

2. Sistemi za planiranje in vodenje proizvodnje



- Pregled sistemov za planiranje in vodenje proizvodnje
 - ERP, MRP II, MES
- Napovedovanje
- Planiranje proizvodnje
- Upravljanje zalog
- Planiranje materialnih potreb
- Razvrščanje operacij

2.1 Pregled sistemov za planiranje in vodenje proizvodnje



- Integracija informacij v podjetju
 - prenos naročil iz prodajne službe v proizvodnjo
 - poznavanje stanja naročil v prodajni službi
 - poznavanje potreb po materialu v nabavni službi
 - sprotno osveževanje računovodskega stanja ob transakcijah ...
- Pomen
 - prave informacije ob pravem času, ni podvajanja sporočil
 - odstranitev redundantnih opravil,
 - nove možnosti poslovanja

Sistemi za planiranje in upravljanje proizvodnih virov



- Enterprise resource planning (ERP) systems
 - omogočajo integracijo informacij v podjetjih
- Celovita programska rešitev
 - celovito povezan in na **poslovnem modelu** organizacije temelječ sistem, ki ob uporabi sodobne informacijske tehnologije **vsem poslovnim procesom**, tako same **organizacije** kot tudi z njo **povezanim poslovnim partnerjem**, zagotavlja optimalne možnosti načrtovanja, razporejanja virov in izvajanja poslovnih procesov ter ustvarjanja dodane vrednosti (prof. dr. A. Kovačič, EF)

Sistemi ERP



- Razvoj
 - ROP (Record Point) – 1950
 - planiranje porabe na podlagi beleženja preteklih nakupov
 - MRP (Material Requirements Planning) – 1965
 - kosovnice (Bill of Materials – BOM) + planiranje proizvodnje
 - MRP z zaprto zanko – 1970
 - povratne informacije o izvedljivosti plana proizvodnje
 - MRP II (Manufacturing Resource Planning) – 1975
 - celovito obvladovanje proizvodnih virov v podjetju
 - poslovno planiranje, planiranje prodaje in operacij, osnovno planiranje proizvodnje, planiranje materialnih potreb, planiranje proizvodnih kapacitet



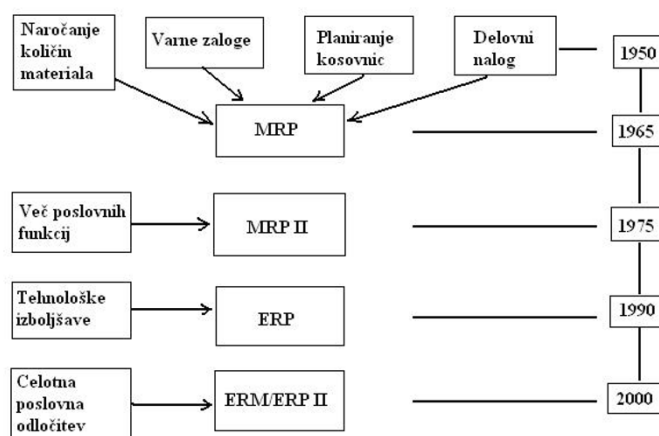
Sistemi ERP

- Razvoj
 - ERP – 1990
 - osnova ista kot pri MRP II
 - širše pokrivanje poslovnega procesa
 - koordinacija prodaje, trženja, operacij, logistike, nabave, financ, razvoja proizvodov, človeških virov ...
 - povezovanje procesov za podporo poslovnega odločanja
 - ERP II
 - tudi kupci in dobavitelji
 - ERP+SCM+CRM+PLM
 - SCM – Supply Chain Management
 - CRM – Customer Relationship Management
 - PLM – Product Lifecycle Management



Sistemi ERP

- Razvoj



Sistemi ERP

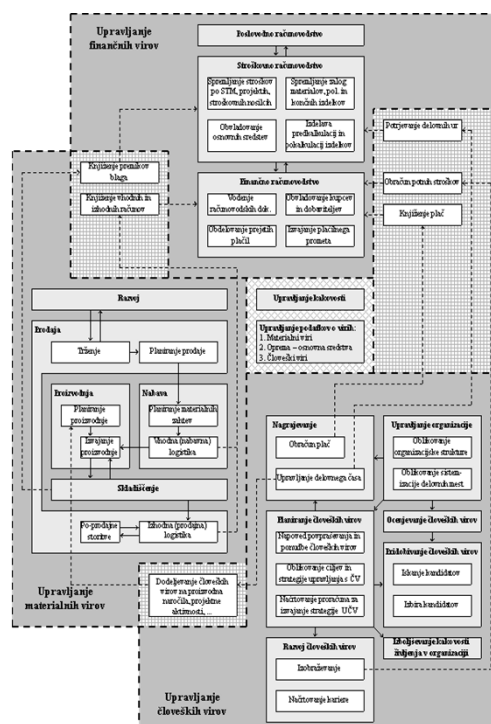


- Obseg
 - planiranje
 - nabava
 - upravljanje z zalogami
 - proizvodnja
 - finance
 - upravljanje s človeškimi viri
 - distribucija
 - podpora odločanju
 - prodaja
 - inženiring



Sistemi ERP

- Procesni vidik

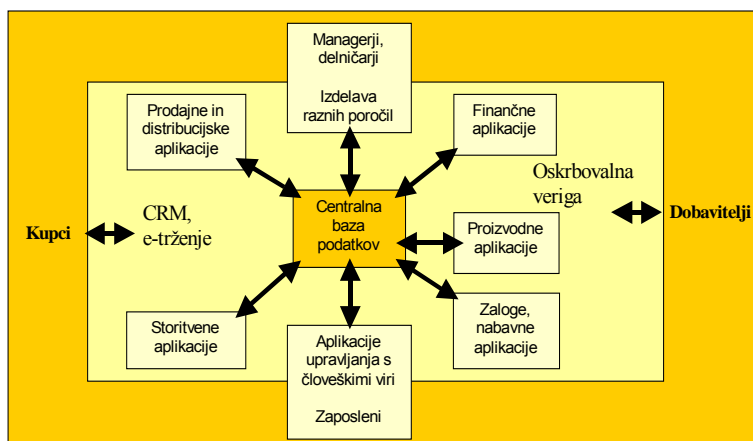


vir: A. Kovačič, EF



Sistemi ERP

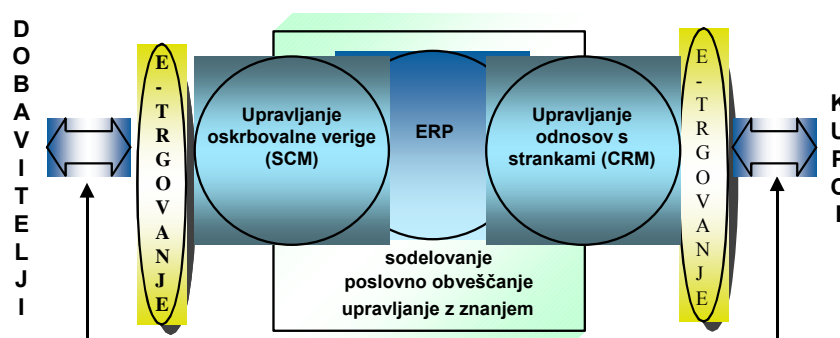
- Aplikativni vidik



vir: A. Kovačič, EF

Sistemi ERP

- Aplikativni vidik – ERP II

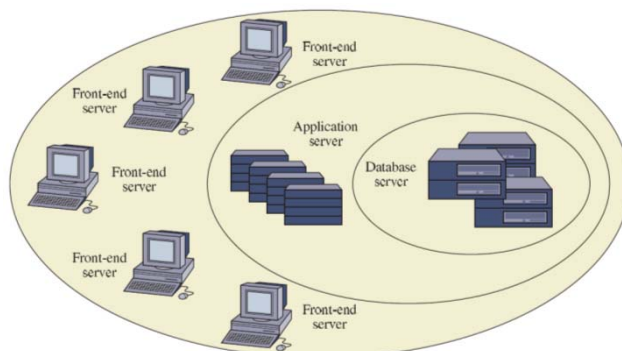


vir: A. Kovačič, EF

Sistemi ERP



- Arhitekturni vidik
 - troslojna arhitektura (Three-tier architecture)



Komercialne rešitve



- številni ponudniki
- uporaba sistemov ERP hitro narašča
- tudi manjša in srednje velika podjetja
- uvajanje je dolgotrajno in zapleteno in zahteva temeljite organizacijske spremembe
- lahko prinese velike koristi, lahko pa ni uspešno

vodilni ponudniki

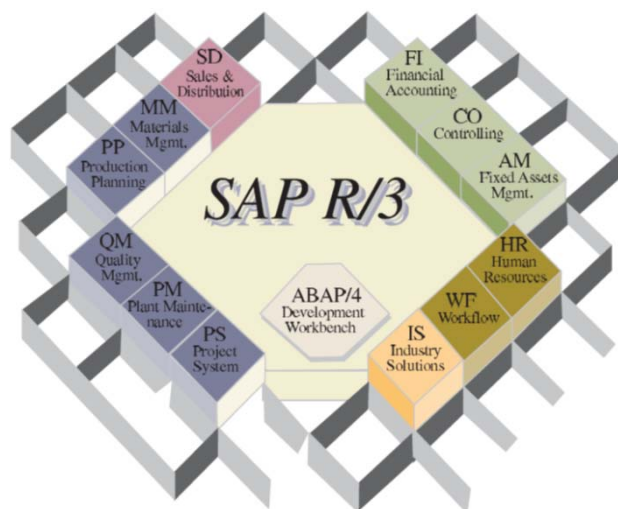
ponudnik	produkt	naslov	opombe
Microsoft	Microsoft Dynamics	www.microsoft.com/en-us/dynamics	vodilni sistem ERP
ORACLE	Oracle Fusion, E-Business Suite, PeopleSoft	www.oracle.com	vodilni ponudnik SUPB, cloud computing
SAP	SAP ERP	www.sap.com	specialisti za ERP, SOA
Intuit	QuickBooks	www.intuit.com	predvsem finance
Infor/Lawson	Infor ERP LN 6.1 (Baan)	www.infor.com	ERP, SCM, SOA, cloud computing
Sage	Sage 300 ERP	www.sage.com	ERP, CRM
Constellation Software	Friedman Frontier	www.csisoftware.com	celovite prog. rešitve, več podjetij
Epicor/Activant	Epicor ERP, Epicor Express	www.epicor.com	ERP, SOA, cloud computing
TOTVS	TOTVS ERP	www.totvs.com	ERP, CRM, BI, SCM
Unit 4	UNIT4 Agresso	www.unit4.com	ERP za storitvene dejavnosti

vir: Enterprise resource planning report 2013, Clearwater Corporate Finance LLP

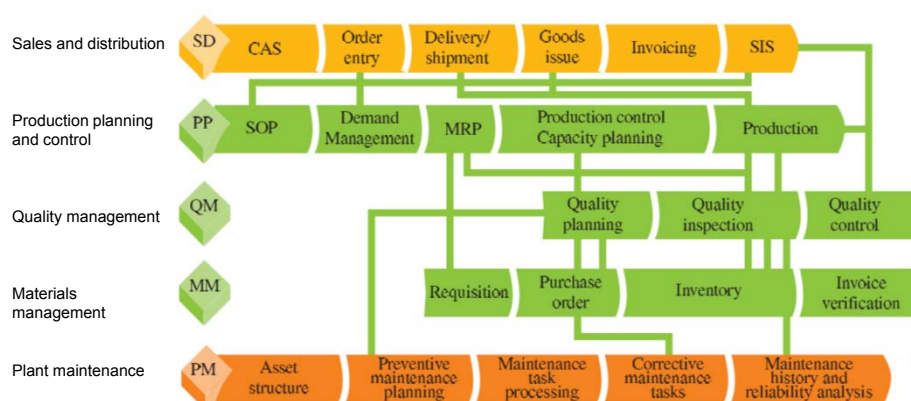
Funkcije	SAP	ORACLE	JDA Software	Lawson Software	Epicor	Infor
Automatic Replenishment	√	√	√	√	√	√
Customer Relationship Management	√	√	√	√	√	√
Cycle Time Reduction	√	o	o	x	x	√
Distribution Requirements Planning (DRP)	√	√	√	√	o	√
e-Procurement	√	√	√	√	x	√
Facility Location	√	o	o	x	x	o
Forecasting	√	√	√	√	√	√
Inventory Management	√	√	√	√	√	√
Just-in-Time (JIT) Delivery	√	x	√	o	√	√
Logistic Management	o	√	√	o	x	o
Material Requirements Planning (MRP)	√	√	√	√	√	√
Order Processing	√	√	√	√	√	√
Productivity Analysis	√	o	√	√	o	o
Profitability Analysis	√	√	√	√	o	o
Production Scheduling	√	√	√	√	√	o
Reverse Logistics	√	√	√	o	√	x
Supply Chain Network Design	√	√	√	o	x	√
Supplier Selection / evaluation	√	√	o	√	o	x
Supply Management	o	√	√	o	o	o
Total cost of Ownership (TCO)	√	o	√	o	√	√
Tracking & Tracing	√	o	√	√	√	o
Transportation	√	√	√	√	√	√
Vendor Management Inventory (VMI)	√	√	√	√	√	√
Warehouse Management Systems (WMS)	√	√	√	√	√	√



Arhitektura SAP



Integracija v segmentu proizvodnje in logistike v SAP



Sistemi ERP in spletne tehnologije



- Sistemi ERP so pod močnim vplivom razvoja spletnih tehnologij
 - ponudniki in razvijalci sistemov ERP so v koraku z novimi tehnologijami in so prilagodili sisteme ERP, tako da so vse čelne (front end) in zaledne (back end) aplikacije dostopne preko spleta
 - dodatno podjetja vse bolj prakticirajo omogočanje dostopa do sistema ERP svojim dobaviteljem in strankam znotraj dobavne verige
 - to jim omogoča skupno rabo pomembnih informacij, olajšuje sodelovanje in odločanje na podlagi boljših informacij, kar koristi celotni dobavni verigi

Nove tehnologije in problem zaupanja



- Primer: rešitve v oblaku
 - ni pričakovati, da bi podjetja zamenjala obstoječe sisteme ERP z novimi aplikacijami v oblaku zaradi dvomov in pomanjkanja zaupanja v skupno rabo informacij
 - podjetja so pripravljena uporabljati mešanico lastne programske opreme, opreme v javnem oblaku in privatnem oblaku
 - koncept privatnega oblaka omogoča izkoriščanje nekaterih prednosti, npr. virtualizacije in programske opreme z več zakupniki; javni oblak pa nudi boljši pregled nad dobavno verigo in boljše možnosti sodelovanja med partnerji

