

OPTIMIZACIJA V PROIZVODNJI

JANEZ BARLE*, JANEZ GRAD**

*Nova Ljubljanska banka d.d., Ljubljana, Slovenija

**Ekonomski fakulteta, Ljubljana, Slovenija

POVZETEK

Za planiranje in vodenje proizvodnje obstajajo različne računalniško podprte metodologije. V industrijah, ki proizvajajo izdelke z veliko različnih sestavnih delov, so se uveljavili predvsem t.i. MRP ("Manufacturing Resources Planning") sistemi za planiranje. V kapitalno intenzivnih procesnih industrijah pa je bolj tipičen pristop uporaba linearnega programiranja in drugih optimizacijskih metod. Sodoben razvoj gre v smeri vse večje uporabe optimizacije. Zelo zanimivi so poskusi kombiniranja sistemov tipa MRP z različnimi optimizacijskimi modeli. Sodoben okvir za uvedbo optimizacijskih modelov so sistemi za uporabo odločanja, ki delujejo na osebnih računalnikih.

ABSTRACT

There are different computer supported methodologies for production management and planning. In the discrete parts industry MRP (Manufacturing Resources Planning) systems have become the standard planning methodology. In the capital-intensive process industry linear programming and other optimization methods are more typical as approach to planning. Some contemporary planning methods are based on linking of MRP approach with different optimization models. An efficient framework for optimizations models are decision support systems which are usually implemented on personal computers.



1 UVOD

Zaradi vse hujše konkurence na domačem in svetovnem trgu postaja učinkovitost proizvodnje v posameznih tovarnah oziroma proizvodnih obratih vse pomembnejši dejavnik. Proizvedeni izdelki morajo obvezno zadoščati veljavnim merilom kakovosti in zmogljivosti pri uporabi. Za dokončen uspeh na trgu pa je treba ponuditi izdelek ali storitev, ki ima tudi ugodno ali vsaj sprejemljivo razmerje med prodajno ceno, kakovostjo in zmogljivostjo. Zato je nadzoru in zmanjševanju proizvodnih stroškov treba posvetiti največjo možno pozornost. Z vidika podjetja pa je pomembno, da zmanjševanje stroškov praviloma omogoča doseganje večjega dobička ali vsaj poslovanje brez izgub. Glavni stroški pri delovanju tovarne so naslednji:

- stroški delovne sile;
- stroški nakupa in vzdrževanja proizvodne opreme (strojev);
- stroški nakupa ali najema delovnih prostorov;
- stroški nabave materiala, polizdelkov, energije itd.;
- stroški skladiščenja materiala in dokončanih izdelkov;
- stroški priprave proizvodnje novega izdelka;
- stroški servisiranja strank (kupcev izdelkov).

Med najbolj zaželenih ciljev poslovanja podjetja vsekakor spada optimizacija, to je v danem primeru minimizacija, vseh ali vsaj nekaterih od zgoraj omenjenih stroškov. Pri tem je besedo "optimizacija" treba razumeti v zelo

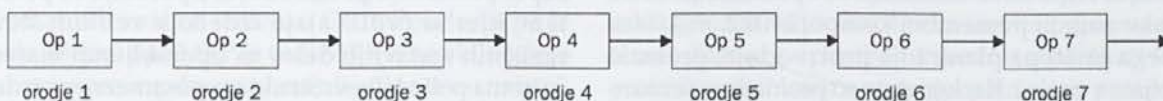
širokem smislu. Med drugim je s tem pojmom mogoče označiti težnjo po iskanju novih in predvidoma boljših organizacijskih oblik podjetja, za katere se pričakuje, da lahko dolgoročno zmanjšajo stroške in povečajo dobiček. Očitno je, da je treba biti pri definiranju ciljev tako splošno zastavljene optimizacije zelo previden. Upoštevati je treba, med drugim, da so optimizacije različnih vrst stroškov pogosto medsebojno konfliktni cilji. Prav tako je očitno, da dosledno izvajanje optimizacije stroškov pogosto pripelje v nasprotje s težnjo po zadovoljevanju drugih potreb strank ali širše skupnosti, kot na primer:

- hitri dobavni roki za proizvedene izdelke ali storitve;
- ohranitev onesnaževanja okolja na sprejemljivi ravni;
- izboljšanje ali vsaj ohranjanje obstoječe ravni zaposlenosti.

