

Algoritmy kapacitného plánovania a rozvrhovania výroby, tvorba prognózy a kapacitnej bilancie plánovacieho systému firmy Alfa Folie, a.s.

Martin Straka¹, Dušan Malindžák² a Zuzana Marková³

Algorithms of capacity planning and production scheduling prognosis creation a capacity balance of Alfa Foils, a.s. planning system

Firm forecasting and planning base on operative approach bears only measure of request production saturation. After overload "point of bearing" occur collapse planning system, i.e. firm is overload with orders and periodically is enable to keep delivery dead lines.

Key words: planning, period, aggregate planning and scheduling, orders, planning algorithms.

Úvod

V minulosti, do roku 1989 bolo plánovanie výroby u nás centralizované a firmy museli plniť vopred stanovené výrobné kvóty, plány, bez ohľadu na záujem trhu. Po 1989-tom roku nastala radikálna zmena na trhu a firmy boli nútené naučiť sa tvoriť výrobné plány v závislosti od záujmu trhu. Prvá dekáda po tomto roku je charakteristická tým, že slovenské firmy, v snahe udržať sa na trhoch, brali všetky ponuky a objednávky bez ohľadu na ich ekonomický prínos. Tento prístup jednoznačne uprednostňoval obchodníkov, predajcov firiem pred samotnou výrobou [1], [2]. V stave, keď si firma „buduje“ svoje miesto, postavenie na trhu, je tento prístup pre firmu prijateľný a pochopiteľný. Takémuto prístupu sa prispôbi tvorba výrobných plánov, ktoré sú založené hlavne na operatívnom prístupe. Plánovanie firiem založené na operatívnom prístupe je únosné len do miery nasýtenia požiadaviek výroby. Po prekročení „bodu únosnosti“ nastáva kolaps takéhoto systému plánovania, t.j. firma je zahľtená zákazkami a pravidelne je neschopná dodržiavať dodacie termíny v snahe uprednostňovať niektorých klientov [3].

Popis algoritmov kapacitného plánovania a rozvrhovania výroby

Algoritmy modelov pre tvorbu prognózy záväzný termín dodania (ZTD) a kapacitné a sekvenčné rozvrhovanie výroby pozostávajú z troch základných častí:

- algoritmy pre tvorbu prognózy výrobných plánov – prognóza záväzného termínu dodania (PZTD) - ZTD,
- algoritmy pre materiállovú a kapacitnú bilanciu,
- algoritmy sekvenčného rozvrhovania výroby pre jednotlivé zariadenia na výrobných oddeleniach.

Záväzný termín dodania je možné získať, určiť nasledovnými spôsobmi:

- ZTD určí zákazník (je nutné overiť či tento termín je možné dodržať),
- prognosticky, ak si zákazník vyžaduje určiť dopredu PZTD - ZTD,
- kapacitným plánovaním, v termíne najbližšej tvorby výrobných plánov, ak plánovač zákazníkovi potvrdzuje, určuje ZTD.

Pod výrobným plánom budeme rozumieť kapacitne optimalizované objemy zákaziek rozdelených do periód N+1, N+2, N+3, N+4 po kapacitnej optimalizácii [4], [5].

Popis základného algoritmu pre tvorbu prognózy ZTD

Ak zákazník bude od predajcu požadovať určenie ZTD pred oficiálnou tvorbou výrobných plánov, potom predajca použije jednoduchý prognostický systém, ktorý kontroluje kapacity výrobných zariadení na

¹ doc. Ing. Martin Straka, PhD., Ústav logistiky priemyslu a dopravy, F BERG, TU v Košiciach, Park Komenského 14, 040 01 Košice, tel.: 055/602 3146, martin.straka@tuke.sk

² Dr.h.c. prof. Ing. Dušan Malindžák, CSc., Ústav logistiky priemyslu a dopravy, F BERG TU v Košiciach, Park Komenského 14, 040 01 Košice, tel.: 055/602 3125, dusan.malindzak@tuke.sk

