

PREGLED SISTEMOV PLANIRANJA IN KRMILJENJA PROIZVODNJE

Marko Starbek, Janez Kušar, Darko Menart
Fakulteta za strojništvo Aškerčeva 6, Ljubljana
Peter Klučar, zasebni raziskovalec Pod brest 35, Ljubljana

POVZETEK

Poznanih je več sistemov za planiranje in krmiljenje proizvodnje - PPS (projektno planiranje, načrtovanje materialnih potreb, sistem ozkih grl, na obremenitev orientirano spuščanje naročil, sistem napredovalnih količin, kanban). Nekateri so primerni za individualno proizvodnjo, drugi za serijsko in masovno proizvodnjo. V članku so prikazane značilnosti posameznih sistemov ter način izbire optimalnega sistema oz. ustrezne kombinacije (hibrida) med posameznimi sistemi.

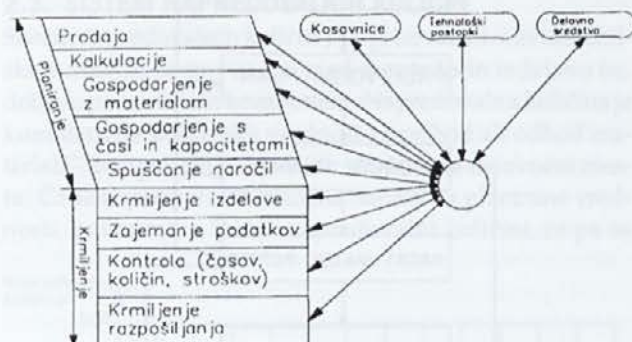
ABSTRACT

Several systems of production planning and scheduling - PPS (project planning, materials requirements planning, kanban, optimized production technology, on loading orientated scheduling, numbers of progress system) are known. Some of them are suitable for individual production, others for series or mass production. The article presents characteristics of a single system. The way of selecting the optimal PPS system or the corresponding hybrid among single systems, depending of the production system, is shown too.



1. UVOD

Sistem planiranja in krmiljenja proizvodnje (sistem PPS) skrbi za realizacijo planskih in krmilnih funkcij, ki jih prikazuje slika 1.



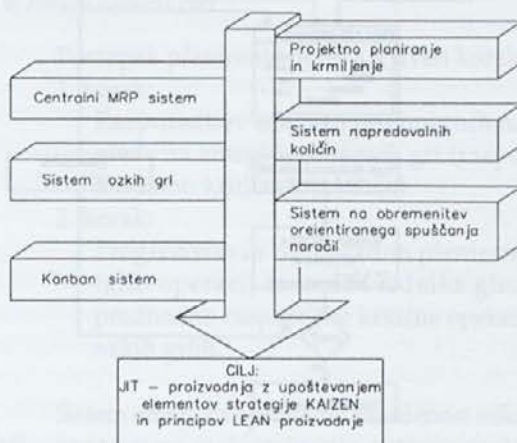
Slika 1: Planske in krmilne funkcije PPS

Za izvedbo planskih in krmilnih funkcij so na razpolago naslednji PPS sistemi /1/:

- projektno planiranje in krmiljenje proizvodnje,
- centralni sistem načrtovanja materialnih potreb,
- sistem napredovalnih količin,
- sistem ozkih grl,
- na obremenitev orientirano spuščanje naročil,
- sistem kanban.

vrste proizvodnje in principa prostorske razmestitve delovnih sredstev v podjetju:

- 1) **posamična in individualna proizvodnja** z delavniško razporeditvijo delovnih sredstev (projektni princip, sistem načrtovanja materialnih potreb ali sistem na obremenitev orientiranega spuščanja naročil);
- 2) **serijska proizvodnja** z linijsko časovno neusklajeno ali celično razporeditvijo delovnih sredstev (sistem na obremenitev orientiranega spuščanje naročil, sistem ozkih grl, sistem kanban);
- 3) **masovna proizvodnja** z izdelčno časovno vsklajeno razporeditvijo delovnih sredstev (sistem napredovalnih količin).