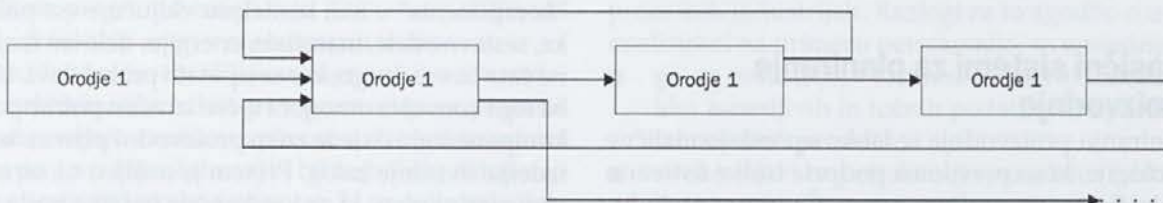
Problematika optimizacije je torej tako kompleksna, da je vse njene vidike zelo težko na kratko sistematično obdelati. Zato se bomo v nadaljevanju sestavka omejili le na kratek opis nekaterih vidikov uporabe metod matematične optimizacije v okviru operativnega planiranja na področju materialne proizvodnje.

Za uvajanje v nakazano problematiko bomo uporabili primer nekega izdelka, ki se izdelava v sedmih zaporednih delovnih operacijah, ki pa se izvajajo na štirih različnih orodjih (Fromm et al, 1993). Velja ugotovitev, da se taki in podobni primeri lahko obravnavajo tako z

a) pogled z vidika procesa:



b) pogled z vidika strojev:



Slika 1: Izdelek, ki se izdelava v 7 zaporednih operacijah na 4 orodjih

vidika procesa izdelave kot z vidika izrabe proizvodne opreme.

Z vidika procesa je cilj optimizacije mogoče formulirati kot maksimizacijo količine proizvedenih izdelkov. To pomeni, da je zaželeno čim bolj zmanjšati čas izvajanja posameznih delovnih operacij. Poleg tega je pogosto treba upoštevati še čas, ki je potreben za pripravo proizvodnje na posameznem stroju. Vpliv tega časa je mogoče zmanjšati tako, da se več enakih izdelkov, t.i. proizvodna serija, izdeluje naenkrat. Večje proizvodne serije so zaželenje zlasti takrat, ko med proizvodnjo prihaja do t.i. ozkih grl, ki pomenijo zastoje v proizvodnji zaradi čakanja, da se sprostijo zasedeni stroji. To že spada v problem optimizacije z vidika strojev, kjer ciljev ni preprosto matematično formulirati. Praviloma je treba poskušati doseči čim bolj ekonomično izrabo obstoječih orodij. Proizvodni procesi pri kompleksnih problemih planiranja proizvodnje imajo v splošnem naslednje značilnosti:

- proizvodne kapacitete, ki jih morajo deliti različni izdelki;
- omejitve v razpoložljivi količini materialov in polizdelkov;
- proizvodni program mora biti realiziran v okviru nekega časovnega obdobja;
- količina končnega izdelka je vnaprej predpisana (naročilo) ali pa mora biti v okviru nekih smiselnih mej, določenih s trgom ali tehnologijo;
- za posamezne izdelke je pogosto možnih več alternativnih načinov njihove izdelave;
- merljive stroške ali druge parametre, ki jih je treba optimizirati (zaželeno je, če so izraženi z neko namensko funkcijo).

Če se upošteva, da lahko posamezno podjetje proizvaja tudi več tisoč izdelkov in pri tem uporablja veliko različnih strojev, tehnologij, polizdelkov in materialov, postane še bolj očitna vsa kompleksnost in različne razsežnosti naloge planiranja proizvodnje. Zato je k tej

nalogi treba pristopiti zelo sistematično in jo razdeliti na več faz. Kot enega od možnih pristopov predlagamo razdelitev v naslednje faze:

1. **Opis proizvodnega sistema.** V okviru te faze je treba na ustrezen način modelirati proizvodni sistem. Modeliranje je, po svoji naj bolj splošni definiciji (Geoffrion, 1989), proces pridobivanja točnega "znanja" o nekem delu "stvarnosti". V kontekstu proizvodnih sistemov je treba najprej modelirati ustrezne baze podatkov in jih napolniti z zanesljivimi in ažurnimi podatki. To vrsto modeliranja, ki uporablja standardno metodologijo baz podatkov, je treba dopolniti še z nekaterimi specifičnimi postopki za modeliranje dinamike proizvodnih procesov. To so modeli za različne klasične metode planiranja proizvodnje, simulacijski modeli, optimizacijski modeli in tudi druge vrste modelov.
2. **Razlaga in analiza proizvodnega sistema.** Ta faza je namenjena ugotavljanju lastnosti proizvodnega sistema in preverjanju pravilnosti modela. Pri tem se lahko uporabijo različna orodja za simulacijo, za katere je, zaradi stohastične narave proizvodnih procesov, značilna uporaba metod iz statistike in verjetnostnega računa.
3. **Določitev možnega (izvedljivega) proizvodnega plana.** V ta namen je mogoče uporabiti klasične metodologije planiranja proizvodnje. Pri kompleksnih proizvodnih sistemih je pogosto velik problem že določitev proizvodnega plana, ki je izvedljiv ob upoštevanju omejitev, ki izvirajo iz razpoložljivih strojnih in drugih kapacitet.
4. **Določitev "dovolj dobrega" ali "optimalnega" proizvodnega plana.** To je zaključna faza, v kateri praviloma ne gre brez uporabe primerno izbranih metod matematičnega programiranja. Pri tem pa se ne sme pozabiti, da sta kakovost in uporabna vrednost rezultatov optimizacije zelo odvisni od natančnosti uporabljenega modela.

