanta. Vzemimo na primer prvo grupo in reprezentanta z debelino d_1 in sd_1 . Zadnji lahko približno določimo lastno ceno z interpolacijo ali ekstrapolacijo med točkama T_1 in T_2 . Tak postopek pa bi bil precej zamuden zaradi velikega števila proizvodov, ki imajo različne cene. Zato smo se raje odločili za izračun stroškov v točkah rd_1 in sd_1 s pomočjo ločne elastičnosti, ki smo jo izračunali za nekaj primerov po obrazcu:

$$\eta = \frac{VLC_1 - VLC_2}{d_1 - d_2} \cdot \frac{d_1}{VLC_1}$$

V vseh primerih smo ugotovili skoraj enako, negativno ločno elastičnost. Ponovimo, da elastičnost v našem primeru pomeni procentualno spre-

potrebe po analizah proizvodnih programov v podjetju smo se zaenkrat zadovoljili z običajnim kriterijem (čim boljše izkoriščanje kapacitet, čim večjo prodajo in podobno zanemarimo v tej diskusiji, čeprav se zlasti na zapadu, predvsem zaradi enostavnosti zasledovanja, ti kriteriji v zadnjem času vse bolj uveljavljajo), čim večjim dobičkom. V kolikor pa bi bilo mogoče, bi bilo zanimivo in koristno izdelati programe, ki bi sledili čim večjemu dohodku na zaposlenega, in jih primerjati z rešitvami programov s ciljem profita. Prav tako bi morali simulirati spremembe na pr. prodajnih cen, lastnih cen, omejitev itd. ter analizirati in primerjati njihov vpliv na doseganje cilja. Večje število analiz pa bo potrebno zato, ker bo najbrž nastopila možnost različnih matematično izraženih funkcij cilja, ki bodo imele vsaj približno isto vsebino: dohodek na zaposlenega. S takimi (in še drugimi) raziskavami pa bi delo na področju cilja samoupravnega podjetja: dohodka na zaposlenega, ki ga je v Jugoslaviji predvsem razvil prof. dr. Filip Lipovec, v tujini pa verjetno prof. dr. Jaroslav Vanek, pridobilo še nove, sicer manj zahtevne, pa zato praktične izsledke.

⁴⁾ Izračun kalkulacij v železarni je fazen, kar pomeni, da najprej določijo lastne cene jekla, nato izdelkov naslednje faze, kjer jeklo predstavlja strošek vložka, itd. vse do končnih proizvodov.

membo lastne cene, če se spremeni debelina za 1 mm. Procentualna sprememba je torej:

$$p_r = ({}_r d_1 - d_1) \cdot \eta_i \geq 0 \rightarrow \text{zvišanje stroškov}$$

$$p_s = ({}_s d_1 - d_1) \cdot \eta_i \leq 0 \rightarrow \text{znižanje stroškov}$$

Z ugotovljenim procentom, ki je veljal za vse reprezentante z isto debelino, smo brez tečaj določili stroške po proizvodih.

Tako smo najprej ovrednotili vložek za jeklovlek. Del vložka pa obrat tudi kupuje v drugih železarnah; cena vložka je kar nabavna cena tega jekla. Prav tako smo ugotovili stroške predelave po posameznih debelinah. Kot variabilne stroške smo upoštevali vkalkulirane izdelavne osebne dohodke, energijo in specifični material, ki predstavljajo dobro polovico vseh stroškov predelave. Te stroške smo, bodisi direktno (na pr. osebne dohodke, specifični material) ali pa preko normiranih časov (na pr. energija), prenesli na proizvod.⁵⁾

Za vsak proizvod smo izračunali prispevek k pokritju kot razliko med prodajno in variabilno lastno ceno ter postavili funkcijo cilja:

$$(\text{max.}); D = \sum_{j=1}^{804} p_j \cdot X_j - F,$$

kjer pomenijo:

X_j = količina j -tega proizvoda v tonah; $j = 1, 2 \dots 804$;

p_j = prispevek k pokritju j -tega proizvoda v din/t;

D = dobiček obrata v din;

F = fiksni stroški obrata v din.