Slika 2: Možnosti kombinacij PPS

Izbira enega izmed omenjenih PPS sistemov je odvisna od

V podjetjih imamo običajno opravka tako s posamično kot s serijsko ali celo z masovno proizvodnjo ter ustrezno delavniško, linijsko in izdelčno razporeditvijo delovnih sredstev. V tem primeru pa se ni možno odločiti za eno izmed naštetih rešitev, temveč se moramo odločiti za kombinacijo /1/. Za planiranje in krmiljenje posameznega segmenta proizvodnje se uporablja eden od naštetih sistemov, dopolnjen z elementi strategije stalnih izboljšav (Kaizen) /9/ in principi vitke proizvodnje (Lean Production) /10/. Celotni sistem planiranja in krmiljenja proizvodnje podjetja je torej oblikovan kot kombinacija (hibrid) naštetih sistemov, strategij in principov (slika 2).

2. ZNAČILNOSTI SISTEMOV PPS

2.1. PROJEKTNO PLANIRANJE IN KRMILJENJE PROIZVODNJE

Projektno planiranje in krmiljenje proizvodnje (slika 3) je zasnovano na dejstvu, da so naročila v individualni in maloserijski proizvodnji po svojih značilnostih zelo podobna projektom, kar nakazuje možnost uporabe tehnik in metod, ki so bile sicer v osnovi razvite za projektno vodenje. Uporaba tehnike mrežnega planiranja v najrazličnejših izvedbah (CPM in PERT metoda v dogodkovnih in aktivnostnih mrežnih diagramih) pove "KAKO" bomo nalogo rešili, tehnika WBS (retrogradno

strukturiranje projekta) pa "KAJ" moramo na nalogi narediti. Izdelovalni proces, ki temelji na drevesni strukturi izdelka, v tem primeru popišemo z ustreznim mrežnim diagramom, ki je običajno definiran kot tipski mrežni diagram /2/ in je strukturiran glede na značilnosti notranje organizacije podjetja. Takšni tipski mrežni diagrami v splošnem vključujejo skupine aktivnosti v zvezi s: tehnično in tehnološko pripravo proizvodnje; oskrbo z materiali, surovinami in sestavnimi deli; izdelavo sestavnih delov; montažo različnih sestavov in končnih izdelkov ter kooperacijo.

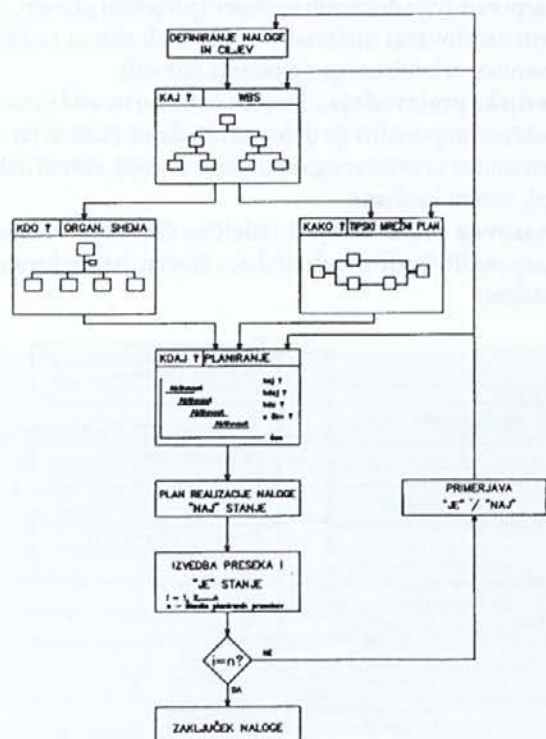
Prednost takega sistema planiranja in krmiljenja proizvodnje je v tem, da omogoča pregled nad izvajanjem vseh aktivnosti na naročilu.

Znano je, da tehnike mrežnega planiranja poleg časovne analize omogočajo še analizo kapacitet in stroškov.