V splošnem velja, da se simulacija in optimizacija, ki sta vsebinsko najbolj pomembni komponenti 2. in 4. faze opisanega pristopa planiranja proizvodnje, premalo uporabljata v praksi. Razlogi za to so premajhna seznanjenost s tovrstnimi metodami in tudi objektivne težave, povezane z njihovim integriranjem v operativno planiranje proizvodnje.

2 Klasični sistemi za planiranje proizvodnje

Pri planiranju proizvodnje se lahko uporabijo različne metodologije, ki so praviloma podprte tudi z ustrezno računalniško programsko opremo. Če gre za metodologije, ki so namenjene celoviti podpori različnih planskih in krmilnih funkcij podjetja, se uporablja izraz "sistemi za planiranje in krmiljenje proizvodnje". Po eni od možnih klasifikacij (Starbek et al, 1993) spadajo med tovrstne sisteme:

- projektno planiranje in krmiljenje proizvodnje;
- centralni MRP ali MRP II ("Materials Requirements Planning" ali "Manufacturing Resources Planning");
- sistem napredovalnih količin;
- sistem ozkih grl OPT ("Optimized Production Technology");
- na obremenitev orientirano spuščanje naročil;
- japonski sistem "KANBAN" ali JIT ("Just In Time").

Katerega od omenjenih sistemov je najbolje izbrati, je odvisno od vrste proizvodnje, organizacijske oblike podjetja in načina razporeditve delovnih sredstev (strojev, skladišč, delovnih mest...). Velja tudi, da je v praksi pogosto smiselno uporabiti ustrezno kombinacijo več različnih sistemov. V nadaljevanju se bomo omejili na kratek opis sistema MRP in pomembnejših značilnosti nekaterih drugih sistemov.

Sistem MRP je tipičen predstavnik klasičnega kon-

cepta planiranja proizvodnje. Uporablja se predvsem tam, kjer se proizvajajo izdelki z velikim številom različnih sestavnih delov in uporabljenih materialov oziroma polizdelkov. Struktura posameznega izdelka je določena s t.i. proizvodno kosovnico ("Bill of Materials"), kjer so, z večnivojsko drevesno organizacijo podatkov, vključene vse komponente izdelka. Pojem "komponenta" v tem kontekstu vključuje vse polizdelke, sestavne dele, materiale, energijo, delovni čas, strojne čase in vse drugo, kar se uporabi pri izdelavi. Uporaba tega koncepta omogoča točen izračun potreb po vseh komponentah, če je le znan proizvodni plan za končne izdelke in stanje zalog. Pri tem je mišljen t.i. terminski proizvodni plan, ki za vse končne izdelke poda poleg količin tudi časovni rok, ki pove kdaj mora biti izdelek dokončan.

Kot je razvidno iz Slike 2, sistem MRP potrebuje datoteke s podatki o kosovnicah, terminskem planu proizvodnje in stanju zalog, ki morajo biti vključene v ustrezno bazo podatkov. Sistem MRP podaja, na kratko povedano (Stevenson, 1986, str. 544), odgovor na tri vprašanja: **kaj** je potrebno, **koliko** je potrebno in **kdaj** je to potrebno. Osnovna pomanjkljivost MRP je v tem, da gre pri tem za potrebe, ki so lahko ali pa tudi ne v skladu z možnostmi. To pomeni, da vhodni terminski plan proizvodnje včasih ni možno izpeljati v okviru obstoječih kapacitet in vseh drugih omejitev proizvodnega sistema. Zato je bilo potrebno opisani koncept posplošiti v veliko širši pristop, ki se imenuje MRP II.

V jedru sistema MRP II ostaja MRP, ki pa je dopolnjen s sistemom za planiranje kapacitet CRP ("Capacity Requirements Planning"). Pomembno je tudi to, da se pri MRP II upoštevajo obstoječi plani in informacije s področij trženja in financ. Uporaba vseh omenjenih dejavnikov omogoča, z uporabo iterativnega postopka, oblikovati proizvodni plan, ki je sprejemljiv tako tehnološko kot tudi z vidika financ in trženja. MRP II



Slika 2: Sistem MRP ("Materials Requirements Planning")

uporablja tudi simulacije, ki omogočajo različne t.i. "kaj če" ("what if") analize v okviru CRP. Poudariti pa je treba, da sistemi tipa MRP in tudi MRP II ne vključujejo optimizacije proizvodnega plana ali odločitev o nabavi. Pomanjkljivost je delno odpravljena pri sistemu ozkih grl OPT ("Optimized Production Technology"). Ta sistem za planiranje proizvodnje je dobil ime po računalniškem programskem paketu (Stevenson, 1986, str. 610), ki je bil zelo znan v osemdesetih letih.