Uvajanje sistemov ERP



- Praviloma nobena aplikacija ne pokrije vseh potreb organizacije, to velja tudi za sisteme ERP
 - podjetja morajo poleg sistemov ERP uporabiti tudi specifične (specializirane) programske produkte
- ERP je hrbtenica informacijskega sistema, vanj je treba integrirati tudi druge produkte
 - za širše uporabljene programske produkte se dobijo vmesniki (middleware), ki olajšajo integracijo z ERP
 - za bolj specifične produkte morajo podjetja vmesnike izdelati sama

Uvajanje sistemov ERP



- Integracija
 - podjetja porabijo do 50 % sredstev za informatiko za integracijo
 - prav integracija informacijskega sistema prinese največje koristi: pospeši pretok in izboljša natančnost informacij
 - nevarnost hitrega širjenja napak skupaj z informacijami vzdolž oskrbovalne verige
 - problemi z vzdrževanjem
 - vsaka sprememba sistema ERP (nova različica) zahteva spremembo vmesnikov

Uspešnost sistemov ERP



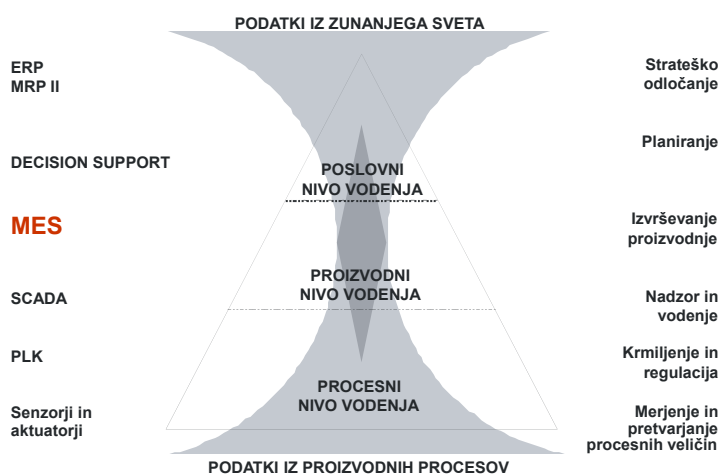
- Sistemi ERP prinašajo “revolucijo” v razvoj informacijskih sistemov in v poslovanje
- Sistemi ERP so zelo kompleksni
 - ne smemo jih obravnavati le kot programske pakete, ampak tudi kot temeljno organizacijsko spremembo
- Poglavitni faktorji uspeha:
 - močna podpora vodstva pri spreminjanju poslovnih procesov v skladu z ERP
 - re-inženiring poslovnih procesov
 - integracija specifičnih procesov in aplikacij v “hrbtenico”, to je v sistem ERP

Nezadostnost ERP v proizvodnih podjetjih

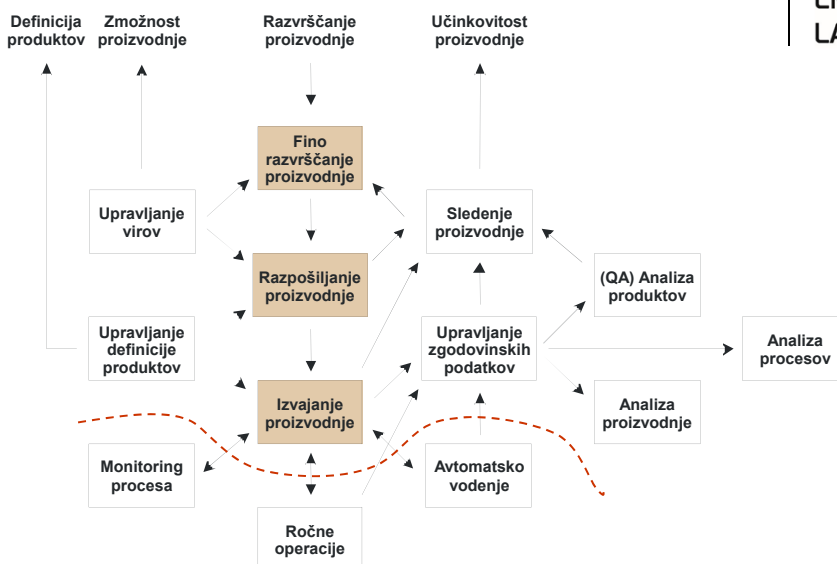


- Sistemi ERP formalno vključujejo module za planiranje proizvodnje, vodenje proizvodnje po nalogih in sledljivost postopkov
 - proizvodni proces dejansko obravnavajo kot »črno škatlo« in se ne ukvarjajo s »podrobnostmi«
- Potreba po dodatnih namenskih programskih rešitvah v proizvodnih podjetjih
 - sistemi MES (angl. Manufacturing Execution Systems)
 - povezani so s procesnimi napravami in nadzornimi sistemi (t. i. sistemi SCADA)
 - zagotavljajo avtomatski zajem ustreznih procesnih podatkov
 - zapolnjujejo vrzel med sistemi procesnega vodenja in sistemi ERP

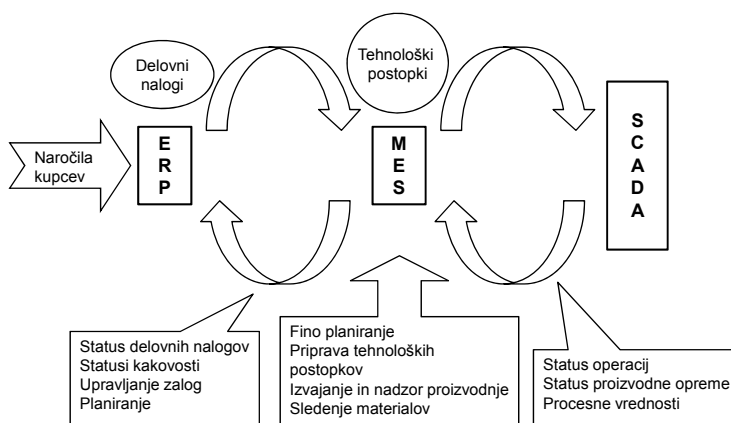
Vrzel v IT-podpori proizvodnje



Funkcije MES



Vloga sistemov MES



Nivo	Glavne funkcionalnosti	Informacijska podpora	Tipični podatki	Obdelava informacij	Časovno obdobje
5	ERP: grobo planiranje, oskrba in logistika	Podatkovne baze, aplikacije, vmesniki	Podatki na nivoju podjetja (prodaja, nabava, finance, zaposleni)	Možnost planiranja in dodeljevanja virov za dosego ciljev podjetja	Meseci in tedni
4	MES – optimizacija in vodenje na nivoju tovarne	Podatkovne baze, aplikacije, vmesniki, procesni podatki	Podatki na nivoju tovarne (stanje proizvodnega procesa, zaloge, učinkovitost)	Možnost izvajanja in optimiziranja proizvodnih operacij v celotni tovarni	Dnevi in ure
3	SCADA – nadzor delovanja proizvodne opreme	Sistemi SCADA ali osebni računalniki	Podatki na nivoju proizvodne opreme (proizvedena količina, zastoji)	Možnost upravljanja posamezne naprave ali linije	Minute in sekunde
2	Osnovno upravljanje proizvodne opreme	PLC*, DCS* sistemi	Nastavitvene točke, procesne vrednosti, alarmi	Možnost kontroliranja proizvodnega procesa na proizvodni opremi	Manj kot sekunda
1	Zvezne meritve procesnih parametrov	Senzorji, aktuatorji	Izmerjene vrednosti procesnih parametrov	Trenutno stanje proizvodne opreme	Zvezno

* DCS – ang. Distributed Control Systems – Porazdeljeni sistemi vodenja

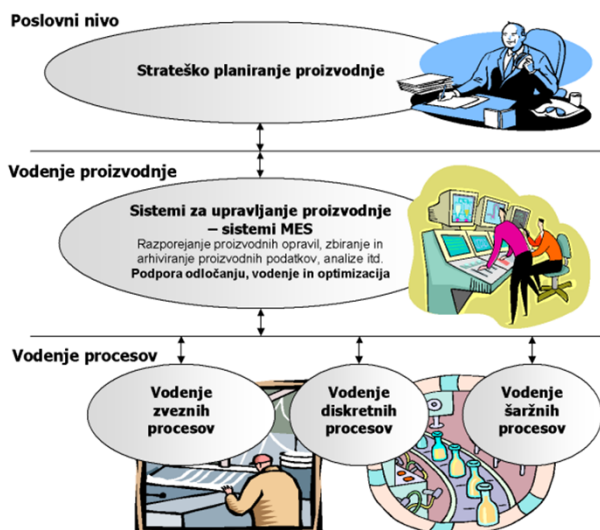
* PLC – ang. Programmable Logic Controller – Programirjivi logični krmilniki



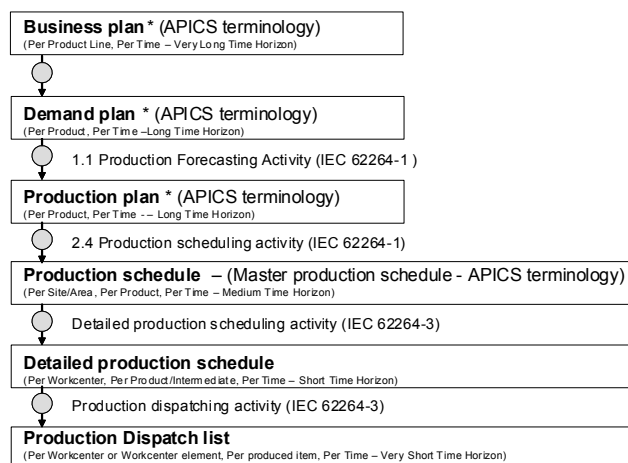
Vloga sistemov MES



Upravljanje in vodenje proizvodnje v praksi



Od planiranja do izvajanja



2.2 Napovedovanje

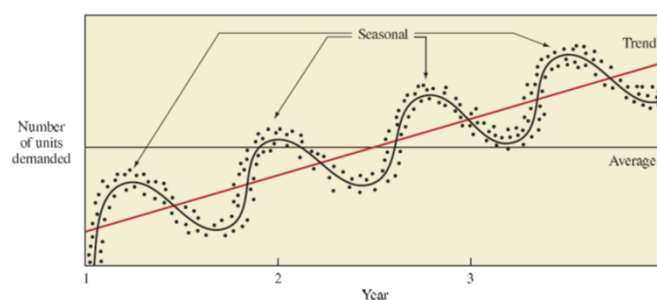


- Napovedovanje (Forecasting) je ocenjevanje bodočih dogodkov oziroma dejavnosti
 - osnova dolgoročnega planiranja
- Upravljanje povpraševanja
 - odvisno in neodvisno povpraševanje
 - aktiven ali pasiven pristop
- Metode napovedovanja
 - kvalitativne
 - kvantitativne
 - analiza časovnih vrst
 - analiza vzročnih povezav
 - simulacija

Struktura povpraševanja

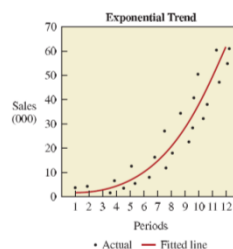
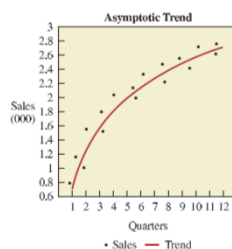
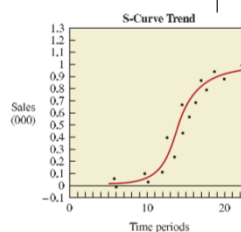
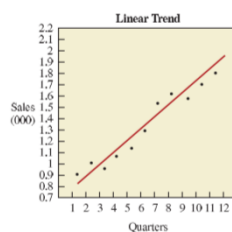


- Komponente
 - povprečje povpraševanja v obdobju
 - trend
 - sezonski vplivi
 - ciklični vplivi
 - slučajne nepravilnosti
 - avtokorelacijski vplivi



Trendi

- Običajno je trend izhodišče pri napovedovanju



LMSV
AMS

Analiza časovnih vrst

- Analiziramo zgolj odvisnost od časa

Metoda	Količina podatkov	Vzorec	Obdobje napovedovanja**
Preprosto drseče povprečje	6 do 12 mesecev, tudi tedenski podatki	Stacionaren	Kratko do srednje
Uteženo drseče povprečje ali enostavno eksponentno glajenje*	5 do 10 podatkov potrebnih za začetek	Stacionaren	Kratko
Dvojno eksponentno glajenje*	5 do 10 podatkov potrebnih za začetek	Stacionaren ali trend	Kratko
Linearna regresija	10 do 20 podatkov; če sezonski vplivi, vsaj 5 podatkov na sezono	Stacionaren, trend ali sezonski vplivi	Kratko do srednje

*v bistvu diskretno filtriranje

**kratko – do 3 mesece;
srednje – do 2 leti



LMSV
LAMS



Drseče povprečje

- Odstrani slučajne nepravilnosti v podatkih
- Praviloma centrirano
 - vzamemo podatke naprej in nazaj glede na center
- S stališča napovedovanja primernejše ‚forward-end‘-povprečje

$$F_t = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + \dots + A_{t-n}}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{t-i}$$

F ... napoved (forecast)
 A ... podatek (actual data)
 t ... indeks vzorca, ki ustreza sedanjosti

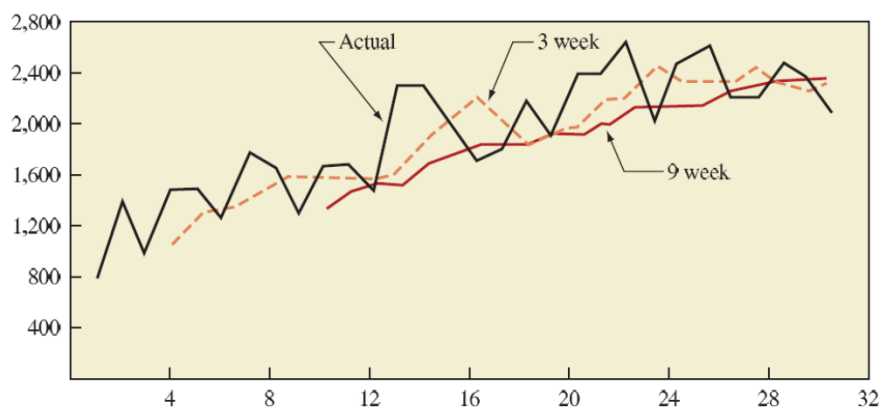
- Izbira obdobja (računskega okna n)
 - daljše obdobje bolje odstranjuje naključne vplive
 - v primeru trenda je napaka manjša pri krajšem obdobju