³ Ing. Zuzana Marková, Ústav logistiky priemyslu a dopravy, F BERG, TU v Košiciach, Park Komenského 14, 040 01 Košice, tel.: 055/602 3143, michal.balog@tuke.sk

(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 16. 3. 2009)

jednotlivých výrobných oddeleniach v jednotlivých plánovacích periódach. Samotný priebeh definovania ZTD pozostáva z nasledovných krokov, ktoré je predajca povinný dodržať:

1. overenie materiálových zdrojov potrebných pre výrobu,
2. overenie grafiky a tlačových valcov,
3. plánovanie výroby podľa zostatkových výrobných kapacít,
4. potvrdenie navrhnutého PZTD, ktorý sa stane ZTD po odsúhlasení zákazníkom.

Záväzný termín dodania – ZTD je termín ukončenia výroby, ktorým sa rozumie posledný deň plánovacej periódy do ktorej bola zákazka zaradená.

Záväzné ukončenie výroby – ZUV je termín ukončenia výroby pred ZTD tak, aby bolo možné vykonať expedíciu výrobkov.

Pre ZTD a ZUV platí vzťah:

$$ZTD = ZUV + \text{doba fyzickej expedície.}$$

Prognózovaný záväzný termín dodania - PZTD je predpokladaný termín dodania, ktorý musí zákazník potvrdiť. Po potvrdení sa stáva ZTD.

Princíp prognózovania PZTD je založený na kontrole voľných výrobných kapacít jednotlivých výrobných zariadení na jednotlivých výrobných oddeleniach tak, ako to určuje súbor „*technologické postupy*“. Informácie o voľných výrobných kapacitách sa získavajú do systému prognózy z vytvorených ostrých výrobných plánov, vytvorených v deň tvorby výrobných plánov. Ak sa pre zákazníka, objednávku nájdu voľné kapacity na zariadeniach, ktoré sú pre realizáciu výroby potrebné, dôjde k rezervácii týchto kapacít tak, aby bolo dodržané vyťaženie kapacít na cca 90 % a k následnému zníženiu hodnoty voľných výrobných kapacít [1], [6]. Jednotlivé výrobné zariadenia sa podľa technologického postupu kontrolujú a hľadá sa voľná kapacita postupne v jednotlivých plánovacích periódach. Termín plánovacej periódy, v ktorom je zákazka dokončená, sa stáva prognózovaným záväzným termínom dodania (PZTD) pre zákazníka. Zákazník musí odsúhlasiť navrhovaný PZTD. Keď zákazník potvrdí do istého času (cca do 24 hodín) navrhnutý PZTD, tak sa PZTD stáva ZTD, ktoré musí plánovanie a výroba dodržať. Pre tento termín sa zálohujú, rezervujú výrobné kapacity. Ak zákazník z nejakého dôvodu nepotvrdí, neodsúhlasiť navrhovaný PZTD, musí prognostický systém odblokovať rezervované výrobné kapacity na jednotlivých výrobných zariadeniach. Pre zákazníka je možné navrhnúť nové PZTD, až kým nedôjde k vzájomnej dohode [1], [7].

Tvorba ostrých výrobných plánov musí rešpektovať ZTD jednotlivých zakaziek tak, aby ZTD bolo dodržané. Musí platiť, že zákazku je možné realizovať pred definovaným ZTD, ak to situácia vo výrobe umožňuje, najneskôr však do ZUV, nikdy nie po ZUV. Ak by nastala situácia, že z nejakého dôvodu sa zákazka nestihne realizovať do ZUV (poruchy zariadení, nedostatok výrobných zdrojov), potom je potrebné upovedomiť zákazníka a navrhnúť mu nový termín ZTD.