Značilna lastnost OPT je usmerjenost na razreševanje problematike ozkih grl v proizvodnem procesu. To se utemljuje z velikim vplivom ozkih grl na celotni proces proizvodnje. Zato naj bi bil najboljši pristop najprej optimizirati izrabo kapacitet, ki so ozka grla, šele potem pa poskušati sestaviti dober oziroma optimalen proizvodni plan za celotno tovarno. Pri realizaciji nakananega pristopa OPT uporablja metode simulacij, matematičnega programiranja in teorije grafov.

Sistem "KANBAN" ali JIT se po svojih značilnostih zelo razlikuje od MRP ali MRP II, ki izhajata iz zahodne industrijske tradicije. Glavni cilj sistema JIT, ki se je izkazal kot zelo uspešen v japonski avtomobilski industriji, je zmanjševanje zalog končnih izdelkov in vseh njihovih komponent. To je pomembna razlika v primerjavi z MRP in MRP II, kjer so take zaloge neizogibne. V sistemu JIT je zmanjševanje zalog možno zaradi velike pozornosti, namenjene pripravi proizvodnje, avtomatizaciji, kontroli kakovosti, skupinskemu delu in dobremu sodelovanju z dobavitelji in kooperanti. Zanimivo je, da je bilo sistem JIT, vsaj v njegovi prvotni obliki, mogoče realizirati celo brez uporabe računalnika (Stevenson, 1986, str. 575-581).

Ena od pomanjkljivosti klasičnih sistemov za planiranje proizvodnje je vsekakor odsotnost prijemov, s katerimi bi se lahko preverilo, ali je dobljen proizvodni plan optimalen v smislu dohodka in stroškov. Zato je bilo posvečenega veliko raziskovanja kombiniranju sistemov kot so MRP in MRP II z metodami matematičnega programiranja ali celo samostojni uporabi teh metod v kontekstu planiranja proizvodnje.

3 Uporaba linearnega programiranja v planiranju proizvodnje

Problem linearnega programiranja (LP) je mogoče formulirati kot iskanje takega vektorja x , ki reši optimizacijsko nalogo

$$\text{minimiziraj } c^T x \text{ pri pogojih } Ax = b, \quad 1 \leq x \leq u,$$

kjer je T simbol za transponirani vektor ali matriko, A matrika reda $m \times n$, b , c , l in u pa so vektorji ustreznih dimenzij, pri čemer so komponente l in u lahko tudi $-\infty$ ali $+\infty$. Linearnost pogojev LP in namenske funkcije $c^T x$ spominja na linearno povezavo med količino proiz-

vedenih izdelkov in izrabo materiala, delov in proizvodnih kapacitet, ki je značilna za številne proizvodne sisteme. Zato je z uporabo LP možno modelirati številne praktične probleme s področja planiranja proizvodnje.

Modeli LP se že od petdesetih let uspešno uporabljajo v petrokemiji, papirništvu, metalurgiji (proizvodnja aluminija, jekla itd.) in podobnih kapitalno intenzivnih procesnih industrijah. Razlogi za to zgodbo o uspehu, analizirani na primeru petrokemije, so naslednji:

- gre za industrijo, v kateri se je z leti akumuliralo veliko zanesljivih in točnih podatkov o uporabljenih tehnoloških procesih;
- strokovnjaki za petrokemijo praviloma lahko zlahka interpretirajo posamezne spremenljivke, kar zelo olajšuje preverjanje modela;
- omejitve modela LP so določene predvsem s tehnologijo, v veliko manjši meri pa s tržnimi omejitvami, ki jih je težko točno oceniti;
- zaradi kapitalne intenzivnosti ima v petrokemiji optimalnost večji pomen kot v industrijah, ki niso tako kapitalno intenzivne.

Tudi v okviru procesnih industrij je treba nekatere manjše dele proizvodnega procesa modelirati s spremenljivkami, ki morajo biti cela števila. Takšna razširitev LP se imenuje mešano celoštevilsko programiranje (MCP). Modeli LP in MCP se v splošnem lahko rešujejo z uporabo programskih paketov za matematično programiranje, na primer z OSL (More, Wright, 1993). Sodoben pristop k optimizaciji planiranja za primer rafinerije nafte je opisan npr. v (Ballintijn, 1993).

Pri uporabi LP ali MCP v procesnih industrijah povzroči v splošnem največje težave nelinearen značaj nekaterih fizikalnih in kemičnih procesov, ki jih je treba modelirati. To so na primer različne formule iz termodinamike, ki jih je treba uporabiti med modeliranjem nekaterih procesov (Staudinger, 1990). Sodoben pristop k razreševanju tovrstnih problemov je rekurzivna uporaba LP, ki temelji na podobnih načelih kot Newtonova metoda za reševanje nelinearnih enačb (Main, 1993).