Primer



WEEK	DEMAND	3 WEEK	9 WEEK	WEEK	DEMAND	3 WEEK	9 WEEK
1	800			16	1,700	2,200	1,811
2	1,400			17	1,800	2,000	1,800
3	1,000			18	2,200	1,833	1,811
4	1,500	1,067		19	1,900	1,900	1,911
5	1,500	1,300		20	2,400	1,967	1,933
6	1,300	1,333		21	2,400	2,167	2,011
7	1,800	1,433		22	2,600	2,233	2,111
8	1,700	1,533		23	2,000	2,467	2,144
9	1,300	1,600		24	2,500	2,333	2,111
10	1,700	1,600	1,367	25	2,600	2,367	2,167
11	1,700	1,567	1,467	26	2,200	2,367	2,267
12	1,500	1,567	1,500	27	2,200	2,133	2,311
13	2,300	1,633	1,556	28	2,500	2,333	2,311
14	2,300	1,833	1,644	29	2,100	2,300	2,378
15	2,000	2,033	1,733	30	2,100	2,367	2,378

Primer



Uteženo drseče povprečje



- Vpeljemo uteži, katerih vsota mora biti 1
 - običajno bolj utežimo nedavne podatke in manj utežimo stare podatke

$$F_t = w_1 A_{t-1} + w_2 A_{t-2} + \dots + w_n A_{t-n}$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

- Primer:

MONTH 1	MONTH 2	MONTH 3	MONTH 4	MONTH 5
100	90	105	95	?

$$\begin{aligned}
 F_5 &= 0.40(95) + 0.30(105) + 0.20(90) + 0.10(100) \\
 &= 38 + 31.5 + 18 + 10 \\
 &= 97.5
 \end{aligned}$$



Eksponentno glajenje

- Napoved računamo po formuli

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1})$$

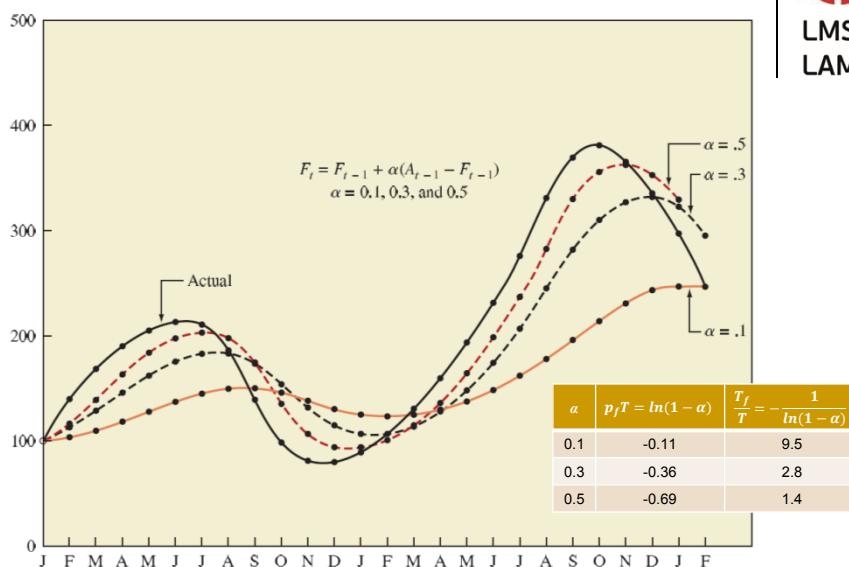
α ... parameter, ki določa glajenje

- Diskretni filter 1. reda

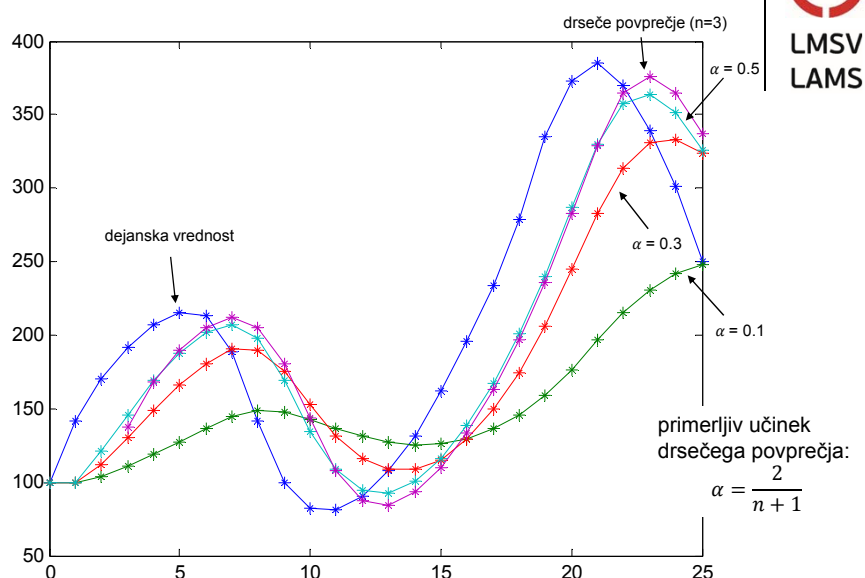
- prenosna funkcija

$$G_f(z) = \frac{F(z)}{A(z)} = \frac{\alpha z^{-1}}{1 - (1 - \alpha)z^{-1}} \quad \text{sistem 1. reda z ojačenjem 1}$$

Primer: vpliv koeficienta α



Primer: diskretna simulacija



Ocena natančnosti



- Merilo točnosti napovedovanja
 - kakšna je napaka (E_t) – odstopanje dejansko doseženih vrednosti od napovedi
- Nekatera merila
 - povprečna absolutna napaka napovedi (Mean Absolute Deviation – MAD)

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |A_i - F_i|}{n}$$

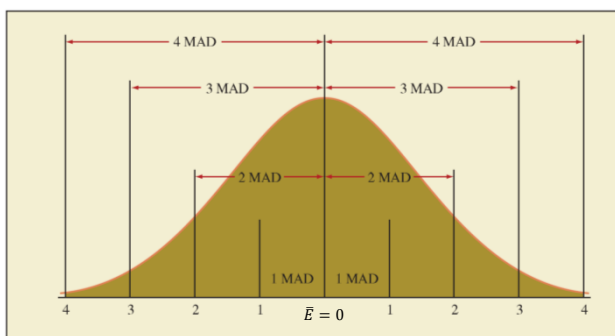
- sledilni signal (Tracking Signal)
 - kaže ali povprečje napovedi sledi spremembam

$$TS = \frac{RSFE}{MAD} \quad \text{RSFE ... tekoča vsota odstopanj napovedi}$$

Ocena MAD



- Ob predpostavljeni normalni porazdelitev odstopanj z $\bar{E} = 0$ in $MAD = 1$:



zveza s standardno deviacijo:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot MAD \cong 1.25 \cdot MAD \quad \text{oz.} \quad MAD \cong 0.8 \cdot \sigma$$

Sledilni signal



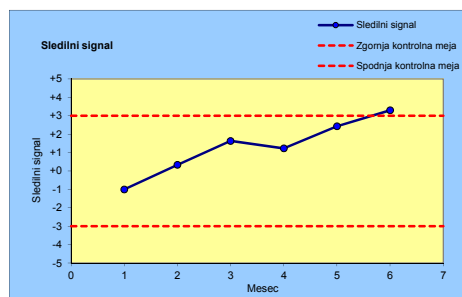
- Interpretacija
 - v idealnem primeru je 0 – napake se izničijo
 - rastoči/padajoči signal kaže akumulacijo napak v določeni smeri – slaba napoved
 - sprejemljive meje
 - odvisne od velikosti povpraševanja
 - odvisne od razpoložljivih kapacitet za analizo

CONTROL LIMITS		
NUMBER OF MADs	RELATED NUMBER OF STANDARD DEVIATIONS	PERCENTAGE OF POINTS LYING WITHIN CONTROL LIMITS
±1	0.798	57.048
±2	1.596	88.946
±3	2.394	98.334
±4	3.192	99.856

Primer

Month	Demand Forecast	Actual	Deviation (Error)	RSFE	Abs. Dev.	Sum of Abs. Dev.	MAD*	TS=RSFE/MAD
1	1.000	950	-50	-50	50	50	50,0	-1,00
2	1.000	1.070	70	20	70	120	60,0	0,33
3	1.000	1.100	100	120	100	220	73,3	1,64
4	1.000	960	-40	80	40	260	65,0	1,2
5	1.000	1.090	90	170	90	350	70,0	2,4
6	1.000	1.050	50	220	50	400	66,7	3,3

3 = Zgornja kontrolna meja
-3 = Spodnja kontrolna meja



Predikcija napake MAD

- Uporabimo princip eksponentnega glajenja

$$MAD_t = \alpha |A_{t-1} + F_{t-1}| + (1 - \alpha)MAD_{t-1}$$

pri čemer je:

MAD_t ... napoved napake za trenutek t

α ... koeficient glajenja (običajno 0.05 do 0.2)

A_{t-1} ... dejansko povpraševanje v trenutku $t - 1$

F_{t-1} ... napoved povpraševanja v trenutku $t - 1$





Eksponentno glajenje

- Prednosti
 - dokaj dobra napoved
 - enostavna formulacija modela
 - enostavno razumevanje principa delovanja
 - malo računanja
 - malo pomnilnika
 - enostaven izračun testov, ki kažejo natančnost modela
- Začetni pogoj
 - običajno predpostavimo $F_1 = A_1$
- Slabosti
 - ne upošteva trenda in sezonskih nihanj
 - „skrita“ statistika



Dvojno eksponentno glajenje

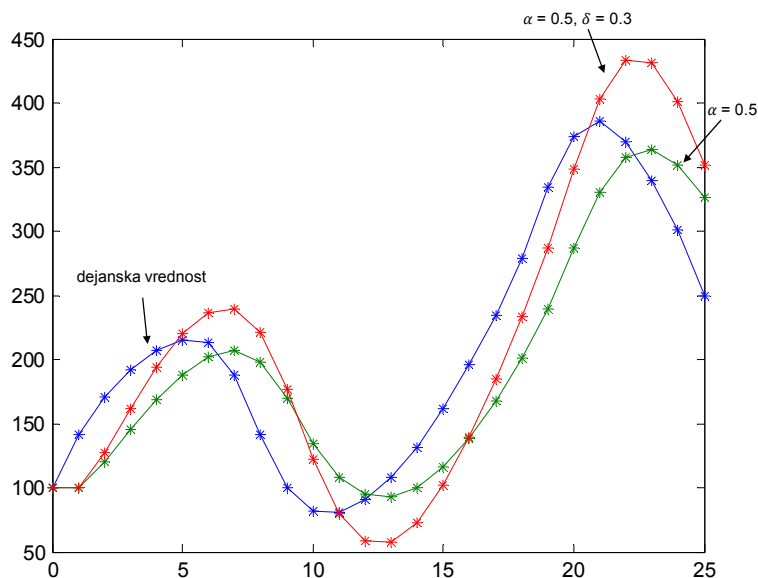
- Eksponentno glajenje s trendom
- Napoved računamo po enačbah

$$\begin{aligned}
 F_t &= B_t + T_t \\
 B_t &= F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) & \alpha \dots & \text{parameter, ki določa glajenje} \\
 T_t &= T_{t-1} + \delta(B_t - F_{t-1}) & \delta \dots & \text{parameter, ki določa sledenje trendu}
 \end{aligned}$$

- Diskretni filter 2. reda
 - prenosna funkcija

$$G_f(z) = \frac{F(z)}{A(z)} = \frac{\alpha(\delta + 1)z^{-1} - \alpha z^{-2}}{1 + (\alpha(\delta + 1) - 2)z^{-1} + (1 - \alpha)z^{-2}}$$

Primer



Linearna regresija



- Analiziramo odvisnost med dvema koreliranima spremenljivkama
 - privzamemo linearno odvisnost $y = ax + b$
 - neodvisna spremenljivka je lahko čas
 - tovrstno napovedovanje je uporabno za dolgoročno napovedovanje in planiranje proizvodnega programa
 - rešitev v smislu najmanjših kvadratov:

$$\sum_{i=1}^n y_i = na + b \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$\text{oz. } b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$



Linearna regresija

- Standardna deviacija regresije
 - merilo razpršenosti podatkov okoli regresijske premice

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{n - 2}}$$

kjer je $Y_i = ax_i + b$ ocenjena vrednost y_i

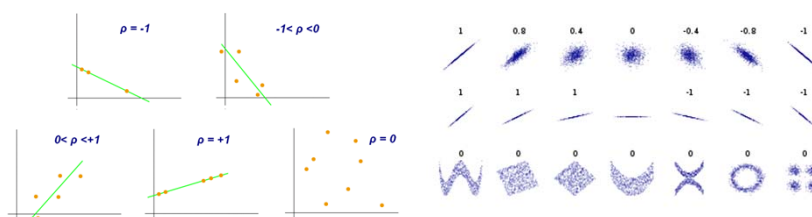
- Korelacijski koeficient

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$



Linearna regresija

- Pomen korelacijskega koeficienta



- nakaže predznak naklona, ne pa njegove velikosti
- ne zajame številnih oblik nelinearnih odvisnosti



