

PRAKSA I PRIMENA

POKUS OPTIMALIZACIJE PROIZVODNE DINAMIKE U JEDNOM OD FARMACEUTSKIH POGONA FABRIKE »LEK« U LJUBLJANI

U fabrici farmaceutskih i hemijskih proizvoda »Lek« u Ljubljani team za operaciona istraživanja, pod rukovodstvom red. prof. Ekonomskog fakulteta Univerziteta u Ljubljani dr Alojzija Vadnala uspeo je da reši problem optimalnog odvijanja proizvodnog programa, što je u ovom članku prikazano na primeru izbora optimalnih radnih kapaciteta kao i izbora optimalnog lansiranja pojedinih radnih naloga u okviru dvomesečnog plana proizvodnje za jedan od farmaceutskih pogona fabrike.

Naime, trebalo je dati odgovor s obzirom na dilemu koja je postojala kod rukovodstva u vezi sa izborom: da li bi kod postojećih uslova u pogledu same proizvodne dinamike na pogonu bilo moguće nešto menjati, odnosno optimalizirati, ili bi to bilo praktično besmisleno?

Naš odgovor na to pitanje bio je pozitivan. Primenom »metoda najmanjih razlika« inž. Antuna Vile, kojim smo odredili bonitet pojedinih strojeva odnosno radnih kapaciteta u odnosu na proizvode predviđene radnim nalogima — što smo nazvali asignacijom i primenom metoda čvorova po Helleru i Logemannu (H&L), kojim smo optimalizirali vremenski redosled lansiranja pojedinih radnih naloga — što smo nazvali sekvencijom, mi smo pokazali da je našim rešenjem postignuto toliko da bi to ipak trebalo uzimati u obzir kod pripreme rada u vezi sa formiranjem narednih planova proizvodnje.

Praktično rešavanje našeg zadatka izgledalo je ovako: kod dvomesečnog plana proizvodnje, koji je obuhvatao 20 radnih naloga, koje je trebalo radno realizirati u 7 uzastopnih faza tehnologije, mi smo najpre analizirali bonitet radnih kapaciteta već pomenutim metodom, koji omogućava izbegavanje najveće greške kod pokušaja optimalnog opterećenja vremenskih kapaciteta strojeva u slučaju s alternativnim rešenjima. Ukratko govoreći, taj bi metod — pomoću međusobnih upoređivanja prednosti pojedinih strojeva odnosno radnih kapaciteta s obzirom na njihovo pripremno, završno i operativno vreme te s obzirom na njihove raspoložive vremenske fondove — ukazao na najsvrsishodnije angažovanje raznih strojeva, odnosno radnih kapaciteta, koji bi alternativno došli u pitanje u pojedinim tehnološkim fazama izrade.

Ovim smo želeli poslužiti »uput« radnih naloga na one radne kapacitete, gdje je vreme proizvodnje najkraće, ali, sa druge strane, i što bolje iskoristiti slobodne kapacitete. Nije bilo moguće u svim slučajevima uputiti radne naloge samo na najbolje strojeve, jer bi u tom slučaju neki strojevi odn. radni kapaciteti ostali neiskorišteni, a neki bi radni nalozi ostali nepotpuno realizirani, ili bi najbolji strojevi trebali da rade prekovremeno dok bi lošiji bili potpuno neangažovani.

Rezultat ove analize ukazao je na potrebu da se usled nerentabilnosti u trećoj radnoj fazi izbaci iz rada jedan stroj, a da bi u toj istoj tehnološkoj fazi rada trebalo drugi stroj praktično potpuno angažovati. U sedmoj tehnološkoj fazi rada treba da ispadnu dva mašinska kapaciteta, isto tako iz uzroka apsolutno nezadovoljavajuće rentabilnosti.

Posle analize alokacije pristupili smo drugom delu rada, tj. rešavanju problema sekvencije radnih naloga.