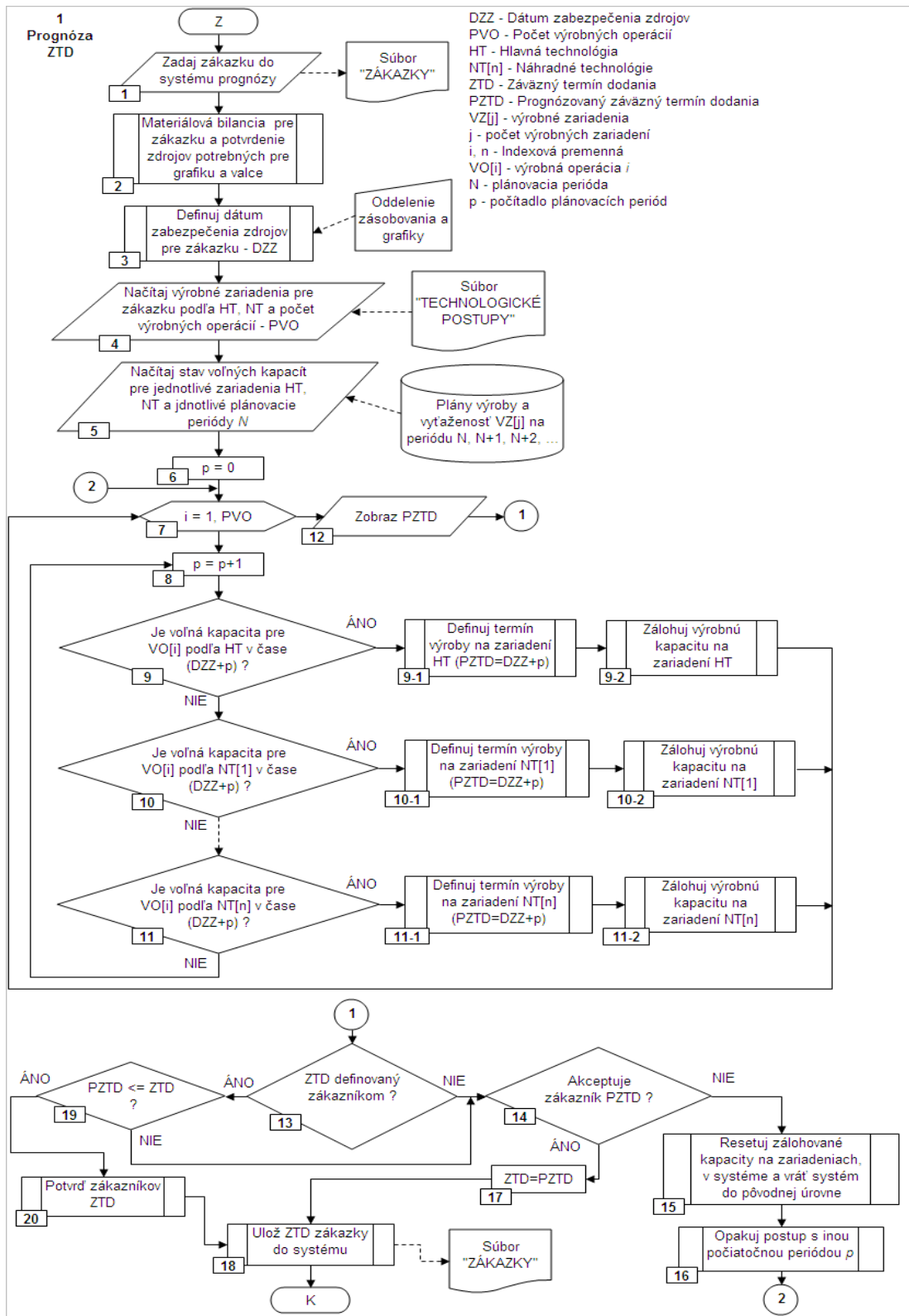
Popis algoritmu prognózovania PZTD-ZTD (obr. 1):