Primer: Excel

x	y	xy	x ²	y ²	ƒ
1	600	600	1	360.000	801,3
2	1.550	3.100	4	2.402.500	1.160,9
3	1.500	4.500	9	2.250.000	1.520,5
4	1.500	6.000	16	2.250.000	1.880,1
5	2.400	12.000	25	5.760.000	2.239,7
6	3.100	18.600	36	9.610.000	2.599,4
7	2.600	18.200	49	6.760.000	2.959,0
8	2.900	23.200	64	8.410.000	3.318,6
9	3.800	34.200	81	14.440.000	3.678,2
10	4.500	45.000	100	20.250.000	4.037,8
11	4.000	44.000	121	16.000.000	4.397,4
12	4.900	58.800	144	24.010.000	4.757,1
78	33.350	268.200	650	112.502.500	

$$6,50 = \bar{X} \quad 359,62 = b$$

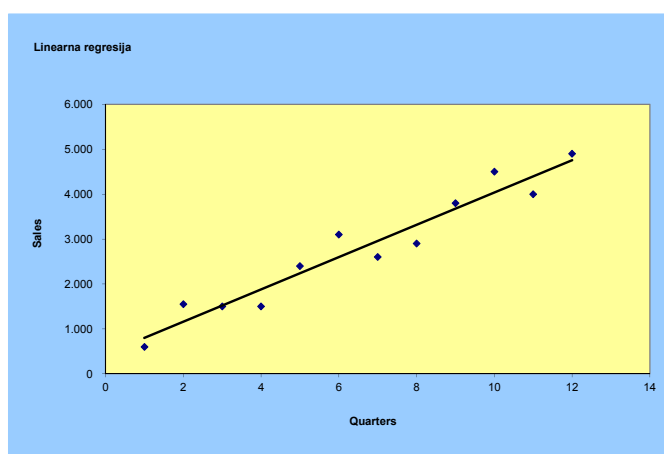
$$2779,17 = \bar{Y} \quad 441,67 = a$$

Regresijska enačba: $Y = 441,67 + 359,6 \cdot x$

$$\text{standardni odklon: } S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n-2}} = 363,9$$



Primer: Excel



Primer: Excel – Data Analysis ToolPak



SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0,96601558
R Square	0,9331861
Adjusted R Square	0,92650471
Standard Error	363,877797
Observations	12

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	18493221,15	18493221	139,6694585	3,37202E-07
Residual	10	1324070,513	132407,05		
Total	11	19817291,67			

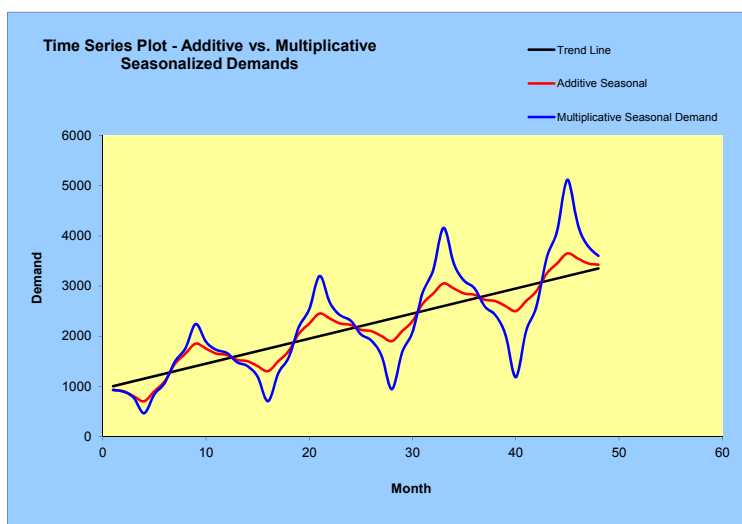
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	441,666667	223,9513029	1,9721549	0,076868695	-57,32793238	940,6612657
X Variable 1	359,615385	30,42899005	11,818183	3,37202E-07	291,8153697	427,4153996

Dekompozicija časovne vrste



- Dekompozicija
 - identifikacija standardnih komponent (trend, sezonski vplivi, ciklični vplivi, slučajne nepravilnosti, avtokorelacijski vplivi)
 - razstavitev časovne vrste na komponente
- Trend
 - enostavno določanje
- Sezonski vplivi
 - aditivni
 - multiplikativni

Sezonski vplivi



Sezonski vplivi



- Bolj običajni so multiplikativni vplivi
- Sezonski indeks
 - korekcijski faktor, s katerim je pomnožena časovna vrsta
 - sezonski vpliv implicira letno periodo; če je perioda drugačna, govorimo o cikličnem vplivu
 - tipično opazujemo po četrletjih
 - primer:

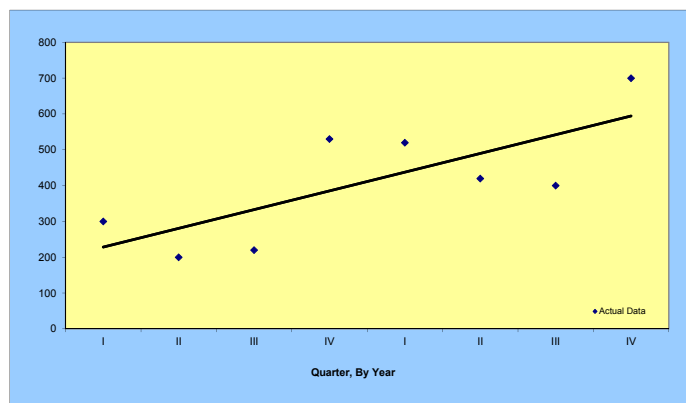
		Povpraševanje
2004	I	300
	II	200
	III	220
	IV	530
2005	I	520
	II	420
	III	400
	IV	700



Primer

- Najprej določimo trend

$$\text{Trend}_t = 170 + 55t \quad (\text{ročno ocenjeno})$$



Primer

- Določanje sezonskih faktorjev

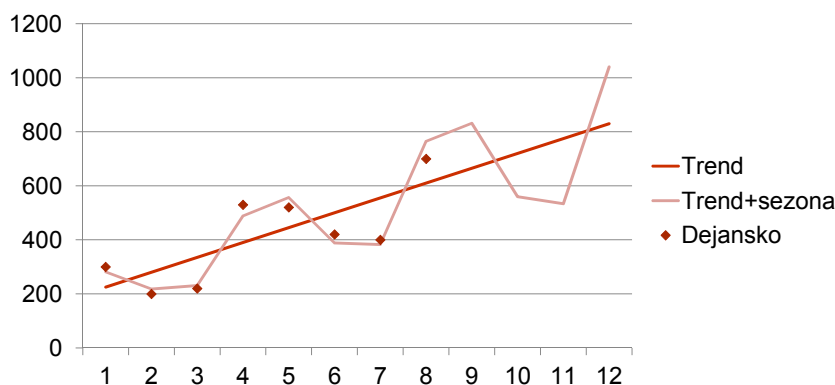
	Actual Amount	From Trend Equation $T_t = 170 + 55t$	Ratio of Actual/Trend	Seasonal Factor (Ave. of Same Qtrs in Both Years)
2004I	300	225	1,33	I 1,25
II	200	280	0,71	II 0,78
III	220	335	0,66	III 0,69
IV	530	390	1,36	IV 1,25
2005I	520	445	1,17	
II	420	500	0,84	
III	400	555	0,72	
IV	700	610	1,15	





Primer

- Upoštevanje sezonskih faktorjev



Primer: kombinacija z regresijsko analizo



(1) PERIOD (x)	(2) QUARTER	(3) ACTUAL DEMAND (y)	(4) AVERAGE OF THE SAME QUARTERS OF EACH YEAR	(5) SEASONAL FACTOR	(6) DISEASONALIZED DEMAND (y _d) Col. (3) ÷ Col. (5)	(7) x ² (Col. 1) ²	(8) x × y _d Col. (1) × Col. (6)
1	I	600	(600 + 2,400 + 3,800)/3 = 2,266.7	0.82	735.7	1	735.7
2	II	1,550	(1,550 + 3,100 + 4,500)/3 = 3,050	1.10	1,412.4	4	2,824.7
3	III	1,500	(1,500 + 2,600 + 4,000)/3 = 2,700	0.97	1,544.0	9	4,631.9
4	IV	1,500	(1,500 + 2,900 + 4,900)/3 = 3,100	1.12	1,344.8	16	5,379.0
5	I	2,400		0.82	2,942.6	25	14,713.2
6	II	3,100		1.10	2,824.7	36	16,948.4
7	III	2,600		0.97	2,676.2	49	13,733.6
8	IV	2,900		1.12	2,599.9	64	20,798.9
9	I	3,800		0.82	4,659.2	81	41,932.7
10	II	4,500		1.10	4,100.4	100	41,004.1
11	III	4,000		0.97	4,117.3	121	45,290.1
12	IV	4,900		1.12	4,392.9	144	52,714.5
78		33,350		12.03	33,350.4*	650	265,706.9

$$\bar{x} = \frac{78}{12} = 6.5 \quad b = \frac{\sum xy_d - n\bar{x}\bar{y}_d}{\sum x^2 - n\bar{x}^2} = \frac{265,706.9 - 12(6.5)2,779.2}{650 - 12(6.5)^2} = 342.2$$

$$\bar{y}_d = 33,350/12 = 2,779.2 \quad a = \bar{y}_d - b\bar{x} = 2,779.2 - 342.2(6.5) = 554.9$$

Therefore $Y = a + bx = 554.9 + 342.2x$

Primer: kombinacija z regresijsko analizo

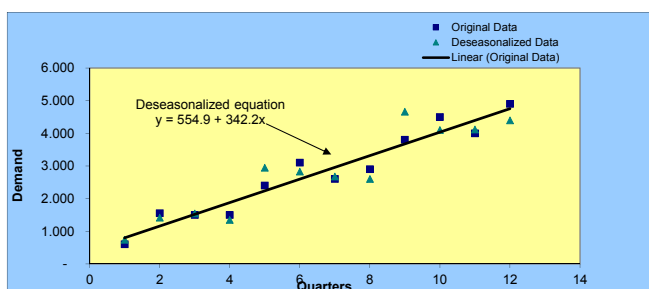


- 1. korak: določitev sezonskih indeksov
 - izračunamo povprečja po četrletjih
 - delimo s povprečjem vseh podatkov
- 2. korak: odstranitev sezonskih vplivov
 - podatke delimo s sezonskim indeksom
- 3. korak: linearna regresija
 - določimo trend podatkov brez sezonskih vplivov
- 4. korak: ekstrapoliramo trend
- 5. korak: dodamo sezonske vplive
 - pomnožimo ekstrapolirano napoved s sezonskim indeksom

Primer: kombinacija z regresijsko analizo



- Ilustracija



- Napoved

PERIOD	QUARTER	Y FROM REGRESSION LINE	SEASONAL FACTOR	FORECAST (Y × SEASONAL FACTOR)
13	1	5,003.5	0.82	4,102.87
14	2	5,345.7	1.10	5,880.27
15	3	5,687.9	0.97	5,517.26
16	4	6,030.1	1.12	6,753.71

Uporabnost napovedovanja

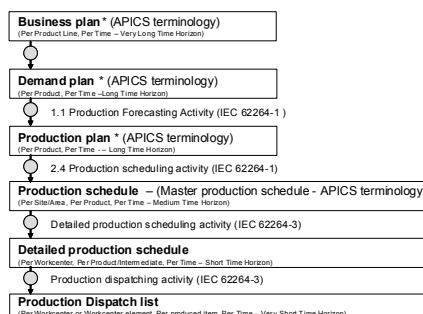


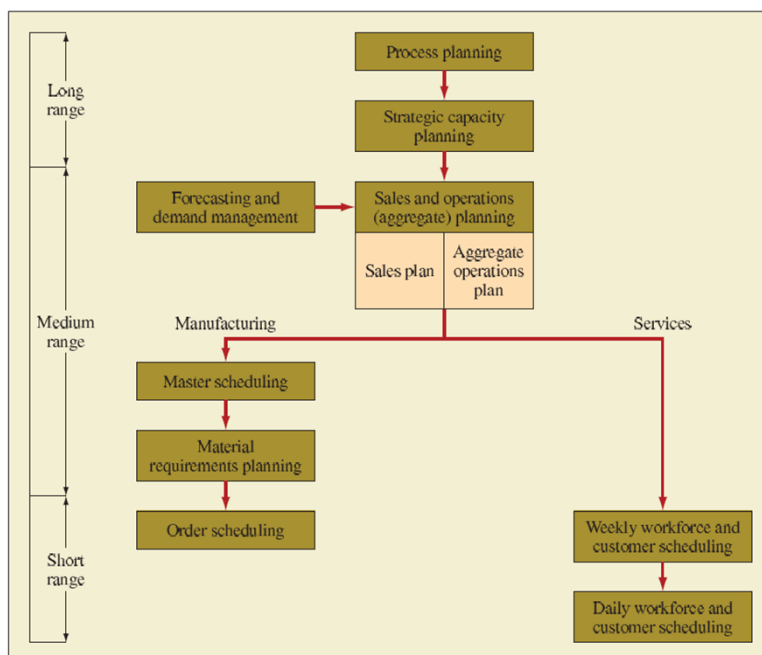
- Metode
 - obravnavane osnovne linearne metode
 - naprednejše metode
 - nelinearna regresija
 - multipla regresija
 - nelinearne aproksimativne metode
 - mehka logika
 - nevronske mreže
- Vprašanje stacionarnosti
 - ali predpostavke držijo?