Već spomenuti metod čvorova — koji se posle određene korekture njegove osnovne simboličke pokazao kao sasvim zadovoljavajući s obzirom na specifičnost problema farmaceutske proizvodnje — predstavlja rešavanje produkcionog terminiranja pomoću mrežne analize. Za razliku od metoda PERT ili CPM, metod H&L definiše aktivnosti sa čvorovima a strelicama utvrđuje samo njihove međusobne zavisnosti, odnosno njihov redosled. Svaki čvor (tj. svaka aktivnost) određen je sa tri parametra (mji). Prvi parametar m označava radni kapacitet (neki određeni stroj, odnosno neki određeni faktor rada), drugi parametar j označava sve operacije koje pripadaju određenoj tehnološkoj fazi radnog postupka (obično se pomoću j označava redosled broja radnog naloga), dok treći parametar i označava zaporedni broj ponavljanja operacije na određenom radnom kapacitetu m u odnosu na zahtjev tehnologije kod radnog naloga j .

Algoritam predstavlja rešavanje u vidu tabeliranja (scheduling) a svaka tabela sadrži 7 kolona. U prvoj koloni beleže se pojedini čvorovi (mji), u drugoj koloni čvorovi koji »pokrivaju« čvorove u prvoj koloni, tj. koji vremenski neposredno slede ovim čvorovima. U trećoj koloni dolaze oznake broja »pokrivanja« čvorova, koji su zabeleženi u prvoj koloni, četvrta kolona označava vremensko trajanje pojedinih čvorova upisanih u prvoj koloni, peta kolona označava redosled angažovanja pojedinih radnih kapaciteta označenih sa m , šesta kolona označava početno vreme čvorova iz prve kolone, a u sedmoj koloni su data vremena završetka tih čvorova.

Svaka tabela predstavlja jedan korak u rešavanju, tj. određivanju vrednosti u petoj, šestoj i sedmoj koloni, koje se odnose na tretirani čvor u prvoj koloni, kao i na početno vreme čvora koji »pokriva« drugi čvor, koji je evidentiran u istom redu druge kolone.

Tabeliranjem su najpre tretirani oni čvorovi kojima odgovara u trećoj koloni vrednost 0, tj. oni koji ne »pokrivaju« neki drugi ili neke druge čvorove. Ovaj metod rešavanja oslanja se na teoriju linearnih grafova, pa je tako izbor redosleda pojedinih aktivnosti proizvodljiv.

Rešavanje se zasniva na principu jednačine:

$$T(mji) = \max_{(m'j'i)} [T(m'j'i) + t(mji)]$$

gdje $T(mji)$ znači konačno vreme (tj. vreme završetka) čvora (mji) koji »pokriva« čvor ($m'j'i$), a $T(m'j'i)$ vreme završetka čvora ($m'j'i$) koji se nalazi zabeležen u prvoj koloni u istom redu kao i čvor (mji) — dakle onaj kojeg čvor (mji) »pokriva«; dok $t(mji)$ označava trajanje operacije, odnosno čvora (mji).

$$\text{Operator: } (m'j'i) \xrightarrow{\max} (mji)$$

označava početno vreme čvora (mji), kojeg treba odrediti u tom smislu da će ono biti jednako najvećem vremenu završetka (terminu) između svih onih čvorova koje čvor (mji) »pokriva«. Kako u slučaju čvorova sa vrednošću 0 u trećoj koloni nema prethodnih čvorova, tj. nema vrednosti $T(m'j'i)$, naša se formula reducira na oblik:

$$T(mji) = t(mji)$$

Kod računa, odnosno redosleda tabeliranja, treba posvetiti pažnju činjenici da kod redosleda odabiranja pojedinih čvorova (s obzirom na znak m različitih faktora rada) ne odabiramo onih, kod kojih smo dobili u toku računanja u trećoj koloni vrednost 0; i to sve dotle dok još postoje čvorovi koji imaju u toj koloni vrednosti različite od 0. Obrazloženje tog jednostavnog pravila, koje dovodi do optimalizacije u tom smislu najkraćeg vremena trajanja cele proizvodnje, bilo bi sledeće:

Čvorovi koji ne pokrivaju druge čvorove ne mogu imati ni nikakvih međusobnih ovisnosti, dakle moraju samo da se obave na istom stroju, od-

nosno faktor u rada, pa je tako njihov redosled proizvoljan. Ako bi, naime, prije nego što smo obradili sve čvorove sa vrednošću u trećoj koloni koja je bila različita od vrednosti 0 uzeli u razmatranje čvorove koji su u toku računa dobili u trećoj koloni vrednost 0, tj. kojima se otklonilo pokrivanje, izložili bi se opasnosti da okupiramo radne kapacitete tamo gde bi trebao da bude početan čvor (operacija) novog naloga. Posledica toga bila bi da taj radni nalog bude započet kasnije nego što treba, pa da će se usled toga i kasnije završiti; a to znači nepotrebno uvećanje celokupnog radnog vremena.