- 1 - Obchodník, predajca zadá parametre prichádzajúcej objednávky do systému.
- 2 - Prijatú objednávku je potrebné posúdiť z hľadiska materiálových zdrojov a z hľadiska grafickej prípravy (návrh grafiky, valce, štočky). Materiálové zdroje potvrdzuje oddelenie zásobovania a grafiku potvrdzuje oddelenie prípravy grafiky.
- 3 - V prípade nedostatku zdrojov oddelenie zásobovania zdefiniuje dátum kedy budú materiály na výrobu k dispozícii. Oddelenie prípravy grafiky definuje termín kedy bude grafika kompletne pripravená. Materiál a grafika spolu tvoria zdroje výroby a definujú dátum zabezpečenia zdrojov – DZZ, od ktorého je možné plánovať objednávku, zákazku pre výrobu.
- 4 - Systém pre tvorbu prognózy ZTD zo súboru „*technologické postupy*“ načíta počet výrobných operácií (PVO) potrebných pre realizáciu prichádzajúcej objednávky a jednotlivé, všetky (hlavné a náhradné technológie) výrobné zariadenia na ktorých je výrobok možné realizovať.
- 5 - Z vytvorených ostrých výrobných plánov výroby systém načíta stav voľných výrobných kapacít pre jednotlivé výrobné technológie (HT aj NT) a jednotlivé plánovacie periódy $N, N+1, N+2, \dots$.
- 6 - p – premenná, ktorá predstavuje poradie plánovacej periódy.
- 7 - Algoritmický blok pre zabezpečenie presného počtu opakovaní. Počet opakovaní sa ráta v premennej i , ktorá nadobúda hodnoty od 1 po PVO - počet výrobných operácií potrebných na realizáciu objednávky. V rámci tohto cyklu sa pre jednotlivé výrobné operácie hľadajú voľné

kapacity v čase (v plánovacích periódach). Perióda pre poslednú výrobnú operáciu sa stáva PZTD, resp. ZTD po odsúhlasení zákazníkom.

- 8 - p – zvýšenie plánovacej periódy o jednu jednotku (presun do ďalšej plánovacej periódy).
- 9 - Podmienka pre zistenie, či existuje voľná výrobná kapacita pre operáciu i podľa HT pre plánovací čas $DZZ + p$. Ak neexistuje voľná kapacita, prechod na blok 10, kontrola kapacity na NT v danej plánovacej perióde.
- 9-1 - Ak je voľná výrobná kapacita podľa HT v čase $DZZ + p$, potom sa tento čas, koniec výrobného týždňa stáva predbežným PZTD.
- 9-2 - Zálohovanie, rezervácia výrobných kapacít na zariadení a jej zníženie v položke voľných výrobných kapacít pre zariadenie v danej plánovacej perióde.
- 10 - Podmienka pre zistenie, či existuje voľná výrobná kapacita pre operáciu i podľa NT[1] pre plánovací čas $DZZ + p$. Ak neexistuje voľná kapacita, skontrolujú sa ďalšie NT (ak sú k dispozícii).
- 10-1 - Ak je voľná výrobná kapacita podľa NT[1] v čase $DZZ + p$, potom tento čas, koniec výrobného týždňa sa stáva predbežným PZTD.
- 10-2 - Zálohovanie, rezervácia výrobných kapacít na zariadení a jej zníženie v položke voľných výrobných kapacít pre zariadenie v danom plánovacom týždni.
- 11 - Podmienka pre zistenie, či existuje voľná výrobná kapacita pre operáciu i podľa NT[n] pre plánovací čas $DZZ + p$. Ak neexistuje voľná kapacita po skontrolovaní všetkých dostupných NT pre danú výrobnú operáciu, tak nasleduje posun do ďalšej plánovacej periódy (blok 8) a kontrola voľných kapacít sa opakuje od HT. Tento postup sa opakuje dovtedy, kým sa pre výrobnú operáciu nenájde voľná kapacita podľa HT, NT, resp. podľa presunov v niektorej plánovacej perióde [1], [8].
- 11-1 - Ak je voľná výrobná kapacita podľa NT[n] v čase $DZZ + p$, potom sa tento čas, koniec výrobného týždňa stáva predbežným PZTD.
- 11-2 - Zálohovanie, rezervácia výrobných kapacít na zariadení a jej zníženie v položke voľných výrobných kapacít pre zariadenie v danom plánovacom týždni.
- 12 - Zobrazenie PZTD, pre predajcu, ktoré bude slúžiť k overeniu, navrhnutiu resp. potvrdeniu PZTD.
- 13 - Podmienka, ktorá kontroluje, či zákazník nezadefinoval vlastný termín ZTD.
- 14 - Ak podmienka 13 alebo 19 je vyhodnotená ako nepravda, potom sa zákazníkovi ponúkne, navrhne PZTD na odsúhlasenie, ktoré predajca získal zo systému prognózovania.
- 15 - Ak je podmienka 14 vyhodnotená ako nepravda, zákazník odmietol, neakceptoval navrhnuté PZTD, potom je potrebné vyresetovať, uvoľniť zálohované kapacity na jednotlivých výrobných zariadeniach a systém vrátiť do pôvodnej pozície.
- 16 - Pre zákazníka je potrebné vytvoriť, navrhnúť nové PZTD so zmenenou počiatkovou periódou plánovania p . Celý proces sa opakuje od bloku 7, kým zákazník neakceptuje navrhnuté PZTD.
- 17 - Ak je podmienka 14 vyhodnotená ako pravdivá, tak zákazník akceptoval navrhnuté PZTD a PZTD sa pre systém tvorby rozvrhu výroby (ostré plánovanie) stáva ZTD.
- 18 - ZTD sa uloží do systému plánovania.
- 19 - Ak je podmienka 13 vyhodnotená ako pravdivá, tak zákazník zadefinoval vlastné ZTD a je potrebné rozhodnúť, či vypočítané PZTD je menšie, nanajvýš rovné ZTD zákazníka.