2.3 Planiranje proizvodnje



- Dve stopnji planiranja proizvodnje
 - Agregirano planiranje = Planiranje proizvodnega programa
 - rezultat: proizvodni program (Production plan)
 - Osnovno planiranje proizvodnje
 - rezultat: osnovni plan proizvodnje (Master production schedule)





Ključne lastnosti planiranja proizvodnega programa



- Planiranje količine in rokov izdelave preko srednjeročnega obdobja
 - tipično 3 do 18 mesecev, lahko tudi manj
- Prilagajanje
 - hitrosti proizvodnje
 - zaposlitev
 - zalog
 - drugih manipulativnih spremenljivk
- Agregirano
 - planiramo po kategorijah oz. skupinah
 - skupne količine določene vrste izdelkov

Ključne lastnosti osnovnega planiranja proizvodnje



- Sledi planiranju proizvodnega programa
- Razgradi proizvodni program
 - količine določenih tipov izdelkov
- Uporablja informacije o napovedih in naročilih
- Glavno gonilo vseh proizvodnih aktivnosti

Primer: plan proizvodnje elektromotorjev

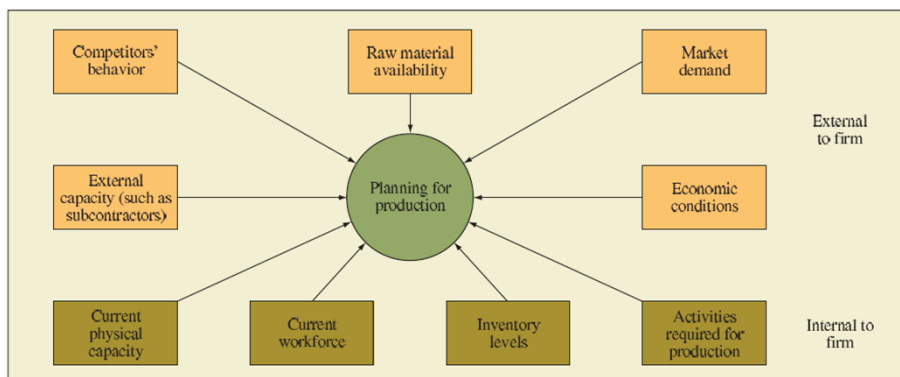


Proizvodni program									
Obdobje	Q1			Q2			Q3		
Število motorjev	120			110			130		
Osnovni plan proizvodnje									
Mesec	J	F	M	A	M	J	J	A	S
AC-motorji									
5 kW	15	-	30	-	-	30	-	-	10
25 kW	20	25	25	15	15	15	20	30	20
DC motorji									
1 kW	-	-	-	-	-	-	10	10	-
WR-motorji									
10 kW	5	-	-	15	15	5	-	20	10



Izhodišče planiranja

- Vhodi v postopek planiranja



Planiranje proizvodnega programa



- Ključne spremenljivke

Spremenljivka	Povezani stroški
Obseg zaposlitev	Stroški najemanja, usposabljanja, odpuščanja
Količina nadur oz. podobremenitev	Dodatki k plačam ali stroški neproduktivnosti
Nivo zalog	Stroški prevoza in skladiščenja
Dopuščanje zamud	Stroški izgubljenih naročil
Zunanje podizvajanje	Višji stroški dela in materiala
Spreminjanje zmogljivosti	Zakasnen odziv in višji fiksni stroški

Planiranje proizvodnega programa



- Strategije
 - prilagajanje povpraševanju („chase strategy“)
 - sledimo povpraševanju s prilagajanjem zaposlitev
 - ne kopičimo zalog
 - stabilna delovna sila - variabilne ure
 - vzdržujemo stalne zaposlitve, dopuščamo nadure, delne zaposlitve, pod-obremenitve oz. čas brez dela (idle time)
 - nivojska strategija
 - vzdržujemo stalne zaposlitve in stalno hitrost proizvodnje
 - kopičimo zaloge za izravnavo vrhov povpraševanja
 - dodatni ukrepi: podizvajalci, dopuščanje zamud, vplivi na povpraševanje

Stroški



- Vrste stroškov
 - osnovni
 - fiksni in variabilni stroški proizvodnje
 - stroški spremembe hitrosti proizvodnje
 - predvsem povezani z najemanjem, usposabljanjem in odpuščanjem delavcev
 - stroški zaloge
 - predvsem stroški na zaloge vezanega kapitala
 - tudi stroški skladiščenja, prevoza ipd.
 - stroški zakasnenih naročil
 - težko merljivi
 - stroški hitre dostave, izguba prihodkov od prodaje, izguba zaupanja

Tehnike



- Hevristična metoda („Cut and try“)
 - izhajamo iz opisanih strategij
 - strategije ovrednotimo in izberemo najboljšo
- Analiza „what if“
 - preizkušamo različne možnosti s prilagajanjem ključnih spremenljivk
- Optimizacijske metode
 - iskanje optimuma pri podanem kriteriju

Primer hevrističnega planiranja



- Planiramo proizvodni program podjetja za pol leta
- Podatki

	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij	Skupaj
Začetna zaloga	400						
Napoved povpraševanja	1800	1500	1100	900	1100	1600	8000
Število delovnih dni v mesecu	22	19	21	21	22	20	125
Stroški							
Material	100,00 € na kos						
Stroški zaloge	1,50 € na kos na mesec						
Mejni stroški manjka	5,00 € na kos na mesec						
Mejni stroški podizvajanja	20,00 € na kos (120 € - 100 € prihranek materiala)						
Stroški najemanja in usposabljanja	200,00 € na delavca						
Stroški odpuščanja	250,00 € na delavca						
Delovne ure	5 na kos						
Strošek rednega dela (prvih osem ur na dan)	4,00 € na uro						
Strošek nadur	6,00 € na uro						

- opomba: stroškov materiala pri planiranju ne upoštevamo, ker so fiksni, zato pri podizvajanju upoštevamo prihranek materiala

Primer hevrističnega planiranja



- Planske zahteve

	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij
Začetna zaloga	400	450	375	275	225	275
Napoved povpraševanja	1.800	1.500	1.100	900	1.100	1.600
Varnostna zaloga (.25 x Napoved povpraševanja)	450	375	275	225	275	400
Proizvodne zahteve	1.850	1.425	1.000	850	1.150	1.725
Končna zaloga	450	375	275	225	275	400

- opomba:
zaradi negotovosti napovedi predvidimo varnostno zalogo v obsegu $\frac{1}{4}$ napovedi; ta predstavlja začetno zalogo za naslednje obdobje

Primer hevrističnega planiranja – plan 1



Planske zahteve

	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij
Začetna zaloga	400	450	375	275	225	275
Napoved povpraševanja	1.800	1.500	1.100	900	1.100	1.600
Varnostna zaloga (.25 x Napoved povpraševanja)	450	375	275	225	275	400
Proizvodne zahteve	1.850	1.425	1.000	850	1.150	1.725
Končna zaloga	450	375	275	225	275	400

Proizvodni plan 1: Sledenje potrebam, spremenljive zaposlitve

	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij	Skupaj
Proizvodne zahteve	1850	1425	1000	850	1150	1725	
Zahtevane ure dela	9250	7125	5000	4250	5750	8625	
Število delovnih dni v mesecu	22	19	21	21	22	20	
Število delovnih dni v mesecu na delavca	176	152	168	168	176	160	
Potrebni delavci	53	47	30	25	33	54	
Nove zaposlitve	0	0	0	0	8	21	
Strošek zaposlovanja	0 €	0 €	0 €	0 €	1.600 €	4.200 €	5.800 €
Odpuščanja	0	6	17	5	0	0	
Strošek odpuščanja	0 €	1.500 €	4.250 €	1.250 €	0 €	0 €	7.000 €
Strošek dela	37.000 €	28.500 €	20.000 €	17.000 €	23.000 €	34.500 €	160.000 €
							Skupaj strošek 172.800 €

Primer hevrističnega planiranja – plan 2



Planske zahteve

	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij
Začetna zaloga	400	450	375	275	225	275
Napoved povpraševanja	1.800	1.500	1.100	900	1.100	1.600
Varnostna zaloga (.25 x Napoved povpraševanja)	450	375	275	225	275	400
Proizvodne zahteve	1.850	1.425	1.000	850	1.150	1.725
Končna zaloga	450	375	275	225	275	400

Proizvodni plan 2: Stalne zaposlitve; Spremenljive zaloge in primanjkljaj izdelkov

	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij	Skupaj
Začetna zaloga	400	8	-276	-32	412	720	
Število delovnih dni v mesecu	22	19	21	21	22	20	
Razpoložljive delovne ure (Število delovnih dni v mesecu x 8 ur/dan x 40 delavcev)*	7040	6080	6720	6720	7040	6400	
Dejanska proizvodnja (Razpoložljive delovne ure / 5 ur/kos)	1408	1216	1344	1344	1408	1280	
Napoved povpraševanja	1800	1500	1100	900	1100	1600	
Končna zaloga (Začetna zaloga + Dejanska proizvodnja - Napoved povpraševanja)	8	-276	-32	412	720	400	
Strošek manjka (manjkajoči kosi x 5)	0 €	1.380 €	160 €	0 €	0 €	0 €	1.540 €
Varnostna zaloga	450	375	275	225	275	400	
Presežek kosov (Končna zaloga - Varnostna zaloga)	0	0	0	187	445	0	
Strošek zaloge (Presežek kosov x 1.50)	0 €	0 €	0 €	281 €	668 €	0 €	948 €
Strošek rednega dela	28.160 €	24.320 €	26.880 €	26.880 €	28.160 €	25.600 €	160.000 €

* (Vsota proizvodnih zahtev x 5 ur/kos) / (Vsota razpoložljivih delovnih ur x 8 ur/dan) = (8.000 x 5) / (125 x 8) = 40

Skupaj strošek 162.488 €

Primer hevrističnega planiranja – plan 3



Planske zahteve

	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij
Začetna zaloga	400	450	375	275	225	275
Napoved povpraševanja	1.800	1.500	1.100	900	1.100	1.600
Varnostna zaloga (.25 x Napoved povpraševanja)	450	375	275	225	275	400
Proizvodne zahteve	1.850	1.425	1.000	850	1.150	1.725
Končna zaloga	450	375	275	225	275	400

Proizvodni plan 3: Stalne nizke zaposlitve; podizvajanje

	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij	Skupaj
Proizvodne zahteve	1.850	1.425	1.000	850	1.150	1.725	
Število delovnih dni v mesecu	22	19	21	21	22	20	
Razpoložljive delovne ure (Število delovnih dni v mesecu x 8 ur/dan x 25 delavcev)*	4.400	3.800	4.200	4.200	4.400	4.000	
Dejanska proizvodnja (Razpoložljive delovne ure / 5 ur/kos)	880	760	840	840	880	800	
Kosi v podizvajanju (Proizvodne zahteve - Dejanska proizvodnja)	970	665	160	10	270	925	
Strošek podizvajanja (Kosi v podizvajanju x 20)	19.400 €	13.300 €	3.200 €	200 €	5.400 €	18.500 €	60.000 €
Strošek rednega dela	17.600 €	15.200 €	16.800 €	16.800 €	17.600 €	16.000 €	100.000 €

* Minimum proizvodnih zahtev. V konkretnem primeru je minimum aprila pri 850 kosih. Število potrebnih delavcev v aprilu je (850 x 5) / (21 x 8) = 25

Skupaj strošek 160.000 €

Primer hevrističnega planiranja – plan 4



Planske zahteve

	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij
Začetna zaloga	400	450	375	275	225	275
Napoved povpraševanja	1.800	1.500	1.100	900	1.100	1.600
Varnostna zaloga (.25 x Napoved povpraševanja)	450	375	275	225	275	400
Proizvodne zahteve	1.850	1.425	1.000	850	1.150	1.725
Končna zaloga	450	375	275	225	275	400

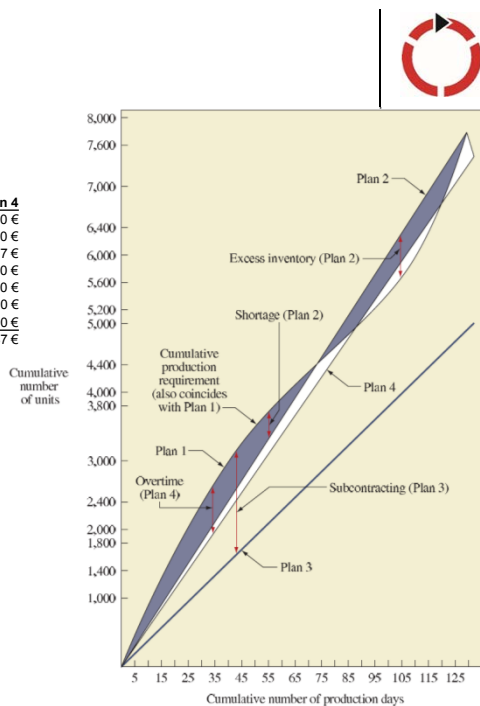
Proizvodni plan 4: Stalne zaposlitve; nadure

	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij	Skupaj
Začetna zaloga	400	0	0	177	553	791	
Število delovnih dni v mesecu	22	19	21	21	22	20	125
Razpoložljive delovne ure (Število delovnih dni v mesecu x 8 ur/dan x 38 delavcev)	6.688	5.776	6.384	6.384	6.688	6.080	
Proizvodnja v rednem času (Razpoložljive delovne ure / 5 ur/kos)	1.338	1.155	1.277	1.277	1.338	1.216	
Napoved povpraševanja	1.800	1.500	1.100	900	1.100	1.600	8000
Presežek izdelanih kosov brez nadur (Začetna zaloga + Proizvodnja v rednem času - Napoved povpraševanja)	-62	-345	177	553	791	407	
Izdelani kosi v nadurnem času	62	345	0	0	0	0	
Strošek nadur (Izdelani kosi v nadurnem času x 6/uro x 5 ur/kos)	1.860 €	10.350 €	0 €	0 €	0 €	0 €	12.210 €
Varnostna zaloga	450	375	275	225	275	400	
Presežek kosov (Presežek izdelanih kosov brez nadur - Varnostna zaloga)	0	0	0	328	516	7	
Strošek zaloge (Presežek kosov x 1.50)	0 €	0 €	0 €	493 €	774 €	10 €	1.277 €
Strošek rednega dela	26.752 €	23.104 €	25.536 €	25.536 €	26.752 €	24.320 €	152.000 €
							Skupaj strošek 165.487 €

Primerjava planov

Primerjava planov

strošek	Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 4
Zaposlovanje	5.800 €	0 €	0 €	0 €
odpuščanje	7.000 €	0 €	0 €	0 €
Presežna zaloga	0 €	948 €	0 €	1.277 €
Primanjkijaj	0 €	1.540 €	0 €	0 €
Podizvajanje nadure	0 €	0 €	60.000 €	0 €
Redno delo	160.000 €	160.000 €	100.000 €	152.000 €
Skupaj	172.800 €	162.488 €	160.000 €	165.487 €



Planiranje z optimizacijo



- Več metod
 - linearno programiranje
 - minimizira strošek dela, nadur, zalog ipd. ob pogoju izpolnitve planiranega povpraševanja
 - linearna odločitvena pravila (LDR – linear decision rule)
 - s pomočjo kvadratičnih kriterijskih funkcij se izpeljejo pravila za določanje obsega zaposlitev in obsega proizvodnje
 - upravljalski koeficienti
 - z regresijsko analizo preteklih upravljalskih odločitev se določijo bodoče potrebe po zmogljivostih
 - iskalni algoritmi
 - algoritmično preiskovanje prostora odločitvenih spremenljivk

Planiranje z linearnim programiranjem



- Izenačuje povpraševanje in proizvodnjo po obdobjih
- Rešuje problem alokacije zmogljivosti za izpolnjevanje zahtev (povpraševanja)
 - zmogljivosti so vsota komponent
 - redno delo
 - nadure
 - podizvajanje
 - ...
 - določeni so stroški posameznih komponent
 - določeni so tudi stroški prenašanja zaloge v prihodnja obdobja
- Podpora v sistemih ERP (SAP, Oracle)