Iz toga bi mogli zaključiti sledeće generalno pravilo rešavanja:

Neki čvor (m_j) dolazi na red tada i samo tada ako su već svi čvorovi (m_j') došli pre toga na red, kod čega važi da čvor (m_j) pokriva čvorove (m_j') i da važi operator

$$\begin{matrix} \text{max.} \\ (m_j') \text{ -----} \rightarrow (m_j) \end{matrix}$$

Opšti algoritam bi po svemu rečenom bio sledeći:

1. Počinjemo sa tabelom pokrivanja i to tako da priredimo svim čvorovima koji su pokriveni a koji sami ne pokrivaju nikakve druge čvorove određene vrednosti m_j po tehnološkom redosledu sa time, da postavimo svim tim čvorovima u petoj i šestoj koloni vrednost 0. Dakle:

$$K_i(m_j) = K_i(m_j') = 0$$

2. Odaberemo jedan od čvorova ($m_{j,i}$) sa vrednošću 0 u trećoj koloni. Dalje definišemo njegovu vrednost

$$k = \max_{j'} K_i(m_{j,i})$$

3. Ako je $k = 0$, onda je $K_i(m_{j,i}) = 1$, i kasniji čvor

$$K_i(m_{j,i}) = 1 + 1;$$

Tu predstavlja ($m_{j,i}$) onaj čvor koji dolazi na red na radnom kapacitetu m , posle čvora ($m_{j,i}$) i radi toga moramo birati za $K_i(m_{j,i})$ vrednost:

$$\max.[T(m_{j,i}), K_i(m_{j,i})].$$

4. Odredimo:

$$K_i(m_{j,i}) = -1,$$

što znači, da smo kod čvora ($m_{j,i}$) operaciju 1.2. obavili jedan put i to za beležili tako da smo od vrednosti 0 u trećoj koloni odvojili jedinicu. Dakle: $0 - 1 = -1$

5. Računamo: $T(m_{j,i}) = K_i(m_{j,i}) + t(m_{j,i})$
6. Za svaki čvor (m_j), koji dolazi na red posle čvora ($m_{j,i}$), izaberemo u šestoj koloni vrednost:

$$\max.[K_i(m_j), T(m_{j,i})]$$

i odbrojimo jedinicu od vrednosti $K_i(m_j)$. Ako kod čvora ($m_{j,i}$) nema odgovarajućeg čvora pokrivanja, onda ova operacija otpada.

7. Postupak 2) do 6) ponovimo toliko puta dok sve vrednosti čvorova u trećoj koloni ne dobiju vrednost -1 . Dakle:

$$K_i(m_j) = -1$$

Najveći broj u sedmoj koloni predstavlja potrebno vreme za realizaciju planirane proizvodnje.

Kad pomoću opisanog postupka postignemo poslednju tabelu, moramo još prikazati slobodne kapacitete na strojevima odnosno faktorima rada i vremena zavora. Te kategorije prikazemo u poslednjoj tabeli u kolonama K_3 i K_4 . Slobodne kapacitete izračunamo diferencijom vrednosti završnog vremena određenog čvora na jednom radnom kapacitetu i početnog vremena sledećeg čvora na istom radnom kapacitetu. Zatore pak računamo diferencijom vrednosti završnog vremena određene aktivnosti jednog radnog naloga i početnog vremena aktivnosti sledeće tehnološke faze istog radnog naloga.

Kod rešavanja našeg kompletnog zadatka mogli smo, kako je to bilo već prije spomenuto, označavanje čvorova simbolikom Hellera i Logemanna uprostiti izostavljanjem vrednosti i , pošto su se u našem primeru sve faze tehnološkog procesa svakog radnog naloga obavile na određenom radnom kapacitetu samo jedanput, pa bi tako kod svakog čvora dobili vrednost za treći broj $i = 1$.