- Ak je podmienka 19 vyhodnotená ako pravdivá, potom sa zákazníkovi potvrdí jeho ZTD, ktoré sa pre ostré plánovanie a výrobu stáva záväzným a uloží sa do systému cez blok 18.



Obr. 1. Základný algoritmus prognózovania ZTD pre obchodníkov [1].
 Fig. 1. Basic forecast algorithm of ZTD for businessmen.

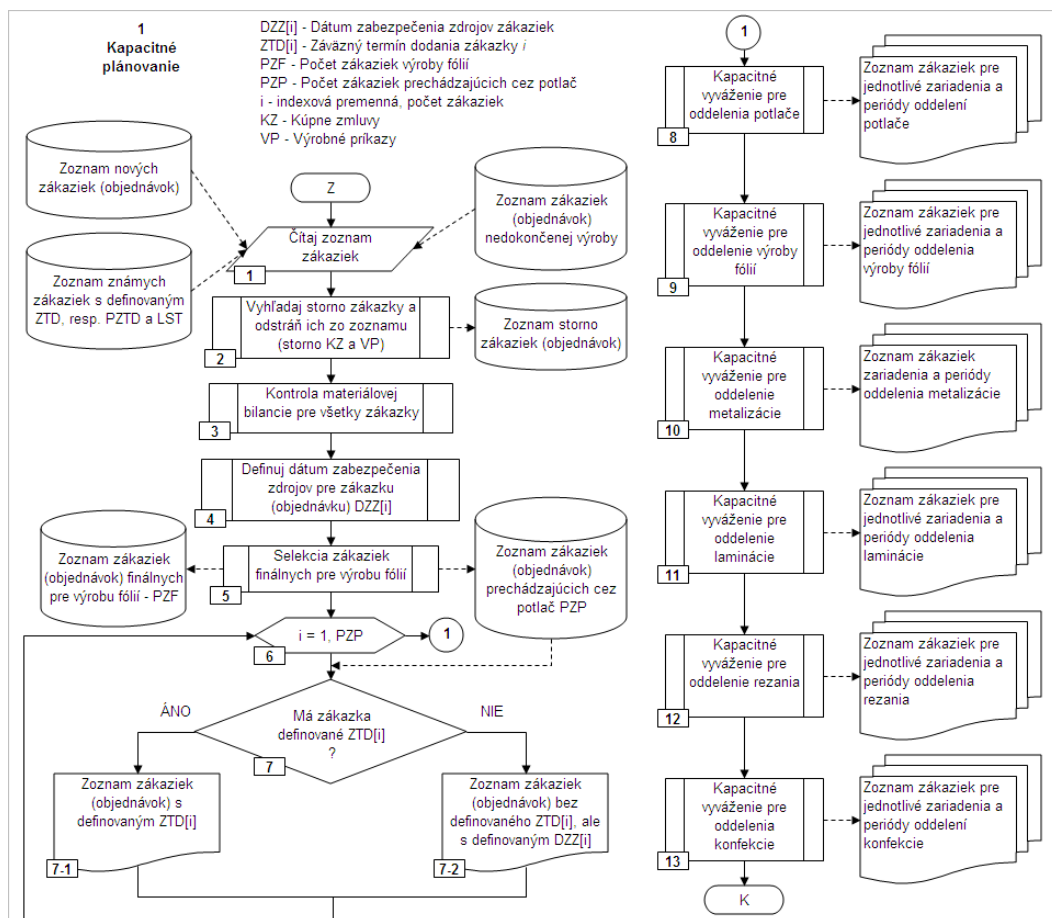
Popis základného algoritmu kapacitnej bilancie