Primer: Izhodiščni podatki

- Zahteve, stroški in zmogljivosti po obdobjih

PRODUCTION PERIODS (SOURCES)	SALES PERIODS				ENDING INVENTORY	UNUSED CAPACITY	TOTAL CAPACITY
	1	2	3	4			
Beginning inventory	0	5	10	15	20	0	50
1	Regular time	50	55	60	65	70	700
	Overtime	75	80	85	90	95	350
2	Regular time	X	50	55	60	65	700
	Overtime	X	75	80	85	90	250
3	Regular time	X	X	50	55	60	700
	Overtime	X	X	75	80	85	250
4	Regular time	X	X	X	50	55	700
	Overtime	X	X	X	75	80	250
Total requirements	800	800	800	800	500	250	3,950

stroški (pointing to 'UNUSED CAPACITY')

zmogljivosti (pointing to 'TOTAL CAPACITY')

zahteve (pointing to 'Total requirements')

ne dopuščamo proizvodnje za nazaj (pointing to 'X' in sales periods)

vsak strošek narašča s časom skladiščenja proizvedenih izdelkov (pointing to 'ENDING INVENTORY')

Primer: Reševanje

Obdobja	Stroški na enoto	Prodaja				Končna zaloga	Prosta zmogljivost	Zmogljivost
		1	2	3	4			
	Začetna zaloga	0	5	10	15	20	0	50
1	Redno	50	55	60	65	70	0	700
	Nadure	75	80	85	90	95	0	350
	Redno	50	55	60	65	70	0	700
2	Nadure	75	80	85	90	95	0	250
	Redno	50	55	60	65	70	0	700
	Nadure	75	80	85	90	95	0	250
3	Redno	50	55	60	65	70	0	700
	Nadure	75	80	85	90	95	0	250
	Redno	50	55	60	65	70	0	700
4	Nadure	75	80	85	90	95	0	250
	Redno	50	55	60	65	70	0	700
	Nadure	75	80	85	90	95	0	250
	Potrebe	800	800	800	800	500	250	3950

vhodni podatki (pointing to 'Zmogljivost' column)

iskani koeficienti (pointing to 'Stroški na enoto' column)

Rešitev (pointing to 'Prodaja' columns)

Proizvodnja (pointing to 'Proizvodnja' column)

omejitev: <= (pointing to 'Zmogljivost' column)

omejitev: = (pointing to 'Proizvodnja' column)

vsota stolpcev (brez prostih zmogljivosti) (pointing to 'Proizvodnja' column)

vsota vrstic (brez upoštevanja vrstic pod diagonalo 1,2,3,4) (pointing to 'Potrebe' row)



Primer: Reševanje



Obdobja	Stroški				Končna zaloga	Prosta zmogljivost	Stroški	
	Začetna zaloga	1	2	3				4
	Začetna zaloga						0 €	
1	Redno						0 €	
	Nadure						0 €	
2	Redno						0 €	
	Nadure						0 €	
3	Redno						0 €	
	Nadure						0 €	
4	Redno						0 €	
	Nadure						0 €	
		Skupni stroški						0 €

pomožna tabela za izračun stroškov:
- v poljih so zmnožki istoležnih elementov v prejšnjih dveh tabelah

vsota elementov v tabeli stroškov = vrednost kriterijske funkcije

Primer: Rezultat



Obdobja	Rešitev	Prodaja				Končna zaloga	Prosta zmogljivost	Proizvodnja
		1	2	3	4			
	Začetna zaloga	50	0	0	0	0	0	50
1	Redno	700	0	0	0	0	0	700
	Nadure	50	0	0	0	50	250	100
2	Redno	0	700	0	0	0	0	700
	Nadure	0	100	0	0	150	0	250
3	Redno	0	0	700	0	0	0	700
	Nadure	0	0	100	0	150	0	250
4	Redno	0	0	0	700	0	0	700
	Nadure	0	0	0	100	150	0	250
		800	800	800	800	500	250	3700

v 1. obdobju planiramo 100 izdelkov z nadurnim delom, 50 od teh bo prodanih takoj, 50 jih gre v končno zalogo

Obdobja	Stroški	Prodaja				Končna zaloga	Prosta zmogljivost	Stroški
		1	2	3	4			
	Začetna zaloga	0	0	0	0	0	0	0 €
1	Redno	35000	0	0	0	0	0	35.000 €
	Nadure	3750	0	0	0	4750	0	8.500 €
2	Redno	0	35000	0	0	0	0	35.000 €
	Nadure	0	7500	0	0	13500	0	21.000 €
3	Redno	0	0	35000	0	0	0	35.000 €
	Nadure	0	0	7500	0	12750	0	20.250 €
4	Redno	0	0	0	35000	0	0	35.000 €
	Nadure	0	0	0	7500	12000	0	19.500 €
		Skupni stroški						209.250 €

strošek 50 izdelkov za končno zalogo je višji, ker jih je potrebno skladiščiti

Razširitve



- Isti način reševanja lahko uporabimo tudi pri razširjenih podatkih:
 - več izdelkov
 - dodamo ustrezno število stolpcev v vsakem obdobju
 - podizvajanje
 - za vsako obdobje dodamo vrstico z ustrezno definiranim stroškom (podobno kot pri nadurah)
 - dopuščanje zamujenih nalogov
 - vključimo tudi polja pod diagonalo
 - s tem npr. dopustimo, da primanjkljaj proizvodnje v 1. obdobju nadomestimo s presežkom proizvodnje v 2.
 - lahko dodamo tudi vrstice s stroški zamude

Osnovno planiranje proizvodnje



- Sestavljanje osnovnega plana proizvodnje (Master production schedule – MPS)
 - formalizira proizvodni program – naročila proizvodnji
 - prevede plan proizvodnega programa v specifične zahteve glede končnih izdelkov
 - kratek do srednji horizont planiranja
- Zahteve glede končnih izdelkov so izhodišče za
 - določanje potreb po materialu – Material Requirements Planning (MRP)
 - določanje potreb po kapacitetah (virih) – Capacity Requirements Planning (CRP)
 - določanje rokov dobave izdelkov

Osnovno planiranje proizvodnje



- Glavni vhodi
 - plan proizvodnega programa
 - napoved povpraševanja, npr. končnih izdelkov in rezervnih delov
 - naročila, vključno z zalogo za skladiščenje in notranje potrebe
 - razpoložljiva zaloga iz prejšnjega intervala
- Pomen proizvodne strategije
 - izdelava na zalogo
 - planiranje temelji predvsem na napovedi povpraševanja
 - izdelava po naročilu
 - planiranje predvsem na osnovi naročil
 - pomen napovedi za izdelke z dolgimi dobavnimi roki

Horizont osnovnega planiranja proizvodnje



- Odvisen od tipa izdelka, obsega proizvodnje, dobavnih rokov komponent
 - tedni, meseci
 - dovolj dolgo obdobje glede na dobavne roke (čas izdelave)
- Fiksni in prilagodljivi del osnovnega plana proizvodnje
 - primer

Izdelek	Tedni																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Miza R38	50		50	50		40			40	40		40	40			40		
Miza R30		80		20	60		80	80			60				80			
Stol L7	20		20		10	20			20	20	10	20	20	20				
	Fiksno					Prilagodljivo (pripravljalno obdobje)								Odrpto (orientacijsko)				
	samo nujne spremembe					rezervirane kapacitete in naročen material								odprto za dopolnitve in spremembe				

Horizont osnovnega planiranja proizvodnje

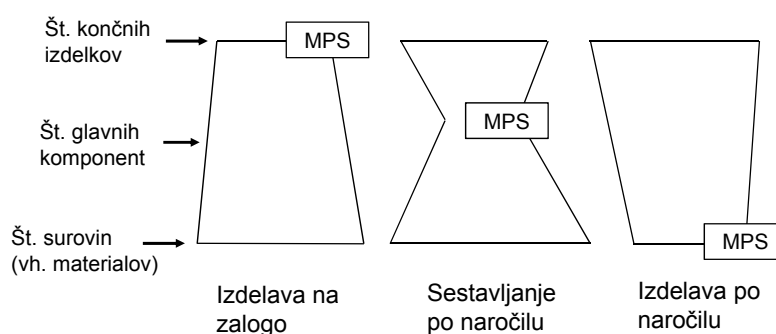


- Časovne meje
 - meja fiksnega obdobja (demand time fence – DTF)
 - časovna meja fiksnih naročil
 - določa mejo fiksnega dela plana, v katerem praviloma ni sprememb
 - spremembe so dopustne le s soglasjem vodstva
 - meja pripravljalnega obdobja (planning time fence – PTF)
 - časovna meja predvidenih naročil
 - določa mejo fleksibilnega dela plana, v katerem so spremembe možne, a le s preudarkom
 - nad to mejo se spremembe vnašajo avtomatsko, če se spremenijo podatki

Aktivnosti osnovnega planiranja proizvodnje



- Fokus odvisen od proizvodne strategije



preseki v vodoravni smeri nakazuje število kosov

Postopki osnovnega planiranja proizvodnje



- Celovito upoštevanje informacij o napovedih, dejanskih naročilih in zalogah preko celotnega horizonta planiranja je težavno
 - pomen računalniške podpore
 - planska orodja – poročila o kakovosti plana, grafični prikazi in analize
 - skupna osnovna logika
 - zajem informacij o napovedih in naročilih
 - ugotavljanje ali stanje zaloge zadošča napovedim ali naročilom – upošteva se tisti podatek, ki je večji
 - planiranje proizvodnje v vnaprej določenih osnovnih količinah (lotih), če zaloge ne zadošča

Primer osnovnega planiranja proizvodnje



Podatki									
Nabavni čas: 0	Velikost lota: 25			Meja fiksnega obdobja: 0					
Začetna zaloge: 30	Varnostna zaloge: 0			Meja pripravljalnega obdobja: 6					
Plan									
Obdobje	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Napoved	20	20	20	20	20	20	20		
Naročila (prejeta)									
Planirano stanje zaloge	10	15	20	0	5	10			
Osnovni plan proizvodnje		25	25		25	25			

$$10 - 20 = -10 < 0,$$

zato planiramo nov lot

$$15 = 10 - 20 + 25$$

robni pogoji (omejitve) v planu niso neposredno upoštevani

Izdelava po naročilu in razpoložljiva zaloga



- Razpoložljiva zaloga (available to promise - ATP)
 - planirano stanje zaloge, ki še ni dodeljena obstoječim naročilom
 - sledi neposredno iz osnovnega plana proizvodnje
 - določa se za obdobja med planiranimi loti
 - razlika med planiranim obsegom proizvodnje skupaj z obstoječo zalogo in skupno količino naročil v tem obdobju
- Pomembna informacija za prodajno službo
 - določanje realističnih rokov dobave izdelkov za nova naročila

Primer



Podatki								
Začetna zaloga: 45	Velikost lota: 40				Meja pripravljalnega obdobja: 8			
Plan								
Obdobje	1	2	3	4	5	6	7	8
Napoved	20	20	30	20	20	13	15	20
Naročila (prejeta)	22	9	4	15	5			
Planirano stanje zaloge	23	3	13	33	13	0	25	5
Osnovni plan proizvodnje			40	40			40	
Razpoložljiva zaloga (ATP)	14		36	20			40	

2.4 Upravljanje zalog



- Inventory management
- Zaloga
 - količina blaga, odložena (uskladiščena) na nekem mestu (skladišču) v podjetju
 - zaloge materialov na vhodu v transformacijski proces
 - medfazne zaloge nedokončane proizvodnje
 - zaloge (končnih) izdelkov na izhodu iz procesa
 - tudi
 - zaloge orodij in priprav
 - zaloge pomožnih in režijskih materialov
 - zaloge rezervnih delov za delovna sredstva
 - zaloge rezervnih delov za izdelke

Sistemi za upravljanje zalog



- Za mnoga podjetja so zaloge največji delež premoženja v bilanci
 - v splošnem je smiselno zaloge minimizirati
 - ideja vitke proizvodnje (Lean manufacturing)
- Modeli zalog oz. sistemi zalog
 - pomoč pri zniževanju zalog
 - osnova JIT (proizvodnja po načelu „Just in Time“)
- Inventory management systems
 - sklop pravil in mehanizmov odločanja, ki spremlja nivo zalog in določa, katere so primerne količine zalog, kdaj je smiselno dopolniti zalogo in kako velika naj bodo naročila

Namen zalog

1. Zagotavljanje neodvisnosti operacij
2. Absorbicija nihanj v povpraševanju po izdelkih
- 3*. Omogočanje večje fleksibilnosti v planiranju proizvodnje
 - na račun podaljšanja dobavnih rokov
- 4*. Zaščita pred nihanji v dobavnih rokih surovin
- 5*. Izkoriščanje prednosti ekonomičnih količin naročanja
 - v splošnem je pri večjem naročilu manjši strošek

*potrebno je upoštevati, da je zaloga tudi strošek



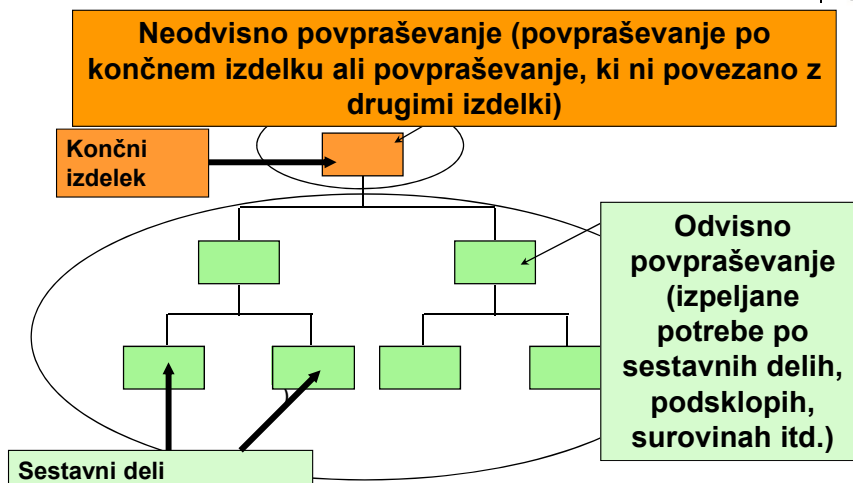
Stroški povezani s količino zalog

- Stroški držanja (ali prevažanja) zaloge
 - skladiščenje, rokovanje, zavarovanje, odtujitve materiala, poškodovanje, zastarelost, razvrednotenje, davki ...
 - težnja k nizki zalogi in pogostemu dopolnjevanju zaloge
- Stroški prenavstavitve
 - če jih uspemo zmanjšati, postanejo upravičene izdelave manjših serij → manjša zaloga
- Stroški naročanja
 - stroški administrativnega dela
- Stroški nezaloženosti (pomanjkanja zaloge)
 - zamujena in odpovedana naročila ...