Druga stvar koju smo s obzirom na osnovni opis metoda H&L u određenom smislu modifikovali bilo je vreme trajanja aktivnosti $t(m_j)$. Ovo vreme podelili za svaki čvor u dva osnovna dela i to u vreme potrebno za pripremu određenog faktora rada i u vreme samog trajanja aktivnosti tj. operacije na određenom stroju odnosno faktor u rada. Ovo vreme pak smo opet podelili u toliko delova u koliko se šarži određeni radni nalog izradio. Time se menjao, odnosno u izvesnom smislu modifikovao i algoritam računa i to tako, da bi se (gledaj tačku 6 algoritma) vreme: $\max.(K_i(m_j'), T(m_j'))$ izmenilo u:

$$\max.([T(m_j'')], [K_i(m_j') + t_s(m_j') - t_p(m_j')]),$$

gde $t_s(m_j')$ znači izradno vreme jedne šarže čvora (m_j') a $t_p(m_j')$ vreme pripreme radnog kapaciteta m kod čvora (m_j'), $T(m_j'')$ pak znači vreme završetka T onog čvora koji prethodi čvoru (m_j').

Time smo postigli kontrakciju potrebnog radnog vremena, što se može ogledati u negativnim vrednostima zavora, koji u tom slučaju funkciraju kao prikaz simultanog trajanja dveju uzastopnih tehnoloških faza određenog radnog naloga.

Isto tako morali smo skrenuti posebnu pažnju definiranju vremena $T(m_j')$, koje smo opredelili operatorom:

$$\max.([K_i(m_j'') + t(m_j'')], [T(m_j') + t_s(m_j')])$$

time da $k(m_j'')$ predstavlja veću vrednost između vrednosti vremena završetka T čvora, koji prethodi čvoru (m_j') i vrednosti izraza:

$$(K_i(m_j') + t_s(m_j') - t_p(m_j')),$$

dakle da važi:

$$K_i(m_j') = \max.([T(m_j'')], [K_i(m_j') + t_s(m_j') - t_p(m_j')]).$$

Iz navedenog ipak moramo zaključiti da nismo bili u stanju kod računa uzimati u obzir vremena između pojedinih šarži, kao i vremena međufaznog transporta, a to iz jednostavnog razloga što nismo raspolagali nikakvim podacima. U principu nismo se lišili svake ocene, pošto bi ovako »nagađanje« moglo dovesti do fatalnih deformacija realne vremenske slike tehnološkog procesa.

Rad oko konstruisanja mreže čvorova pomoću tabeliranja zahtevao je 113 uzastopnih koraka. Nakon računskog postupka pristupili smo proceni dobijenog rezultata. Uporedivši izračunato vreme trajanja proizvodnje, tj. 72 radna dana, sa stvarno postignutim, tj. sa 80 dana (naime dvomesečni plan proizvodnje obično se proteže na duži vremenski period, tako da se proizvodni

planovi međusobno vremenski lančano pokrivaju) mogli smo ustanoviti da se potrebno radno vreme skratilo za:

$$\frac{8}{80} \cdot 100 = 10\%,$$

što bi mogli označiti — s obzirom na karakter svih okolnosti koje smo u toku računa poštovali — samo kao minimalnu uštedu radnog vremena.

U toku našeg izlaganja nije nam bilo moguće — s obzirom da ovaj članak predstavlja samo kraću informaciju — ukazati na sve specifične okolnosti tehnologije koje smo bili prinuđeni kod računa poštovati, ni brojčano prikazati konačnu (tj. 113) tabelu i, kao njezin odraz, sliku mreže. Ovi su prikazi obuhvaćeni u materijalima »Savetovanja o upravljanju poslovnim sistemom« u Vrnjačkoj Banji u junu prošle godine, kao i u »rumenem zvezku« (žutoj svesci) Instituta za statistiko in operacijsko raziskovanje Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani.

Na kraju bi mogli konstatovati da bi se boljom organizacijom planiranja rada mogla postići i bolja produktivnost u pogonu. Svakako, rezultat našeg rešavanja predstavlja samo procenu mogućnosti minimalne uštede radnog vremena. Za detaljni računski pristup ovom problemu trebala bi služba informacija poduzeća pribaviti još mnoge podatke, za koje se za sada — u najboljem slučaju — zna samo njihova aproksimativna vrednost.