Pri uporabi LP na področjih, ki se po svojih značilnostih bistveno razlikujejo od kapitalno intenzivnih procesnih industrij, se lahko pojavijo različni problemi in tudi dvomi v primernost modelov LP. Med drugim, določene pomisleke vzbujajo že oblika namenske funkcije. Njena linearnost pomeni (Barle, Grad, 1990), da LP privzema zelo pomembno predpostavko o danostih v proizvodnji: **prispevek enote proizvoda k dohodku je neodvisen od skupnega obsega proizvodnje**. Ta predpostavka pa je, vsaj navidezno, v nasprotju z eno od pomembnih značilnosti ekonomske prakse: proizvodnja velikih količin znižuje stroške na enoto izdelka. Upravičenost uporabe LP se lahko pojasni z naslednjim:

- modeli LP se uporabljajo predvsem pri proizvodnji v velikih serijah;

- optimalna vrednost namenske funkcije (npr. dohodka) mora biti dovolj velika, da se z njo pokrijejo tudi fiksni in drugi stroški, ki niso eksplicitno vključeni v model.

Če so nakazani pogoji za uporabo LP izpolnjeni in če proizvodnja ni popolnoma določena z naročili, je pogosto možno formulirati in rešiti t.i. asortimanski problem LP. To je tak proizvodni problem LP, pri katerem se določajo skupne količine posameznih izdelkov (t.i. proizvodni asortiman), časovna razporeditev proizvodnje pa ni pomembna. Omejitve tega problema izhajajo iz ocenjenih tržnih mej izdelkov in iz tehnoloških omejitev proizvodnega procesa, ki se izrazijo z ustreznim sistemom linearnih enačb in neenačb. Za namensko funkcijo se v praksi praviloma uporablja t.i. pokritje. To je razlika med celotnim prihodkom in direktnimi variabilnimi stroški:

POKRITJE izdelka = PRODAJNA CENA - DIREKTNI VARIABILNI STROŠKI

Nakazani splošni model je bolj podrobno opisan v (Barle, Grad, 1990). Na tak način dobljen optimalni asortiman se lahko izkaže koristen v kombinaciji z drugimi metodami planiranja proizvodnje, predvsem v kontekstu dolgoročnega (npr. letnega) planiranja proizvodnje.

Veliko težji problemi so povezani z uporabo LP v kontekstu kratkoročnega terminskega planiranja proizvodnje. Če ne gre za procesne industrije, je v modelu treba upoštevati velikosti proizvodnih serij, časovno in prostorsko razporeditev strojev, medsebojne odvisnosti komponent končnih izdelkov in polizdelkov ter številne druge dejavnike. To z ene strani zelo poveča število spremenljivk, z druge strani pa vpeljuje v model nelinearnosti, ki narekujejo uporabo MCP ali celo splošnega nelinearnega programiranja. Velike probleme lahko povzroči tudi stohastična narava nekaterih pomembnih parametrov, med katerimi je najbolj pomembno tržno povpraševanje za izdelke, ki se proizvajajo. Zato se v prak-

si večinoma niti ne poskuša z vpeljavo optimizacije.

Navkljub omenjenim težavam obstajajo številni primeri uspešne uporabe LP ali MCP v proizvodnji. Najbolj zanimivi so primeri iz zelo tehnološko zahtevnih industrij, kot je na primer proizvodnja polprevodnikov, računalnikov, potrošne elektronike, letal, ladij in podobno. To so take industrije, za katere je značilna uporaba MRP in sorodnih metodologij planiranja proizvodnje. Sedanji razvoj metodologije planiranja gre očitno v smer integriranja MRP z optimizacijskimi modeli. Omeniti je treba predvsem BPS ("Berkeley Planning System"), ki se od leta 1984 razvija na Kalifornijski univerzi v Berkeleyu (Leachman, 1993). Uporablja se za operativno planiranje proizvodnje v nekaterih ameriških tovarnah polprevodnikov. Kombinacija MRP z optimizacijskimi modeli (LP in MCP) je značilna tudi za metodologijo planiranja, ki se uporablja v eni od tovarn računalnikov IBM (Monvoisin, 1993).