2. Struktura obrata

Proizvodnja obrata predstavlja vhodno-izhodni proces, v katerem smo proizvode že opredelili. Za vsak proizvod pa moramo poznati potrebno delovno silo, delovna sredstva in delovne predmete ali pretvarjanje inputov v končni proizvod.

Delovna sredstva v jeklovleku so: stroji za koničenje, peskarski stroj in lužilne banje, vlečne klopi, luščilni stroji, brusilni stroji, žarilna peč, električne žarilne peči in ravnalni stroji. Skoraj za vsa delovna sredstva, preko katerih gredo proizvodi, smo poznali norme. Le za nekaj naprav norme niso bile postavljene; vendar so bile te naprave nepomembne, široka grla ali pa v liniji povezave z zajetimi napravami, tako da je postalo njihovo zajemanje nepotrebno.

Težave so nastale pri proizvodih, ki gredo lahko po različnih proizvodnih poteh skozi obrat. S tehnologi nismo mogli postaviti ene same tehnološke poti, prav tako pa ne bi bilo smiselno vsak proizvod deliti še s ozirom na proizvodni proces, ker bi s tem količinsko močno povečali model, vsebinsko pa ne bi prav nič pridobili, saj o posameznih poteh odloča šele dispečer. Zato smo poizkušali poiskati druge, bolj ustrezne rešitve. Navedli bomo nekaj primerov.⁶⁾

⁵⁾ Kalkulacije predstavljajo najtežje in najmanj točno dobljeno informacijo planiranja. Stanje se bo v podjetju bistveno spremenilo, ko bo izdelan sistem izdelave polnih in variabilnih (direct costing) lastnih cen preko računalnika.

⁶⁾ Analiza proizvodnega programa je le del širokega zasnovanega projekta o uvažanju sistema osnovnega planiranja v podjetju. Zato šele vse analize skupaj, tiste, ki smo jih že objavili, in tiste, ki jih še nameravamo, predstavljajo celoto. Zato bomo pri opisanem problemu navedli le nekaj primerov; prav tako bodo kasneje možnosti in primeri analiz le omenjeni, ne pa izčrpno podani, ker je o tem pisanega več na pr. v referatih za 3. posvetovanje iz operacijskih raziskav na Bledu.

Vlečni klopi I in II, trije luščilni stroji in podobno, so povsem enaki. Zato smo enostavno upoštevali enake norme, pri časovnih kapacitetah pa dvojno ali trójno zmogljivost enega stroja. Zmogljivosti ravnalnih strojev se med seboj razlikujejo. Vendar gredo isti proizvodi običajno preko istega stroja, le v redkih primerih preko nadomestnih. Zato smo upoštevali samo pot preko enega ravnalnega stroja, ki pa smo mu malenkostno povečali kapaciteto, saj smo vedeli, da bo del količine lahko šel preko nadomestnih strojev. Čisto drugačen primer predstavlja brusilnica z desetimi stroji, od katerih dela eden vse operacije, ostali pa po eno od treh operacij brušenja. Od teh strojev smo najprej upoštevali tri stroje, ki določajo trajanje brušenja. Za te tri pa smo potem določili povprečne čase brušenja, ki predstavljajo koeficiente v našem modelu. Seveda smo letno časovno zmogljivost ustrezno povečali; bistveno pa je, da smo odločitev o izbiri strojev prepustili dispečerju, ki jo tudi dejansko nosi.

3. Omejitve upravljanja

Kot omejitve upravljanja smo upoštevali razpoložljive inpute in proizvode, število zaposlenih v jeklovleku je dano in ni potrebna niti količinska niti kvalitetska omejitev. Tudi material ne predstavlja omejitve, saj ga lahko obrat nabavi iz jeklarne v zelenem asortimanu. Zato smo na strani inputov upoštevali samo delovna sredstva. Zanje smo ugotovili razpoložljive letne časovne kapacitete, tako da smo upoštevali število delovnih dni, izmen, remontov in popravil, skratka vse tiste čase, ki v normah niso zajeti. Tako smo postavili omejitve za delovne sredstva:

$$\sum_{j=1}^{804} t_{ij} \cdot X_j \leq t_{ri} \quad i = 1, 2 \dots 11,$$

kjer pomeni:

t_{ij} = čas, potreben za proizvodnjo j -tega proizvoda na i -tem stroju;

t_{ri} = razpoložljiva letna časovna kapaciteta i -tega stroja. Pri električnih žarilnih pečeh pa smo poznali samo količinsko omejitev, ki smo jo zapisali kot:

$$\sum_{j=1}^{804} t_{12j} \cdot X_j \leq t_{12i}, \text{ kjer } t_{12j} \text{ lahko zavzame vrednosti »0« ali »1«.}$$

Omejitve proizvodov predstavljajo tržne omejitve proizvodov. Podatke zanje nam je dala analiza tržišča, pri čemer so bile omejitve dane za posamezne kvalitete, stanje obdelave in dimenzijske grupe. Tako smo dejansko imeli omejitve za grupe dveh do osem proizvodov:

$$\sum_{r=1}^5 X_{i,r} \leq W_{i,0} \quad i = 13, 14 \dots 228$$

kjer pomeni:

$W_{i,0}$ = količina r -tega proizvoda v i -ti grupi

$X_{i,r}$ = razpoložljiva količina i -te grupe.

Poleg teh omejitev smo uvedli še tri dodatne omejitve pri vlečenem jeklu za skupne količine kvadratnega, ploščatega in šesterokotnega jekla, na pr.:

$$\sum_{j=1}^m p_j X_j \leq P, \quad \text{kjer pomeni:}$$

$p_j X_j$ = količina j -tega ploščatega jekla;

P = razpoložljiva količina ploščatega jekla.

Na isti način smo omejili tudi količino obeh drugih profilov.

III. IZRACUN OPTIMALNE REŠITVE

Celoten matematični model jeklovleka je obsegal 12 tehnoloških, 3 omejitve po profilih in 216 tržnih omejitev ali skupno 231 vrstic — omejitev ter 804 proizvode. Izračun smo izvršili v podjetju na računalniku IBM 360/32 po že izdelanem programu IBM-a. Medtem ko je priprava vseh podatkov trajala skoraj leto dni, je izračun trajal manj kot 5 ur. Optimalna rešitev modela, ki je obsegal 3896 elementov, je bila izračunana v 717 iteraciji, kar pomeni, da je porabil računalnik za iteracijo pol minute. Od računalnika smo zahtevali optimalno rešitev in njeno analizo.

1. Optimalna rešitev

Na primeru nekaj proizvodov, ene tehnološke in ene tržne omejitve, bomo prikazali rezultate, ki jih je dal računalnik:

spremenljivka	optimalna rešitev	prispevek k pokritju	sprememba prispevka k pokritju
proizvod X_1	370 ton	193,91 din/t	0,00 din/t
proizvod X_{20}	0 ton	9,71 „	-198,23 „
proizvod X_{L12}	450 ton	1371,03 „	0,00 „
proizvod X_{B46}	0 ton	464,91 „	-152,49 „
vlečna linija	4640 ur	—	94,72 „
vlečeno — Č 0545	28 ton	—	243,88 „
žarjeno — tanko			

Poleg navedenih podatkov da računalnik še podatke o zahtevanih spodnjih in zgornjih mejah, v katerih se lahko rešitev giblje, ter podatek o tem, ali je dobljena rešitev na spodnji ali zgornji meji ali nekje med obema.

Iz prispevka k pokritju sledi, kako napačne so lahko odločitve, ki upoštevajo samo razliko med prodajno in variabilno lastno ceno (da o tem, da se v podjetjih običajno tudi za kratkoročne odločitve upošteva kar razlika med prodajno in polno lastno ceno, niti ne govorimo). Tako se na pr. ne splača delati proizvoda X_{B46} , čeprav ima precej večji prispevek k pokritju kot proizvod X_1 ; vzrok temu je različna obremenitev kapacitet, ki jo v linearnem programu upoštevamo. V zadnji koloni pa so podatki, ki povedo, za koliko se spremeni prispevek k pokritju obrata, če bi se optimalna rešitev povečala za eno enoto. Če bi na pr. kljub programu proizvedli 1 tona proizvoda X_{20} , bi se rezultat poslabšal za 198,23 din/t, ker bi morali znižati količino nekega drugega, bolj rentabilnega proizvoda.