Postup kapacitného vyvažovania výroby je založený na niekoľkých princípoch [1], [10]:

- plánujú sa všetky zákazky, aj tie, ktoré nemajú splnenú bilanciu výrobných zdrojov ale musia mať zadaný DZZ,
- kapacitné vyvažovanie a plánovanie začína na potlačových strediskách, ak technológia výroby neurčuje iný postup,
- kapacitné vyvažovanie oddelení výroby fólií sa robí zo zákaziek finálnych pre výrobu fólií a štatistického doplnenia výrobou na medzioperačný sklad,
- v prípade preťaženia zariadení majú prioritu zákazky, ktoré majú definované ZTD, pričom prednosť majú zákazky so skorším ZTD, tieto sa plánujú systémom PULL od konca dopredu,
- zákazky, ktoré nemajú definované ZTD, ale majú definované DZZ, sa plánujú od prvej operácie po poslednú systémom PUSH,
- preťažené zariadenia sa kapacitne vyrovnávajú pre každú plánovaciu periódu,
- v prípade nevyťaženia zariadení je snahou vyťažiť systém len na najbližšiu plánovaciu periódu N+1 a ostatné periódy nechať nevyťažené pre prípad príchodu ďalších zákaziek, ak to ZTD zákaziek umožňuje.

Činnosť algoritmu (obr. 2) kapacitného vyvažovania začína načítaním zákaziek (objednávok) do systému plánovania. Z tohto zoznamu sa odstránia stornované (zákazníkom, interne) zákazky. Skontroluje sa zabezpečenie zdrojov pre všetky zákazky. Pre zákazky, ktoré nebudú mať v poriadku niektorú položku zdrojov, sa definuje dátum, kedy budú všetky potrebné zdroje k dispozícii - DZZ. Z takéhoto zoznamu zákaziek sa vyselektujú tie, ktoré sú finálne pre oddelenia výroby fólií. Zostávajúce zákazky sa roztriedia na tie čo majú ZTD (plánovanie PULL) a tie, čo nemajú ZTD (plánovanie PUSH) [1], [13]. Nasleduje kapacitné vyváženie pre jednotlivé oddelenia výroby, s počiatkom na oddeleniach potlače až po oddelenia konfekcie.

Výsledkom sú plány výroby pre jednotlivé výrobné oddelenia a plánovacie periódy, z ktorých je možné pre zákazky bez definovaného ZTD určiť ZTD pre odsúhlasenie zákazníkom.



Obr. 2. Základný algoritmus činnosti pre tvorbu výrobných plánov pre jednotlivé zariadenia a týždne (KPV-kapacitné vyváženie [1]).
 Fig. 2. Basic activity algorithm, for production planning creation for each machines and weeks (KPV-capacity balance).