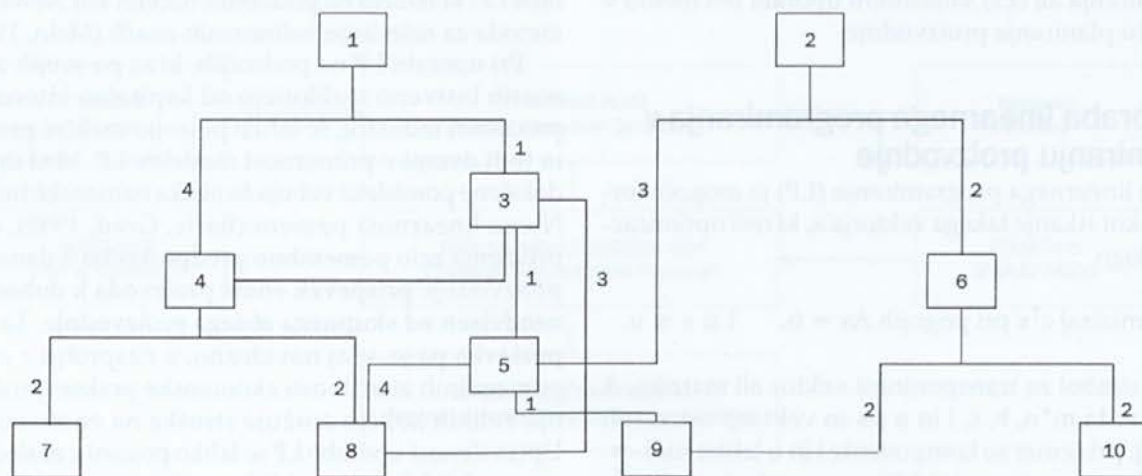
Našteti modeli so tako kompleksni, da jih, zaradi omejenega prostora, ni mogoče niti zelo na kratko opisati. Zato se bomo omejili na prikaz bolj preprostega modela (Müller-Merbach, 1973), ki pokaže, kako je mogoče kosovnice izdelkov vključiti v asortimanski problem LP.

Ta model, ki je primeren zlasti v strojni industriji, ima obliko:

$$\text{maksimiziraj } z = p^T y - c^T x \quad (1)$$

$$\text{pri pogojih } y + Dx = x, \quad Ax \leq b, \quad x \geq 0, \quad l \leq y \leq u,$$

kjer so p (prodajne cene) in c (stroški) vektorja koeficientov namenske funkcije, D kvadratna matrika (predstavitev kosovnice), A pravokotna matrika (t.i. tehnološka matrika), b vektor razpoložljivih kapacitet, y vektor izdelkov ali komponent, ki se prodajajo na trgu, x vektor proizvedenih oziroma nabavljenih izdelkov ali komponent, l in u pa sta vektorja spodnjih in zgornjih tržnih



Slika 3: GOZINTO graf za uporabljeni primer

mej. Pojasniti je treba, da se kosovnice izdelkov lahko shranijo v obliki matrike tako, da vsakemu izdelku, polizdelku ali komponenti pripada en stolpec D. V stolpcu so vsebovane količine posameznih komponent izdelka ali polizdelka. Če pa gre za komponento brez sestavnih delov, so v ustreznem stolpcu same ničle. V nadaljevanju je podan preprost primer. Podjetje proizvaja končna izdelka 1 i 2. Za njuno sestavljanje so potrebni polizdelki 3, 4, 5 in 6. Za te polizdelke pa je treba kupiti ali narediti sestavne dele ali materiale 7, 8, 9 in 10. Kvantitativna razmerja med omenjenimi proizvodi se lahko shematsko podajo s pomočjo t.i. "GOZINTO" grafa (Vazsony, 1958), kar je prikazano na Sliki 3.

Ekvivalentna matrična predstavitev pa je prikazana na Sliki 4.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3		1								
4		4		2						
5			3	1						
6			2							
7					2					
8				3	2	4				
9						1	2			
10							2			

Slika 4: Prikaz istega primera s pomočjo matrike D

V prikazu matrike D v okviru Slike 4 so, zaradi boljše preglednosti, vpisani le neničelni elementi. Med drugim se je možno prepričati, da so vsi elementi vrstic, ki pripadajo končnim izdelkom, enaki 0, kar velja tudi za vse elemente stolpcev, ki predstavljajo materiale. V splošnem neničelni elementi d_{ij} pripadajo povezavam GOZINTO grafa. Stolpci matrike D vsebujejo vse povezave, ki vodijo k posameznemu vozlu grafa. Na primer: za en kos končnega izdelka 2 so potrebne 3 enote polizdelka 5 in 2 enoti polizdelka 6. Vrstice D pa vsebujejo vse povezave, ki izhajajo iz posameznega vozla grafa. Na primer: za izdelavo končnega izdelka 1 so potrebne 4 enote polizdelka 4, za izdelavo polizdelka 3 sta potrebni dve enoti polizdelka 4. Ker je privzeto, da noben izdelek ali polizdelek ne vsebuje samega sebe, so vsi diagonalni elementi D enaki 0. V tipičnem primeru sta tako D kot tudi A zelo redki matriki. Velja tudi, da je D s simetričnimi permutacijami vrstic in stolpcev vedno mogoče prevesti v spodnjo trikotno matriko. Opisani model je v primerih, ko je D matrika velikih dimenzij (20000 vrstic in stolpcev je dokaj običajen primer), lahko zelo neroden za računanje. V takih primerih je smiselno uporabiti sis-