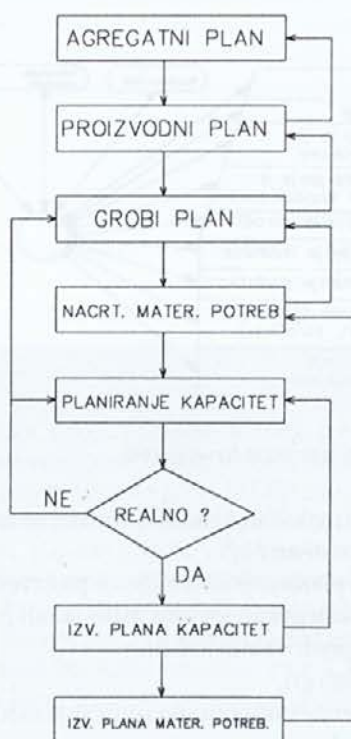
Projektno planiranje in krmiljenje proizvodnje lahko realiziramo kot zaključen sistem (večnivojsko strukturiranje mrežnih diagramov), ali pa ga kombiniramo z drugimi rešitvami.

Za realizacijo tega sistema lahko uporabimo najrazličnejšo na tržišču razpoložljivo računalniško opremo (CA Super Project, MS Project, Primavera...).

2.2. CENTRALNI SISTEM NAČRTOVANJA MATERIALNIH POTREB - MRP (Materials Requirements Planning)



Slika 3: Projektni princip PPS



Slika 4: princip MRP

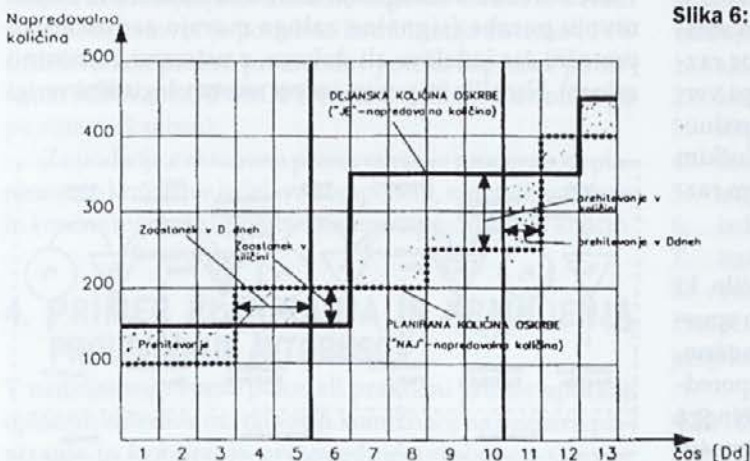
Centralni sistem načrtovanja materialnih potreb /3/ predstavlja klasični koncept planiranja in krmiljenja proizvodnje. Temelji na drevesni strukturi proizvoda (proizvodna kosovnica). Proizvodnjo potiska od vhodnih materialov preko različnih sestavnih delov in sestavov različnih stopenj do končnega izdelka. Na osnovi potrebnih količin naročila s kosovničnim procesorjem določimo bruto potrebe vseh identov iz kosovnice (upoštevamo tudi izmet). Če upoštevamo tudi proste količine v skladišču, potem lahko določimo neto potrebe. Slednje realiziramo z nabavo ali izdelavo s svojimi kapacitetami ali v kooperaciji. Za vsak ident razvijemo posebno tabelo, v kateri so poleg podatkov o identu, pretočnem času nabave ali izdelave, signalni in varnostni zalogi, še podatki o bruto in neto potrebi, stanju zalog, planiranih prihodih, planiranih količinah za sprožitev naročil ter dejanskih rokih sprožitve naročil. Ponavadi je enota planske periode en teden.

Za realizacijo naročila so potrebni dolgi pretočni časi. Zaradi togosti sistema MRP pa imamo opraviti z velikimi medfaznimi zalogami. To pomankljivost rešuje t.i. MRP II (Manufacturing Resources Planning), ki zgoraj opisano načrtovanje materialnih potreb usklajuje z dinamičnim spremljanjem in analizo kapacitet. Ta dopolnitev sistema MRP pa praktično pomeni uvajanje ciljev in principov ob pravih času (Just in Time). Postopek planiranja in krmiljenja proizvodnje s centralnim sistemom MRP prikazuje slika 4.

Opisani sistem je v prvi vrsti primeren za maloserijsko in serijsko proizvodnjo. Prikazani model je osnova klasičnih proizvodnih informacijskih sistemov.