Pomemben je skupni učinek vseh kategorij stroškov



Neodvisno in odvisno povpraševanje



Sistemi zaloge



- Enkratno naročanje (Single-Period Inventory Model)
 - enkratna odločitev o nabavi (npr.: dnevna prodaja časopisov)
 - iskanje ravnotežja med stroški prevelike in premajhne zaloge
- Periodično naročanje (Multi-Period Inventory Models)
 - naročanje glede na potrebe (Fixed-Order Quantity Models)
 - dogodkovno proženo (npr. ko zmanjka zaloge)
 - naročanje v fiksnih časovnih intervalih (Fixed-Time Period Models)
 - časovno proženo (npr. mesečne nabave)

Enkratno naročanje



- Model narekuje, da moramo povečevati zalogo, dokler je verjetnost, da ne prodamo zadnje enote, manjša od določenega razmerja

$$P \leq \frac{C_u}{C_o + C_u}$$

- pri tem je:
 - C_o – mejni strošek precenjenega povpraševanja (mejni strošek – sprememba skupnih stroškov ob spremembi količine za 1)
 - C_u – mejni strošek podcenjegega povpraševanja
 - P – verjetnost, da zadnje enote ne bomo prodali

Primer enkratnega naročanja



- Na nogometni tekmi prodajamo priložnostne majice. Po izkušnjah prodamo v povprečju 2400 kosov s standardno deviacijo $\sigma = 350$. Pri vsaki prodani majici zaslužimo 10 €, pri vsaki neprodani pa izgubimo 5 €. Koliko majic naj naročimo?
- Rešitev:
 - $C_u = 10$ €, $C_o = 5$ €
 $P \leq 10 / (5 + 10) = 0.667$
 - iz kumulativne verjetnosti normalne porazdelitve razberemo, da 0.667 ustreza $+0.432 \sigma$
 - sklep: potrebujemo $2400 + 0.432 * 350 = 2551$ majic

Uporaba enkratnega naročanja



- Pri različnih enkratnih naročilih, za katera pa poznamo robne pogoje
 - oddajanje hotelskih sob, prodaja letalskih prevozov ...
- Primer: Hotel
 - statistika kaže, da imamo pri polni rezerviranosti sob v povprečju 5 odpovedi v zadnjem hipu s $\sigma=3$
 - povprečna cena sobe je 80 €, strošek premestitve je 200 €
 - Za koliko sob lahko pri rezervacijah prekoračimo kapaciteto?
 - rešitev: $P \leq 80/(200 + 80) = 0.2857$
 $P=0.2857 \Rightarrow z=-0.56599$; (MS Excel: NORMSINV(0.2857))
 $z*\sigma = -1.69797 \approx -2$
 kapaciteto lahko prekoračimo za 2 manj, kot je povprečje odpovedi, torej za 3 sobe

Periodično naročanje



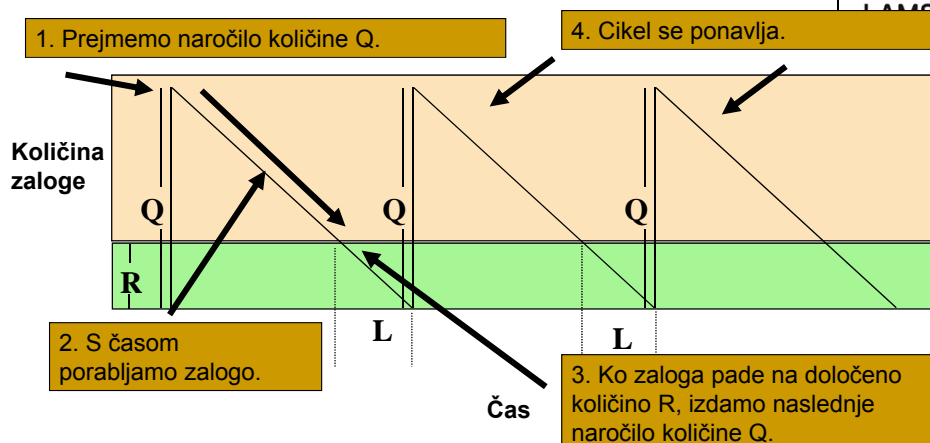
- Značilnosti
 - naročanje v fiksnih časovnih intervalih v splošnem vodi k večjim zalogam
 - potrebujemo varnostno rezervo, da se izognemo izgubi zaloge pred potekom intervala
 - naročanje glede na potrebe je primernejše za drage artikle, ker je povprečna zaloga nižja
 - naročanje glede na potrebe je primernejše za pomembne dele, npr. kritične rezervne dele, ker pri tem natančneje in sprotno spremljamo zalogo in se hitreje odzovemo na pomanjkanje
 - naročanje glede na potrebe je zahtevnejše z operativnega vidika, potrebno je sprotno beleženje sprememb

Periodično naročanje – glede na potrebe (stalna količina)



- Naročanje glede na potrebe (Fixed-Order Quantity Model, Q-Model) temelji na stalni količini naročanja
- Predpostavke pri določanju optimalne količine naročanja
 - potrebe po izdelku so stalne in konstantne preko obravnavanega obdobja
 - dobavni čas (od naročila do dobave) je konstanten
 - cena na enoto je konstantna
 - strošek zaloge temelji na povprečni zalogi
 - stroški naročanja ali prenavstavitvev so konstantni
 - izpolnimo potrebe v popolnosti (ne dopuščamo zamud pri dobavi)

Osnove naročanja glede na potrebe



R = Točka ponovnega naročanja

Q = ekonomska količina naročila (Economic order quantity – EOQ)

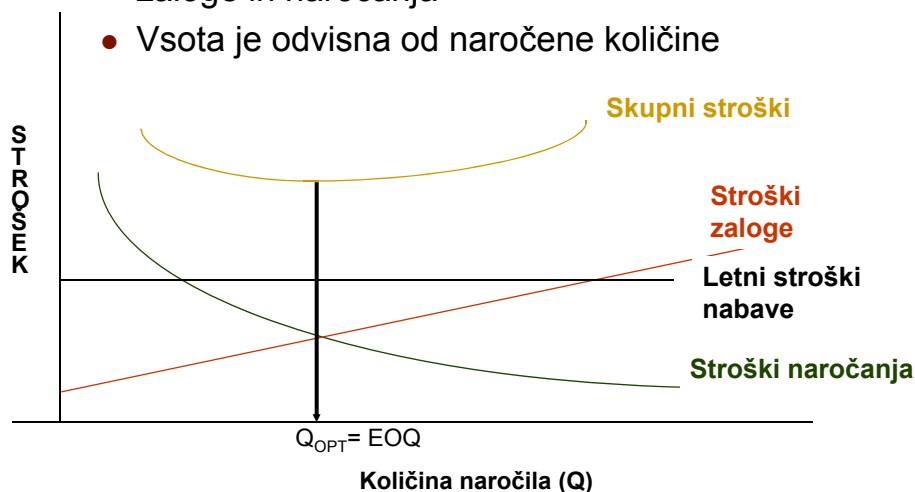
L = Dobavni rok

Cilj – minimizacija stroškov



LMSV
LAMS

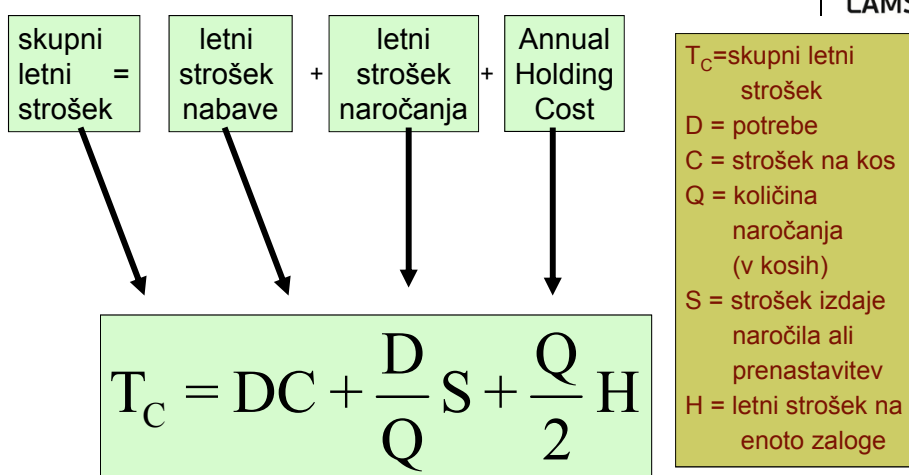
- Skupni stroški so vsota stroškov nabave, zaloge in naročanja
- Vsota je odvisna od naročene količine



Osnovna enačba modela



LMSV
LAMS



Izpeljava EOQ



- S pomočjo odvajanja poiščemo minimum glede na Q, dobimo Q_{opt}

$$Q_{OPT} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(\text{letne potrebe})(\text{strošek narocil})}{\text{letni strošek enote zaloge}}}$$

Določiti moramo tudi R (točko ponovnega naročanja)

Točka ponovnega naročanja, $TR = \bar{d} \cdot L$

\bar{d} = povprečna dnevna potreba
 L = dobavni čas (konstanta)

Primer EOQ



- Iščemo EOQ in R za podane podatke
 - letne potrebe = 1000 kosov
 - upoštevano število dni = 365
 - strošek izdaje naročila = 10
 - letni stroški zaloge na kos = 2.50
 - dobavni rok = 7 dni
 - strošek na kos = 15

Primer EOQ - rešitev



$$Q_{\text{OPT}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(1,000)(10)}{2.50}} = 89.443 \text{ units or } \mathbf{90 \text{ units}}$$

$$\bar{d} = \frac{1,000 \text{ units / year}}{365 \text{ days / year}} = 2.74 \text{ units / day}$$

$$\text{Reorder point, } R = \bar{d} L = 2.74 \text{ units / day (7 days)} = 19.18 \text{ or } \mathbf{20 \text{ units}}$$

Optimalna količina naročanja je 90 kosov. Spremljamo porabljanje zaloge, in ko zaloga pade na 20 kosov, ponovno naročimo 90 kosov.

Primer EOQ



- Iščemo EOQ in R za podane podatke
 - letne potrebe = 10000 kosov
 - upoštevano število dni = 365
 - strošek naročila = 10
 - letni stroški zaloge na kos = 10 % stroška na kos
 - dobavni rok = 10 dni
 - strošek na kos = 15

Primer EOQ - rešitev



$$Q_{OPT} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(10,000)(10)}{1.50}} = 365.148 \text{ units, or } \mathbf{366 \text{ units}}$$

$$\bar{d} = \frac{10,000 \text{ units / year}}{365 \text{ days / year}} = 27.397 \text{ units / day}$$

$$R = \bar{d} L = 27.397 \text{ units / day (10 days)} = 273.97 \text{ or } \mathbf{274 \text{ units}}$$

Naročimo 366 kosov. Ko zaloga pade na 274 kosov, izdamo naslednje naročilo 366 kosov.

Periodično naročanje s fiksnim intervalom in varnostno zalogo



- naročanje v fiksnih časovnih intervalih (Fixed-Time Period Model, P-Model)

$$q = \text{Povprečna potreba} + \text{Varnostna zaloga} - \text{Razpoložljiva zaloga}$$

$$q = \bar{d}(T + L) + Z \sigma_{T+L} - I$$

Where :

q = quantity to be ordered

T = the number of days between reviews

L = lead time in days

\bar{d} = forecast average daily demand

z = the number of standard deviations for a specified service probability

σ_{T+L} = standard deviation of demand over the review and lead time

I = current inventory level (includes items on order)

Standardna deviacija potreb v intervalu



- Standardna deviacija zaporedja naključnih dogodkov je koren vsote varianc naključnih dogodkov

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{\sum_{i=1}^{T+L} (\sigma_{d_i})^2}$$

Potrebe po dnevih so medsebojno neodvisne in σ_d je konstantna,

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{(T+L)\sigma_d^2}$$

Primer



- Koliko naročiti pri spodnjih podatkih?
 - povprečna dnevna potreba je 20 kosov
 - interval naročanja je 30 dni
 - dobavni rok je 10 dni
 - želimo zadostiti 96 % zahtev za izdelke na zalogi
 - stanje zaloge na začetku intervala je 200 kosov
 - dnevna standardna deviacija potreb o izdelkih je 4 kose

Primer: Rešitev



$$\sigma_{T+L} = \sqrt{(T+L)\sigma_d^2} = \sqrt{(30+10)(4)^2} = 25.298$$

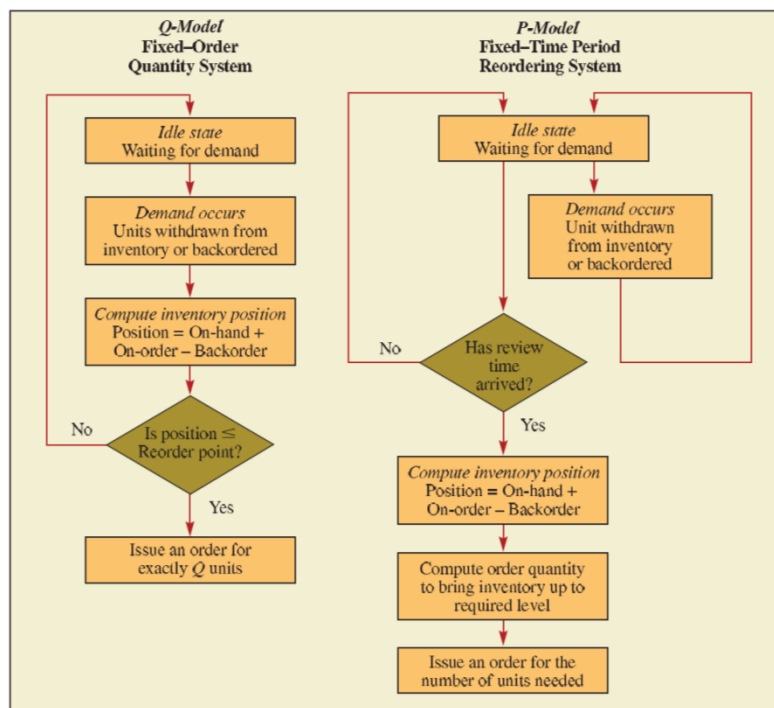
Iz kumulativne verjetnosti normalne porazdelitve razberemo, da 0.96 ustreza $z = 1.75$

$$q = \bar{d}(T+L) + Z \sigma_{T+L} - I$$

$$q = 20(30+10) + (1.75)(25.298) - 200$$

$$q = 800 + 44.272 - 200 = 644.272, \text{ ali } \mathbf{645 \text{ kosov}}$$

Zadostili bomo 96 % potreb, če v tem intervalu naročanja naročimo 645 kosov



2.5 Planiranje materialnih potreb



- Prehod od proizvodnje na zalogo k proizvodnji po naročilu
 - razvoj informacijskih sistemov za podporo proizvodnje je bil vezan na koncept proizvodnje na zalogo (push strategy)
 - MRP, MRP II, ERP
 - negotovost napovedi, na katerih temelji planiranje
 - težnja k prehodu na proizvodnjo po naročilu (pull strategy, JIT – Just in Time)
 - ostaja problem učinkovite koordinacije nabave, izdelave in dobave
- „Flow manufacturing“
 - kombinacija planskih zmogljivosti sistemov MRP (ERP) in odzivnosti sistemov JIT