tem enačb $y = (I - D)x$ oziroma $x = (I - D)^{-1}y$. Pri tem je pomembno, da ima D za komponente le cela števila in je permutirana trikotna matrika. Zato je $(I - D)^{-1}$ tudi trikotna in celoštevilsko matrika in jo je dokaj preprosto izračunati. Po izvršeni substituciji x z $(I - D)^{-1}y$ se problem LP (1) prevede v naslednjo obliko:

$$\text{maksimiziraj } z = (p^T - c^T(I - D)^{-1})y$$

$$\text{pri pogojih } A(I - D)^{-1}y \leq b, \quad 1 \leq y \leq u,$$

kjer je treba še upoštevati, da praviloma za veliko komponent y_i velja $0 \leq y_i \leq 0$. To pomeni, da ti izdelki nastopajo na trgu le formalno in jih zato ni treba upoštevati med izvajanjem optimizacije. S takim preurejanjem modela LP se bistveno zmanjša tako število pogojev kot tudi število spremenljivk.

Opisani model, ki ga je mogoče še posplošiti z vključevanjem problematike zaloga, je preprost primer vključevanja konceptov iz MRP v optimizacijske modele.

4 Optimizacija z vidika končnega uporabnika

Optimizacijske modele je mogoče obravnavati z različnih vidikov. Za matematika je bistven algebraični zapis problema in morda še splošni algoritmi za njegovo reševanje. Strokovnjak, ki je zadolžen za planiranje proizvodnje, vidi v modelu predvsem rešitev konkretnega problema s področja poslovanja podjetja. Zelo pomemben je tudi vidik končnega uporabnika, ki je zadnji in odločilni člen pri prevajanju teoretičnih zasnov modela v praktično uporabno orodje. Uspeh optimizacijskega modela je, dolgoročno gledano, najbolj odvisen od končnega uporabnika (Staudinger, 1990).

Za uporabnika iz gospodarstva je optimizacijski model orodje, ki naj bi služilo nekemu namenu. Če temu namenu dobro služi, bo model cenjen in obdržan v operativni uporabi. Če pa model ne služi svojemu namenu, bodo uporabniki model prenehali uporabljati in ga zamenjali z drugim orodjem (npr. simulacijskim modelom), ki bo morda celo popolnoma drugačne narave. Končni uporabnik želi model, ki pokriva določen vidik poslovanja podjetja in omogoča eksperimentiranje in postavljanje vprašanj tipa "kaj če", "koliko" in temu podobno. Zato so najbolj pomembne lastnosti modela opisna moč, fleksibilnost in preprostost uporabe (Staudinger, 1990). V nadaljevanju so te lastnosti podrobneje definirane.

Opisna moč. Ta lastnost pomeni, da mora model dovolj natančno odražati stvarnost. Zato je skoraj vedno v model potrebno vključiti veliko število spremenljivk, včasih pa tudi nekatere nelinearnosti.

Fleksibilnost. To pomeni, da je treba vnaprej predvideti možne spremembe modela, ki bodo narekovane z

njegovo praktično uporabo. To je dokaj kompleksen problem, ki ga ni možno vsakokrat zadovoljivo razrešiti. Možni pristopi so naslednji:

- Model naj bi bil voden le z vhodnimi in izhodnimi podatki, in ne s spreminjanjem računalniških programov. Pri tem je najtežji problem, kako parametrizirati nenumerične podatke.
- Parametri modela niso nikoli popolnoma neodvisni. Zato jih je treba na ustrezen način strukturirati.
- Zelo zaželeno je pustiti odprte možnosti za različne spremembe in razširitve modela.

Preprostost uporabe. Ta lastnost je pomembna zato, da bi se tistim, ki sprejemajo odločitve, omogočilo neposredno uporabljati model. V prvi vrsti je potrebno minimizirati delo, ki je povezano z vnosom podatkov. Zato je treba poskusiti doseči naslednje lastnosti modela:

- Preprosta struktura modela (minimizacija števila različnih konceptov).
- Hiter in preprost vnos podatkov in izhod rezultatov (minimizacija števila podatkov).
- Podatkovne strukture, ki so prirejene konkretnemu modelu (minimizacija priprave podatkov).

Naštete lastnosti morajo veljati tudi takrat, ko je optimizacijski model vključen v širši okvir nekega sistema za podporo odločanja (Sprague, Carlson, 1982) ali ekspertnega sistema. V splošnem velja, da je potrebno veliko pozornosti posvetiti problematiki uporabniške prijaznosti optimizacijskega modela.