2.3. SISTEM NAPREDOVALNIH KOLIČIN

Sistem napredovalnih količin /4/ je bil razvit v avtomobilski industriji za povezavo med montažo in izdelavo oz. dobavo posameznih komponent. Napredovalna količina je kumulativna količinska vrednost za prihod ali odhod materiala - komponent v skladišču oziroma na delovnem mestu. Če se napredovalna količina nanaša na planirane vrednosti, govorimo o "NAJ" napredovalni količini, če pa se



Slika 5 Diagram napredovalnih količin

nanaša na realizirane količine, govorimo o "JE" napredovalni količini. Slika 5 prikazuje tipičen diagram napredovalnih količin.

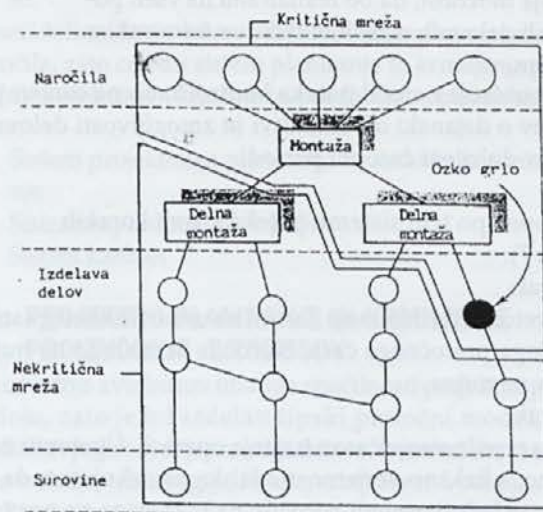
V določeni časovni točki lahko vidimo planirane in realizirane napredovalne količine ter morebitno količinsko in časovno zaostajanje oz. prehitovanje.

Sistem napredovalnih količin vzpostavimo in sinhroniziramo v okviru celotne logistične verige tako, da dosežemo minimalne zaloge, hkrati pa zagotovimo redno oskrbo z upoštevanjem optimalnih serij v posameznem členu verige.

Sistem napredovalnih količin je primeren za krmiljenje srednje in velikoserijske proizvodnje z velikim številom komponent in variant končnih izdelkov, ob pretežno stalni porabi.

2.4. SISTEM OZKIH GRL - OPT (Optimized Production Technology)

Sistem je bil razvit v Izraelu in v ZDA in je novejši kot sistem kanban. Temelji na terminiranju ozkih grl /8/. V mrežni strukturi izdelka poiščemo kritični del mreže v kateri se pojavlja ozko grlo, kar kaže slika 6.



Slika 6: Princip sistema OPT

Postopek planiranja poteka v dveh korakih:

1. korak: Razporeditev operacij posameznih naročil glede na zmogljivost ozkih grl (razporedimo samo kritične operacije).
2. korak: Progressivno in retrogradno planiranje ostalih operacij iz mreže izdelka glede na predhodno razporejene kritične operacije na ozkih grlih.

Sistem omogoča optimalno zasedenost ozkih grl, kar pomeni maksimizacijo outputa proizvodnega sistema. Za nekritične kapacitete optimalna

zasedenost ni pomembna. Bistvena značilnost je v tem, da je omogočen enakomeren pretok skozi proizvodni sistem.

Sistem je primeren za planiranje in krmljenje izdelave dragih izdelkov in sestavnih delov, pri katerih so problem vezava kapitala in s tem povezani stroški. Poleg tega pa imamo v proizvodnem sistemu ozka grla, ki jih zaradi dragih investicij ni racionalno odpraviti.

Za sistem OPT obstaja tudi ustrezna računalniška podpora.

2.5. NA OBREMITEV ORIENTIRANO SPUŠČANJE NAROČIL - BORA (Belastungsorientierte Auftragsfreigabe)

Sistem je bil razvit na univerzi v Hanovru (avtor Bechte, IFA - Institut für Fabrikanlagen der Universität Hannover) /6/. Delovno mesto je obravnavano kot lijak z določeno zmogljivostjo in obremenitvijo (delovni nalogi). Naročilo je spuščeno na delovno mesto le v primeru, ko obstaja možnost, da bo realizirano na vseh potrebnih delovnih mestih, v skladu s terminskim planom.