- 1 - Zadanie, načítanie zákaziek do systému. „Ostrý“ plán realizácie výroby sa robí na obdobie 3½ dňa vždy v pondelok a vo štvrtok. Pred začatím tvorby plánu sa uzavrie prijímanie objednávok. Systém načíta všetky dostupné zdroje zákaziek (objednávok), t.j. zákazky nové, zákazky nedokončenej výroby a zákazky známe, ktoré sú v procese realizácie ale ešte neboli dokončené na poslednej výrobných operácii, t.j. majú ZTD, resp. PZTD, resp. LST [1], [11].
LST (Last Start Time) je čas najneskôr možného zahájenia realizácie zákazky tak, aby bolo dodržané ZUV [12]. Pre tie zákazky, ktoré majú definované ZTD sa LST vypočíta ako $LST = ZUV - PVO$. PVO predstavuje počet všetkých výrobných operácií idúcich za sebou, ktoré sa podieľajú na realizácii zákazky. Keďže systém je uzavretý, tak PVO zároveň predstavuje počet plánovacích období, ktoré sú potrebné pre realizáciu zákazky [1], [14].
- 2 - Zo zoznamu načítaných zákaziek je potrebné odstrániť zákazky, ktoré boli z nejakého dôvodu stornované zákazníkom, resp. boli stornované interne oddelením programovania. O týchto zákazkách je možné rozhodnúť tak, že buď sa vyradia zo systému plánovania alebo sa im priradí neskoršie ZTD, resp. DZZ. DZZ predstavuje dátum zabezpečenia zdrojov pre zákazku, t.j. dátum kedy budú všetky potrebné zdroje pre realizáciu zákazky k dispozícii (materiál na výrobu, pripravená a schválená grafika, pripravené valce a štočky). Od tohto dátumu DZZ sa zákazky v systéme plánujú.
- 3 - Pred tvorbou ostrých výrobných plánov je potrebné skontrolovať stav zdrojov potrebných pre realizáciu zákazky. Ak niektorá z položiek nie je (chýba materiál, nie sú valce, nie je schválená grafika), potom pre takúto zákazku je potrebné cez blok 4 zdefinovať nový dátum zabezpečenia zdrojov - DZZ. V prípade, že dôjde k posunu ZTD zapríčineného nedodržaním DZZ, je potrebné upovedomiť zákazníka a ponúknuť mu náhradný ZTD [1], [9].
- 4 - Definovanie DZZ pre zákazky, ktoré nemajú v poriadku bilanciu výrobných zdrojov.
- 5 - Keďže niektoré zákazky, ktorých je cca 15 %, sú finálne pre výrobu fólií, je potrebné tieto zákazky vyselektovať, vznikne súbor zákaziek finálnych pre výrobu fólií. V prvej fáze sa plán výroby tvorí pre zákazky, ktoré prechádzajú oddeleniami potlače.
- 6 - Blok, ktorý zabezpečí, aby premenná i nadobúdala postupne hodnoty 1, 2, 3 až po počet zákaziek prechádzajúcich cez potlačové strediská.
- 7 - Rozhodovací blok, ktorý zisťuje, či zákazka má definovaný ZTD alebo nie.
 - 7-1 - Zoznam zákaziek, ktoré majú definované ZTD.
 - 7-2 - Zoznam zákaziek, ktoré nemajú definované ZTD, ale majú zdefinovaný dátum zabezpečenia výrobných zdrojov.
- 8 - I. fáza, kapacitné vyváženie výroby pre oddelenia potlače. Z tohto zoznamu sa určí štatistické doplnenie výroby fólií na sklad.
- 9 - II. fáza, kapacitné vyváženie výroby fólií. Výroba fólií musí zohľadniť svoje finálne zákazky a interné štatistické doplnenie výroby do skladových zásob.
- 10 - III. fáza, kapacitné vyváženie výroby pre oddelenie metalizácie.
- 11 - IV. fáza, kapacitné vyváženie výroby pre oddelenie laminácie.
- 12 - V. fáza, kapacitné vyváženie výroby pre oddelenie rezania.
- 13 - VI. fáza, kapacitné vyváženie výroby pre oddelenia konfekcie.