Tovarna »Lek«, Ljubljana

Andrej HRIBAR

LITERATURA

- 1) Inž. Anton Vila: *Metoda najmanjih razlika* (optimalno opterećenje vremenskih kapaciteta strojeva u slučajevima s alternativnim rješenjima), Zavod za unapređivanje produktivnosti rada — Zagreb, Centar za izboru zbu rukovodnih kadrova.
- 2) Jack Heller and George Logemann: (Institute of Mathematical Sciences, NY University) — *An Algorithm for the Construction and Evaluation of Feasible Schedules*; Management Science, Jan 1962, str. 168—183.

NAUČNA HRONIKA

UBRZANJE RASTA JUGOSLOVENSKE PRIVREDE U USLOVIMA STABILNOSTI

(Savetovanje Saveza ekonomista Jugoslavije)

Krajem februara održano je u Kragujevcu savetovanje o ubrzanju rasta jugoslovenske privrede u uslovima stabilnosti. Savetovanje je organizovao Centralni odbor Saveza ekonomista Jugoslavije. U njemu je učestvovalo 200 ekonomista sa fakulteta, iz instituta i preduzeća svih republika.

Pored 17 referata u kojima se analiziraju uticaji različitih društveno-ekonomskih faktora na ubrzanje rasta privrede u uslovima stabilnosti, savetovanju su prezentirana i dva referata koja tu problematiku kompleksnije tretiraju (V. Medeniće, direktora u Saveznom zavodu za privredno planiranje i B. Horvata, direktora Instituta ekonomskih nauka). Upravo ova dva referata su pobudila živo interesovanje usled različitih ocena dosadašnjeg privrednog razvoja (posebno ocene reforme) i neophodne buduće dinamike rasta jugoslovenske privrede.

Vuko Medenića je u referatu »Neke karakteristike dinamičnog rasta jugoslovenske privrede u uslovima reforme i stabilnosti«, kao i uvodnom izlaganju, istakao da su u periodu posle reforme i realizovanja tekućeg plana nastali »duboki dugoročni procesi društvenih i ekonomskih promena«, koji su, istina, u izvesnoj meri usporeni nepovoljnim dejstvom niza faktora: sporosti u menjanju strukture materijalne proizvodnje, prouzrokovane nedovoljnom efikasnosti raspoloživih resursa i adekvatnih ulaganja, nedovoljne konzistentnosti instrumenata privrednog sistema sa društvenim i materijalnim uslovima razvoja, neusklađenosti robnih i kupovnih fondova i sl. Mnogi rezultati se, istakao je autor, samo osećaju, jer ne postoji sistem koji bi ih sasvim egzaktno prikazao.

U definisanju sadašnjeg trenutka u svetlu opšteg kursa reforme autor naglašava da »problem nezaposlenosti uključiv i korišćenje kapaciteta i tehničkog progresa predstavlja jednu od najozbiljnijih protivrečnosti savremenog razvoja Jugoslavije«. Zbog toga će i dinamika privrednog razvoja u narednom periodu velikim delom zavisiti od načina i mogućnosti razrešavanja ovog problema.

Ilustrujući efekte triju modela, autor je došao do zaključka da stopa rasta društvenog proizvoda od 8—8,5% (u industriji 9—9,5%) najbolje odgovara »potrebama ubrzanog razvoja privrede na novim tehnološkim osnovama, sa pretežnim uticajem produktivnosti rada koja odgovara zemljama u fazi razvoja u koju ulazi Jugoslavija u periodu 1971—1975. god.«.

Branko Horvat je u uvodnom izlaganju dobrim delom sumirao rezultate istraživanja vršenih u Institutu ekonomskih nauka, a koji su sadržani i u prezentiranom materijalu »Sumarna analiza privrednog kretanja i predlozi za ekonomsku politiku«, kao i u radovima objavljenim poslednjih meseci. Autor podvrgava argumentiranoj kritici neizvršavanja pojedinih privrednih ciljeva reforme, kao što su: stabilizacija cena, ubrzanje izvoza i uvoza i smanjenje deficita platnog bilansa, intenzivnije privredovanje i razvoj slobodnog tržišta, a ističe da se uspešno ostvaruje jačanje preduzetničkog mentaliteta