Spuščanje naročil poteka kontrolirano na osnovi podatkov o dejanski obremenitvi in zmogljivosti delovnih mest v določeni časovni periodi.

Postopek po tem sistemu poteka v treh korakih (slika 7):

1. korak:

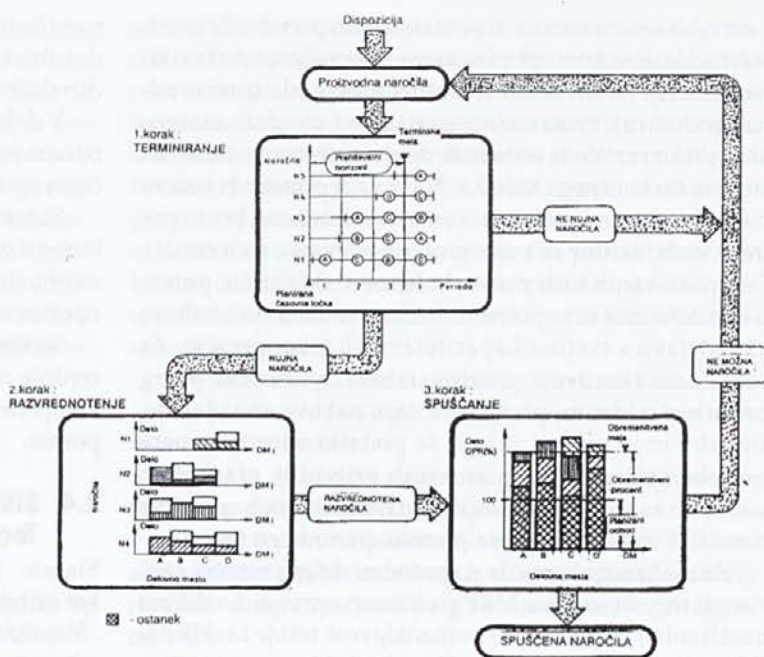
Pretočno terminiranje naročil na osnovi tehtanega srednjega pretočnega časa. Naročila razdelimo na nujna in ne nujna.

2. korak:

Razvrednotenje časov trajanja operacij. Ugotoviti želimo, s kakšno verjetnostjo lahko pričakujemo, da bo v naslednji periodi naročilo na razpolago na opazovanem delovnem mestu, če mora naročilo pred tem preiti več delovnih mest. Na prvem delovnem mestu - operaciji bo naročilo z verjetnostjo (faktor razvrednotenja) 1, na naslednjih delovnih mestih pa verjetnost razpoložljivosti naročila pada. Pri razvrednotenju časov trajanja operacij množimo s tehnološkim postopkom predpisani čas operacije z faktorjem razvrednotenja.

3. korak:

Spuščanje naročil iz liste nujnih naročil. Naročilo, ki ima razvrednotene čase trajanja operacij, lahko spustimo v proizvodnjo samo v primeru, da je možno, glede na obremenitveno mejo delovnih mest razporediti vse operacije. V kolikor obremenitev delovnega mesta doseže obremenitveno mejo, ne moremo spustiti nobenega naročila, ki to delovno mesto potrebuje.



Slika 7: Postopek izvedbe na obremenitev orientiranega spuščanja naročil

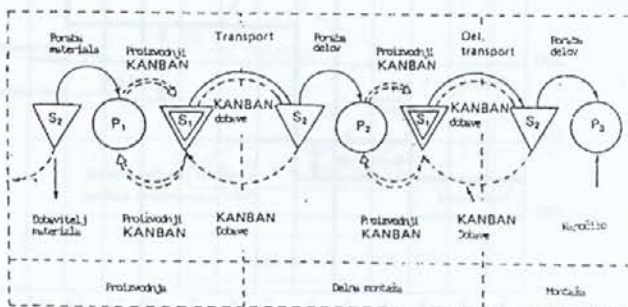
Sistem je primeren za planiranje majhnih, časovno čim bolj enakih serij. Postopek je enostaven, saj nastopata le dva parametra: termin in obremenitev delovnega mesta. Običajno uporabljamo pravilo FIFO (first IN, first OUT), zato izjemno nujna naročila rušijo osnovni koncept metode. Sistem je ustrezno računalniško podprt.