5 Zaključki

V zadnjem času je na področju praktične uporabe optimizacije v proizvodnji mogoče zaznati določene premike in nove trende. Z ene strani so to napor v iskanju novih področij uporabe, ki se po svojih značilnostih zelo razlikujejo od kapitalno intenzivnih procesnih industrij, kjer so se v preteklosti LP in druge optimizacijske metode zelo uveljavile. Najbolj zanimivi in obetavni dosežki temeljijo na kombinaciji MRP in sorodnih klasičnih metodologij za planiranje proizvodnje z LP in drugimi optimizacijskimi modeli. Pri tem je treba omeniti, da so na tem področju veliko storila nekatera podjetja s področja visokih tehnologij, ki uporabo optimizacije razumejo kot eno od priložnosti za doseganje konkurenčne prednosti na trgu.

Na praktično podobo optimizacije je vplivala tudi mikroračunalniška revolucija, ki je vpeljala nova orodja in zelo približala računalnik končnemu uporabniku.

Zato je danes najbolj smiselni pristop vključitev optimizacijskega modela v ustrezeni sistem za podporo odločanja na področju planiranja in vodenja proizvodnje. Zaradi njihove velike zmogljivosti je sedaj možno na osebnih računalnikih vpeljati vse funkcije sistema za podporo odločanja (tudi optimizacijsko).

Uporaba optimizacijskih modelov zahteva, podobno kot MRP, razmeroma velike baze podatkov, ki morajo biti ažurne in zanesljive. Poleg tega je optimizacijske modele praviloma mogoče uporabljati le v povezavi z drugimi metodami za planiranje proizvodnje. Zato je uspešna vpeljava optimizacijskih modelov v prakso dokaj redek pojav. Menimo, da se bo to stanje izboljšalo takrat, ko se bo povečala uporaba sistemov za podporo odločanja, simulacijskih modelov in sorodnih metodologij.

Literatura

- Ballintijn K. (1993) Optimization in Refinery Scheduling: Modeling and Solution, v Optimization in Industry: Mathematical Programming and Modeling Techniques in Practice. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 191-199.
- Barle J., Grad J. (1990) Planiranje proizvodnje s pomočjo linearnega programiranja. Ekonomska revija, 41, 123-135.
- Fromm H., Dillenberger C., Wollensak A. (1993) Optimization in Microelectronics Manufacturing, v Optimization in Industry: Mathematical Programming and Modeling Techniques in Practice. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 63-80.
- Geoffrion A.M. (1989) The Formal Aspects of Structured Modeling. Operations Research, 37, 30-51.
- Leachman R.C. (1993) Modeling Techniques for Automated Production Planning in the Semiconductor Industry, v Optimization in Industry: Mathematical Programming and Modeling Techniques in Practice. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 1-30.
- Main R. A. (1993) Large Recursion Models: Practical Aspects of Recursion Techniques, v Optimization in Industry: Mathematical Programming and Modeling Techniques in Practice. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 241-249.
- Monvoisin C. (1993) A Linear Programming Approach to Planning the Production of Mainframe Computers, v Optimization in Industry: Mathematical Programming and Modeling Techniques in Practice. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 211-221.
- More J.J., Wright S.J. (1993) Optimization Software Guide. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, Pennsylvania.
- Müller-Merbach H. (1973) Switching Between Bill of Material Processing and the Simplex Method in Certain Linear Large-Scale Industrial Optimization Problems, v Decomposition of Large Scale Problems. North-Holland, Amsterdam, 189-199.
- Sprague R.H., Carlson E.D. (1982) Building Effective Decision Support Systems. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Starbek M., Kušar J., Menart D., Klučar P. (1993) Izbor najprimernejšega sistema planiranja in krmljenja proizvodnje, Zbornik del SOR '93. Slovensko društvo informatika, Sekcija za operacijske raziskave, Ljubljana, 79-87.
- Staudinger R. (1990) The Design of an Industrial LP Model. OR Spektrum, 12, 173-179.
- Stevenson W.J. (1986) Production / Operations Management. Richard D. Irwin Inc., Homewood, Illinois.
- Vaszonyi, A. (1958). Scientific Programming in Business and Industry. John Wiley & Sons, New York.

Janez Barle je diplomiral matematiko na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo, magistrirjal in doktoriral iz informacijsko-upravljalških znanosti pa je opravil na Ekonomski fakulteti v Ljubljani. Raziskovalno se ukvarja z algoritmi linearnega programiranja in njihovim uvajanjem v praksi. Sedaj je zaposlen v Novi ljubljanski banki, v sektorju za upravljanje z riziki.

Janez Grad je doktor matematičnih znanosti. Bil je dolgoletni predstojnik Republiškega računskega centra in Univerzitetnega računskega centra. Zdaj je redni profesor za področje informatike in vodi poddiplomskega programa iz informacijsko-upravljalških ved na Ekonomski fakulteti v Ljubljani. Je soavtor številnih učbenikov in knjig ter strokovnih referatov in člankov. Raziskovalna področja: operacijske raziskave, linearna algebra, baze podatkov.