2. Analiza optimalne rešitve

V analizi optimalne rešitve da računalnik poleg podatkov, ki smo jih že omenili, tudi meje za količine proizvodov, če se prispevek k pokritju posameznega proizvoda spremeni. Za proizvod X_{20} vemo na primer, da ni prišel v optimalno rešitev. Če pa se prispevek k pokritju tega proizvoda poveča za 198,23 din ali več, bi proizvod že prišel v rešitev s količino, večjo od nič. Analiza optimalne rešitve pa pove, da bi proizvod X_{20} s prispevkom k pokritju 207,94 din prišel v optimalno rešitev s količino 21,6 din. Prav tako iz analize dodatno izvemo, da je na pr. za proizvod X_1 z optimalno količino 370 ton potrebno le, da se zniža prispevek k pokritju za 0,02 din na 193,89 din, pa se že zniža optimalna količina na 120 ton.

Izredno pomembno je, da smo poleg optimalne količine vsakega proizvoda dobili tudi merilo stabilnosti plana na spremembe prispevka k pokritju. Za proizvode, ki so že prišli v optimalno rešitev, vemo, kolikšna sprememba je potrebna, da iz nje izpadejo. Za proizvode, ki niso prišli v optimalno rešitev, pa vemo, kolikšen napor je potreben, da bodo v rešitev prišli. To pomeni, da je tehnološki pripravi, analizi trga itd. dana rang-lestvica proizvodov, po kateri se splača razporediti delo.

Podobni zaključki veljajo tudi za tehnološke in tržne omejitve. Ne samo, da s programom dobimo tudi plan izkoriščenosti kapacitet (surovin, delovne sile) in trga, marveč imamo tudi možnost usmeriti svoje sile v smeri, ki bo dajala največ koristi. Če nam na pr. povečanje kapacitete vlečne linije prinese povečanje prispevka k pokritju za 95 din, povečanje kapacitete žarilne peči za eno uro pa 285 din, potem poskušamo najprej s povečanjem kapacitet žarilne peči. Isti zaključki veljajo tudi za tržne omejitve.

Iz optimalne rešitve, iz plana proizvodnje, dobimo torej tudi plane inputov in trga, poleg tega pa še plane razvoja in raziskav ustreznih služb.

3. Možnosti nadaljnjih analiz in primer

Vsako predvideno ali že nastalo spremembo — spremembo trga ali kapacitet, prodajnih cen in stroškov, tehnoloških procesov in norm — lahko zajamemo z modelom in vnaprej predvidimo spremembo uspeha proizvodnje. Posamezne spremembe analiziramo in z njimi, če so stalne, vzdržujemo model, tako da vedno predstavlja dejansko stanje. S povedanim pa še daleč nismo izčrpali vseh možnosti, ki jih linearni program nudi za analiziranje in planiranje proizvodnje.

Za primer bomo omenili eno samo analizo. Pojavila se je, sicer majhna, možnost, da jeklovlek ne bi dobival palic, marveč samo kolobarje kot vložek, pa nas je zanimalo, kakšen bi bil v tem primeru rezultat obrata. Z instrukcijo »MODIFY« smo spremenili omejitve za vse proizvode, ki jih obrat dela iz palic, tako, da smo zanje zahtevali količino nič. Po pričakovanju se je količina drobnih dimenzij, ki jih dela obrat iz kolobarjev, povečala. Skupna količina proizvodnje se je sicer precej znižala, vendar ob skoraj nespremenjeni zasedenosti tistih kapacitet, ki delajo tako iz palic kot kolobarjev. Drobne debeline namreč zelo obremenijo kapacitete.

Tako smo predvideno spremembo analizirali in se nastali situaciji naj bolje prilagodili.

Železarna Jesenice

Rudi ROZMAN