Záver

V súčasnosti organizačné postavenie koordinátorovi skupiny neumožňuje striktne rozhodnúť o zákazkách, ktoré sa budú vyrábať, čo spôsobuje pri tvorbe plánov výroby značný „zmätok“. Každý účastník plánovania sa snaží presadiť svoj záujem, čo je z hľadiska vedúcich oddelení prirodzené, ale z hľadiska záujmu firmy a celkovej optimalizácie výroby je to nežiaduce až kontraproduktívne.

Pretože nie sú jasne definované pravidlá pre výber zákaziek a na tvorbu výrobného plánu vplyva veľká skupina ľudí je problém vytvárať výrobné plány na obdobie dlhšie ako jeden týždeň. Samotné riadenie a tvorba plánov je z tohto dôvodu na úrovni operatívneho rozhodovania a najmä zmenového riadenia.

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia aplikovaného výskumu A-07-009-00 „Vývoj a aplikácia progresívnych logistických systémov pre inováciu výrobných procesov“

Literatúra – References

- [1] Malindžák, D., Straka, M., Mervart, J., Šabla, Š., Olekšák, J., Nowaková, M., Marková, Z., a kol.: Koncepcia - Agregované plánovanie a rozvrhovanie výroby, *Košice, jún 2006*.
- [2] Malindžák, D., Výrobná logistika, *vyd. Štroffek Košice, 1997*.
- [3] Malindžák, D., Takala J., Projektovanie logistických systémov, *Express Publicit, Košice, 2005*.
- [4] Takala, J., Malindžák, D., Straka, M., a kol.: Manufacturing Strategy – Applying the Logistics Models, *p.206, ISBN 978-952-476-179-6, ISSN 1238-7118, Vaasan yliopisto – University of Vaasa, Finland, Vaasa 2007*.
- [5] Šaderová, J., Boroška, J.: Výrobné procesy. *1. vyd.. Košice : TU, 2005. 82 s. ISBN 80-8073-268-X*.
- [6] Malindžák, D., Šindler, V.: Modelovanie výrobných procesov. *Košice : ES AMS, 2003. 88 s. ISBN 80-8073-061-X*.
- [7] Bindzár, P., Mičieta, M.: Význam zavedenia informačných systémov v logistike a ľudský faktor vo výrobnom podniku. In: *Transport & Logistics 2005, 5 s. ISSN 1451-107X*.
- [8] Vegenerová, P., Botek, M.: Využití simulačních programů při řízení výroby, konference Teoretické aspekty prierezových ekonomik II, *EU Bratislava PHF Košice, 2004, ISBN 80-969181-1-7*.
- [9] Botek, M.: The Informational and Organizational Support of Management. In konference Moderné prístupy k manažmentu podniku, *STU Bratislava, 2006, ISBN 80-227-2509-9*.
- [10] Janík, I., Lenort, R., Macurová, P. a kolektív: Možnosti metod umělé inteligence v logistickém řízení současného průmyslového podniku, *VŠB - TU Ostrava, Ostrava 2004, ISBN 80-248-0749-1*.
- [11] Rosová, A.: Logistické náklady podniku. In: *Acta Montanistica Slovaca. roč. 12, č. 2 (2007), s. 121-127. <http://actamont.tuke.sk/ams2007.html>, ISSN 1335-1788*.
- [12] Lenort, R.: Uplatnění logistických principů v řízení zakázek hutního podniku, *Logistika, 1999, Roč. 5, č. 11, s. 42., ISSN 1211-0957*.
- [13] Kuffnerová, A.: Reinžiniering ako nástroj podnikovej stratégie, Management pro 21. století, Teorie a praxe v chemickém a potravinářském průmyslu, *Sborník mezinárodní konference, 3-4. 9. 2002, VŠCHT Praha, p. 118-122, ISBN 80-7080-491-2*.
- [14] Lenort, R., Besta, P.: Information systems and technologies in purchase management, *Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej, Bielsko-Biala, 2008, s. 177-183., ISBN 978-83-60714-51-5*.
- [15] Cibulka, V.: Aktívne manažovanie zefektívňovania logistických systémov, Slovenská Technická Univerzita v Bratislave, 2008, 152