2.6. SISTEM KANBAN

Sistem kanban je bil razvit na Japonskem in sicer v tovarni Toyota (1974). Sistem deluje tako, da realizacija končnega izdelka sproži proizvodnjo sestavov, sestavnih delov in končno tudi naročanje materiala /7//11/.

Princip delovanja je prikazan na sliki 8.

Sistem kanban je lahko definiran za celotno logistično verigo ali pa samo za njene posamezne dele. Deluje na principu signalnih medfaznih zalog, ki pa še vedno, v vsakem trenutku omogočajo oskrbo na naslednjem višjem nivoju porabe (signalne zaloge morajo zadoščati za pretočni čas izdelave ali dobave, z ustrezno varnostno zalogo). Naročilo na posameznem mestu v logistični verigi



Slika 8: Princip delovanja sistema kanban

sproži znižanje zaloge do nivoja signalne količine. Informacijsko deluje sistem s pomočjo proizvodnih in transportnih kanban kartic. Kanban sistem je primeren za serijsko proizvodnjo, kjer imamo veliko variant končnih izdelkov, ter malo variant komponent proizvodov. Nihanje potreb naj bo minimalno (10% na teden). Sistem je učinkovit tudi v povezavi z drugimi sistemi za planiranje in krmiljenje proizvodnje.

3. INTEGRACIJA SISTEMOV

Pred odločitvijo za najprimernejši sistem PPS je potrebno analizirati proizvodni program podjetja ter ugotoviti:

- način prihoda naročil (naključna, determinirana, znani kupci za daljši časovni interval...),
- način oskrbe z materiali in kupljenci (na zalogo, ravno pravočasno),
- strukturo proizvodov (unikatni, ponavljajoči, variantni proizvodi),
- delitev proizvodnega programa na specialni in standardni del,
- obseg proizvodnega programa (individualna, serijska, masovna proizvodnja),
- različnost tehnologij, ki so potrebne za realizacijo tehnološkega procesa,
- delež standardnih delov oziroma kupljencev, ki so vgrajeni v proizvod,
- stanje in potrebe po kapacitetah za realizacijo proizvodnega programa (lastne kapacitete, kooperacija),
- način proizvodnje glede na stopnjo sodelovanja (kooperativnosti) delovnih sredstev v procesu obdelave komponent proizvodov.

Analize proizvodnih programov izvedene v podjetjih kovinsko predelovalne industrije so pokazale, da je možno v podjetjih z delavniško organizirano individualno proizvodnjo uvesti le en sistem PPS (projektni princip ali sistem MRP ali sistem BORA), tako za realizacijo izdelave komponent kot za izvedbo montaže.

V podjetjih z maloserijsko in serijsko proizvodnjo planiranja in krmiljenja ne moremo uspešno izvesti le z enim sistemom, temveč je potrebna kombinacija sistemov PPS (izdelava komponent proizvodov poteka naprimer po sistemih BORA ali MRP ali OPT, vmesne in končne montaže pa po sistemu kanban).

Za podjetja z masovno proizvodnjo je primerno za planiranje in krmiljenje izdelave komponent, montaže sestavov in končne montaže uporabiti sistem napreovalnih količin.

4. PRIMER PLANIRANJA IN KRMILJENJA PROIZVODNJE AVTOBUSOV

V nadaljevanju bomo pokazali praktični primer uporabe opisanih sistemov oz. njihovih kombinacij na primeru planiranja in krmiljenja proizvodnje avtobusov. Glavne značilnosti proizvodnje avtobusov so:

- avtobusi nastopajo v številnih znanih variantah, ki se ponavljajo v daljših časovnih razdobjih,
- občasno prihaja do naročil, ki zahtevajo konstrukcijske spremembe določenih delov avtobusov,
- avtobusi so sestavljeni iz standardnih komponent (profili, pločevina, vijaki, zvarjenci, plastični deli...), ki se vgrajujejo v večino variant ter specialnih komponent (blago, zvarjenci za posamezne izvedbe, kleparski polizdelki, električna instalacija...), ki se vgrajujejo le v eno ali nekaj variant avtobusov,
- nekateri kupljeni sestavni deli so izredno dragi (šasija, klima naprava, elementi notranje opreme - TV, WC...) in jim je pri nabavi posvečena posebna pozornost,
- izdelava avtobusa v celotnem pretočnem času naročila ni časovno najdaljša in ne pomeni največjega problema,
- avtobus sestavlja do 1000 različnih komponent,
- pri realizaciji sodeluje do 300 dobaviteljev iz Slovenije in tujine,
- od izdelave ogrodja naprej zavzame avtobus veliko delovnega prostora,
- realizacija naročila zahteva veliko kapitala, zato so stroški financiranja naročila (cash flow) zelo pomembni.

Doseči želimo kompleksno obvladovanje celotne realizacije naročila, zato celotni sistem planiranja in krmiljenja proizvodnje avtobusov vključuje tri predhodno opisane sisteme in to:

1. Sistem projektnega planiranja in krmiljenja proizvodnje
2. Sistem napreovalnih količin
3. Sistem kanban

4.1. PROJEKTNO PLANIRANJE IN KRMILJENJE PROIZVODNJE AVTOBUSOV

Proizvodnja avtobusov ima vse značilnosti projektne proizvodnje, zato je bil izdelan tipski pretočni model, ki v splošnem pokriva dejavnosti izdelave, komercialne, razvoja, konstrukcije, tehnologije, financ, analitike in vodenja.

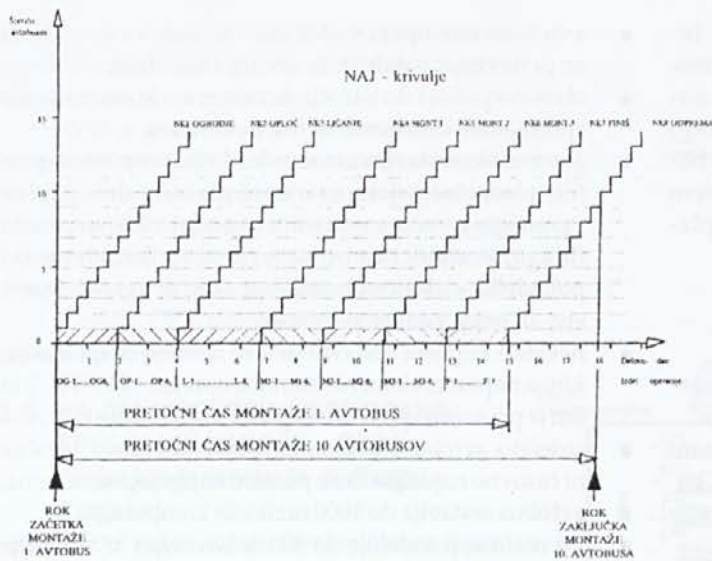
Za planiranje in krmiljenje proizvodnje na makro nivoju uporabimo tipski mrežni plan, ki v svoji strukturi (WBS) vsebuje 8 skupin aktivnosti oz. glavnih nalog in to:

1. sklepanje pogodbe (marketing)
2. konstruiranje sprememb avtobusa (tehnični sektor)
3. dopolnitev tehnologije (tehnični sektor)
4. financiranje projekta (finančni sektor)
5. zagotovitev dobave materialov (marketing)
6. izdelava avtobusov (proizvodnja)
7. analiza in obračun naročila (vodja projekta)
8. vodenje projekta (marketing in vodja projekta)

Pretočni model podpira standardni program za vodenje projektov Super Project.

4.2. UPORABA SISTEMA NAPREDOVALNIH KOLIČIN

Sistem napreovalnih količin se v primeru proizvodnje avtobusov uporablja za planiranje in krmiljenje montaže



Slika 9: Diagram napredovalnih količin za izdelavo avtobusov

ter zanjo potrebne dobave komponent in izdelave sestavnih delov. Diagram napredovalnih količin (slika 9) zajema osem NAJ-krivulj in to za: izdelavo ogrodja - NK1, opločevinjenje - NK2, ličanje - NK3, montažo 1 - NK4, montažo 2 - NK5, montažo 3 - NK6, finiširanje - NK7 ter odpremo avtobusov - NK8.

Diagram na abscisi prikazuje zaporedne delovne dneve, na ordinati pa zaporedno vstopajoče šasije. Vsaka šasija je navedena z identom tako, da je omogočeno diskretno spremljanje proizvodnje. Izrisane krivulje napredovalnih količin predstavljajo diagram prihodov šasij na posamezne ključne skupine operacij.

Kot primer si pogledjmo krivuljo NK1 s katero krmilimo začetek izdelave ogrodja, ki se realizira v šestih zaporednih tehnoloških operacijah (OG1 - obrez podvozja; OG2 - varjenje strehe z levo in desno steno; OG3 - varjenje prednje in zadnje stene; OG4 - ravnanje, brušenje in kontrola; OG5 - zaščita in barvanje ogrodja ter OG6 - profiliranje strehe).

Diagram napredovalnih količin služi za planiranje in krmiljenje izdelave avtobusov na glavni izdelovalni liniji in izdelavo krivulj napredovalnih količin za planiranje in krmiljenje izdelave komponent na predhodnih operacijah, pri kooperantih ter planiranje in krmiljenje dobave komponent od dobaviteljev.

4.3. UPORABA SISTEMA KANBAN

Sistem kanban se uporablja za krmiljenje cenenih standardnih komponent (zvarjenci, blago, električna instalacija...). Krmiljenje dobave in izdelave le-teh poteka neodvisno od naročil avtobusov po sistemu signalnih zalog. Za izvedbo sistema je potrebno za vsako standardno komponento določiti signalno zalogo in optimalno količino za naročanje oz. optimalno serijo za izdelavo. Podatki o stanju zalog

se nahajajo v ustreznih datotekah, tako da je možen vsakodnevni pregled komponent, katerih zaloge so pod nivoom signalne zaloge in je zanje potrebno sprožanje ustreznih naročil. Zaradi manjše vrednosti in števila teh komponent uvedba sistema kanban ni bila posebno zahtevna.

5. ZAKLJUČEK

V prispevku smo pokazali različne modele za planiranje in krmiljenje proizvodnje (PPS). Ugotovili smo, da so posamezni modeli namenjeni za specifični tip proizvodnje (glede na spekter izdelkov in proizvodne tehnologije). V praksi pogosto zasledimo znotraj proizvodnega sistema različne tipe proizvodnje, to pa narekuje oblikovanje PPS sistema, ki je sestavljen iz različnih osnovnih sistemov.

S primerom smo pokazali možnost oblikovanja sistema za planiranje in krmiljenje proizvodnje, kot hibrida opisanih modelov. V svetu je razvoj zelo intenziven, saj pogosto zasledimo nove koncepte, ki vključujejo tudi strategije stalnih izboljšav in principov vitke proizvodnje.

6. LITERATURA

1. A.W.Scheer: CIM- Der Computergesteuerte Industriebetrieb, Springer-Verlag, Berlin, 1992
2. Kušar Janez: Modeli za glajenje kapacitet, Magistersko delo, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1992
3. Orlicky J.: Material Requirements Planning, Mc Graw-Hill Company, New York, 1975
4. Helfrich C.: Fertigung Steuerung und Logistik im CIM Verbund, Rech Verlag, Munchen, 1989
5. Helberg P.: PPS Als CIM - Baustein, Erich Schmidt Verlag GmbH, Berlin 1987
6. Wiendahl H.P.: Belastungorientierte Fertigung Steuerung, Carl Hanser Verlag, Wien
7. Wildeman H.: Das Just in Time Konzept, Verlag Industrielle Organisation, Munchen, 1989
8. Brown J., Harken J., Shivan J.: Production Management Systems, Addison-Wesley Publishing Company, Wokingham, England, 1988
9. Masaaki Imai: KAIZEN, mi Japan - service, Wirtschaftsverlag Langen Muller/Herbig, 1993
10. Runge J. H.: Was verbirgt sich hinter "Lean Production", QZ 38 (1993)
11. Sh. Shingo: Nova japonska proizvodna filozofija, Jugoslovanski zavod za produktivnost, Beograd, 1985