Sistemi MRP



- MRP – Material requirements planning
 - sredstvo za določanje števila delov, komponent in materialov, potrebnih za izdelavo vsakega planiranega končnega izdelka
 - tudi določanje časovnega urnika, ki vsebuje informacije o tem, kdaj je potrebno posamezen del, komponento ali material naročiti ali izdelati
- Sistem MRP dejansko tvori ustrezna programska oprema
 - prvotni MRP – samo planiranje materiala
 - kasneje – tudi planiranje izrabe virov (MRP II)

Sistemi MRP



- Že pred pojavom MRP je večina podjetij uporabljala računalniško podprto spremljanje zalog
- Spremljanje zalog ni bilo povezano s planiranjem proizvodnje
- Sistem MRP ustvari to povezavo
 - dobavljanje pravega materiala na pravo mesto ob pravem času
 - dobavo materiala je potrebno pospešiti, če bi pomanjkanje zakasnilo izvedbo plana proizvodnje
 - če pride do zamika plana (preložitve rokov), pa je potrebno ustrezno zakasniti tudi dobavo materiala

Sistemi MRP



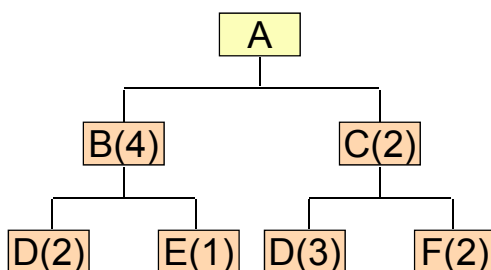
- MRP temelji na odvisnem povpraševanju
 - potrebe se izračunavajo iz planiranega števila končnih izdelkov
 - izračun je več-nivojski
 - končne zahteve se koncentrirajo po določenih sestavnih delih/elementih in niso enakomerne
- Uspešnost MRP
 - najboljši rezultati v proizvodnji, kjer se proizvajajo izdelki v šaržah na isti proizvodni opremi
 - MRP ni primeren za proizvodnjo kompleksnih izdelkov v majhnem številu

Primer osnovne logike MRP



- Pri dani kosovnici izdelka "A", znanih dobavnih rokih in podatkih o potrebah po izdelkih želimo določiti potrebe po materialu (po komponentah) in kdaj jih bomo potrebovali

Kosovnica izdelka A (v obliki drevesa)



Dobavni roki	
A	1 dan
B	2 dni
C	1 dan
D	3 dni
E	4 dni
F	1 dan

Skupne potrebe po izdelkih	
Dan 10	50 A
Dan 8	20 B (Rezervni deli)
Dan 6	15 D (Rezervni deli)

Primer osnovne logike MRP



- Za začetek zamaknemo planirano število enot "A" nazaj, s čimer upoštevamo čas izdelave oz. dobavni rok (DR)

Dan:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Potreba										50
	Izdaja naloga									50	

DR = 1 dan



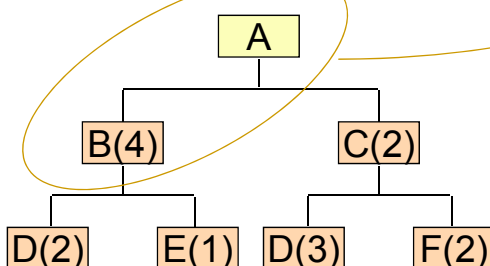
Primer osnovne logike MRP

Dan:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Potreba										50
	Izdaja naloga									50	
B	Potreba								20	200	
	Izdaja naloga						20	200			

DR = 2

Rezervni deli

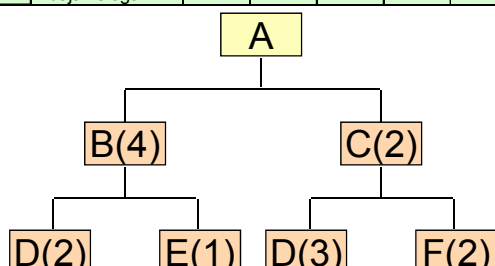
$4 \times 50 = 200$



Primer osnovne logike MRP



Dan:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Potreba										50
	Izdaja naloga									50	
B	Potreba								20	200	
	Izdaja naloga						20	200			
C	Potreba									100	
	Izdaja naloga								100		
D	Potreba						55	400	300		
	Izdaja naloga			55	400	300					
E	Potreba						20	200			
	Izdaja naloga		20	200							
F	Potreba								200		
	Izdaja naloga						200				



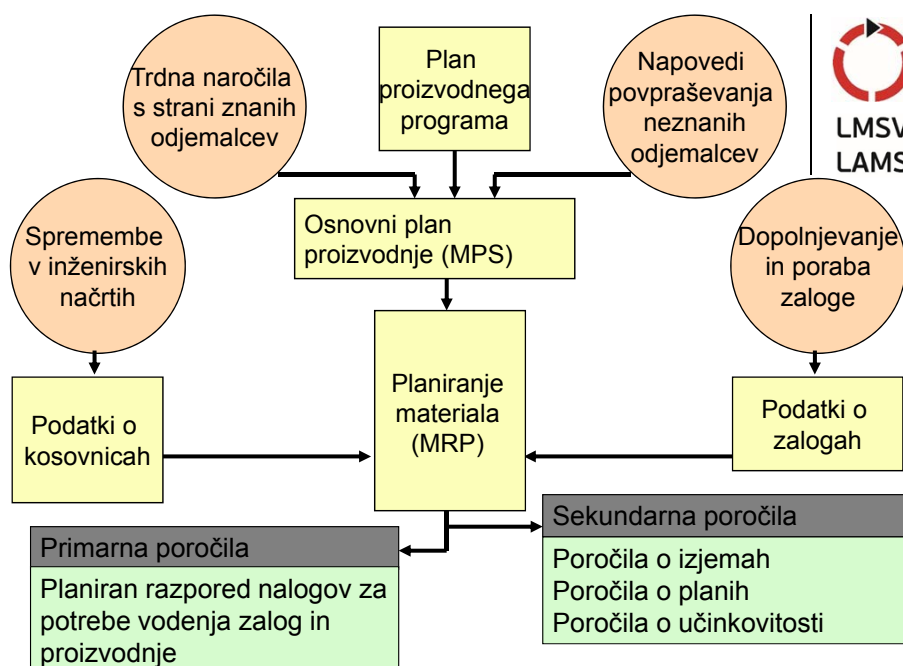
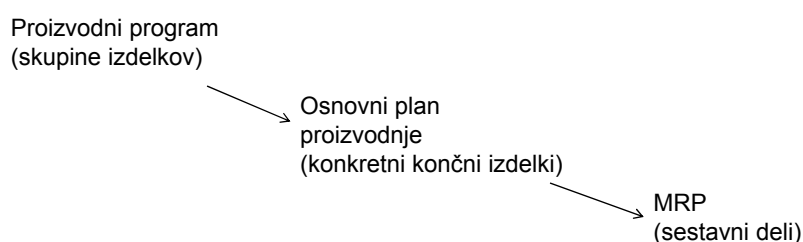
Del D: Dan 6

40 + 15 kosov
za rezervne dele

Povezava z osnovnim planom proizvodnje



- Glede na osnovni plan proizvodnje sistem MRP
 - izdelava urnike, v katerih so razvidni specifični deli in materiali potrebni za izdelavo končnih izdelkov
 - določi točne potrebne količine
 - določi datume, ko je potrebno izdati naročila za material ob upoštevanju dobavnih rokov





Opisi izdelkov – kosovnice

- Bill of Materials (BOM) – celovit opis izdelka
 - tudi „product structure file“ ali „product tree“
- Vsako proizvodno podjetje vzdržuje podatkovno bazo z opisi izdelkov
 - materiali
 - sestavni deli
 - komponente
 - proizvodni postopek
- Za poenostavljanje planiranja se uporablja tudi
 - modularni BOM – proizvodnja podslobov, ki so uporabni v več izdelkih
 - super BOM – lahko definira delne pripadnosti



Podatki o zalogi

- Vsak izdelek na zalogi se obravnava posebej
 - status glede na intervale (“time buckets”)
- „Pegging“
 - identifikacija nadrejenih izdelkov, ki so povzročili potrebo

Item master data segment	Part no.	Description	Lead time	Std. cost	Safety stock						
	Order quantity	Setup	Cycle	Last year's usage	Class						
	Scrap allowance	Cutting data	Pointers	Etc.							
Inventory status segment	Allocated	Control balance	Period				Totals				
	Gross requirements		1	2	3	4	5	6	7	8	
	Scheduled receipts										
	On hand										
	Planned order releases										
Subsidiary data segment	Order details										
	Pending action										
	Comments										
Keeping track											

Primarna poročila MRP



- Planirana naročila, ki morajo biti izdana v prihodnosti
- Obvestila za proženje (izdajo) planiranih naročil
- Spremembe v rokih odprtih naročil zaradi prerazporeditev (rescheduling)
- Preklici ali zadržanja odprtih naročil zaradi preklicev naročil v osnovnem planu proizvodnje
- Podatki o statusu zaloge

Sekundarna poročila MRP



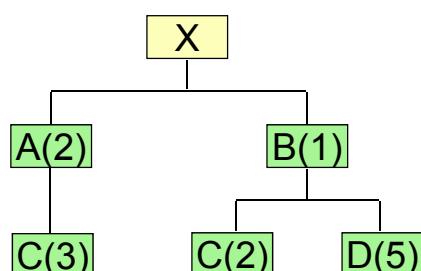
- Planska poročila, npr. napovedi potreb po dopolnjevanju zalog
- Poročila o izvedbi planov
 - ujemanje dejanskega in planiranega dela in stroškov
- Izredna poročila za opozarjanje na težave
 - npr. pozna ali zamujena naročila



Dodatni pojmi MRP

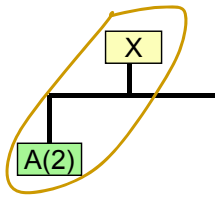
- Bruto potrebe (Gross Requirements)
 - celotna količina, ki vključuje zunanje povpraševanje in notranje proizvodne potrebe
- Planirane dobave (Scheduled receipts)
 - že naročeno in predvidoma dobavljeno do obdobja opazovanja
- Planirana razpoložljiva zaloga (Projected available balance)
- Neto potrebe (Net requirements)
- Planiran prejem naročila (Planned order receipt)
- Planirana izdaja naročila (Planned order release)

Primer MRP



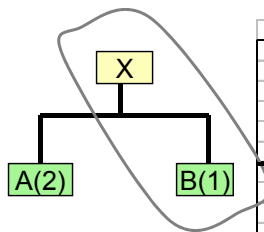
Item	On-Hand	Lead Time (Weeks)
X	50	2
A	75	3
B	25	1
C	10	2
D	20	2

Potrebe so 95 enot (80 fiksnih naročil in 15 napovedanih) izdelka X v tednu 10



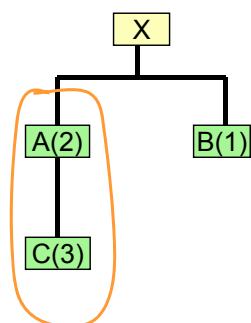
Potrebujemo 2 A za vsak X

		Day: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10										
X	Gross requirements											95
LT=2	Scheduled receipts											
	Proj. avail. balance	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
On-hand	Net requirements											45
50	Planned order receipt											45
	Planner order release								45			
A	Gross requirements										90	
LT=3	Scheduled receipts											
	Proj. avail. balance	75	75	75	75	75	75	75	75			
On-hand	Net requirements										15	
	Planned order receipt										15	
75	Planner order release					15						
B	Gross requirements									45		
LT=1	Scheduled receipts											
	Proj. avail. balance	25	25	25	25	25	25	25	25			
On-hand	Net requirements										20	
	Planned order receipt										20	
25	Planner order release								20			
C	Gross requirements					45		40				
LT=2	Scheduled receipts											
	Proj. avail. balance	10	10	10	10	10						
On-hand	Net requirements						35	40				
	Planned order receipt						35	40				
10	Planner order release				35	40						
D	Gross requirements								100			
LT=2	Scheduled receipts											
	Proj. avail. balance	20	20	20	20	20	20	20				
On-hand	Net requirements									80		
	Planned order receipt									80		
20	Planner order release					80						



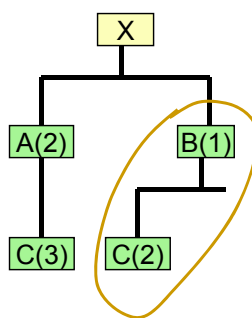
Potrebujemo 1 B za vsak X

		Day: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10										
X	Gross requirements											95
LT=2	Scheduled receipts											
	Proj. avail. balance	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
On-hand	Net requirements											45
50	Planned order receipt											45
	Planner order release									45		
A	Gross requirements										90	
LT=3	Scheduled receipts											
	Proj. avail. balance	75	75	75	75	75	75	75	75			
On-hand	Net requirements										15	
	Planned order receipt										15	
75	Planner order release					15						
B	Gross requirements									45		
LT=1	Scheduled receipts											
	Proj. avail. balance	25	25	25	25	25	25	25	25			
On-hand	Net requirements										20	
	Planned order receipt										20	
25	Planner order release									20		
C	Gross requirements					45		40				
LT=2	Scheduled receipts											
	Proj. avail. balance	10	10	10	10	10						
On-hand	Net requirements						35	40				
	Planned order receipt						35	40				
10	Planner order release				35	40						
D	Gross requirements								100			
LT=2	Scheduled receipts											
	Proj. avail. balance	20	20	20	20	20	20	20				
On-hand	Net requirements									80		
	Planned order receipt									80		
20	Planner order release					80						



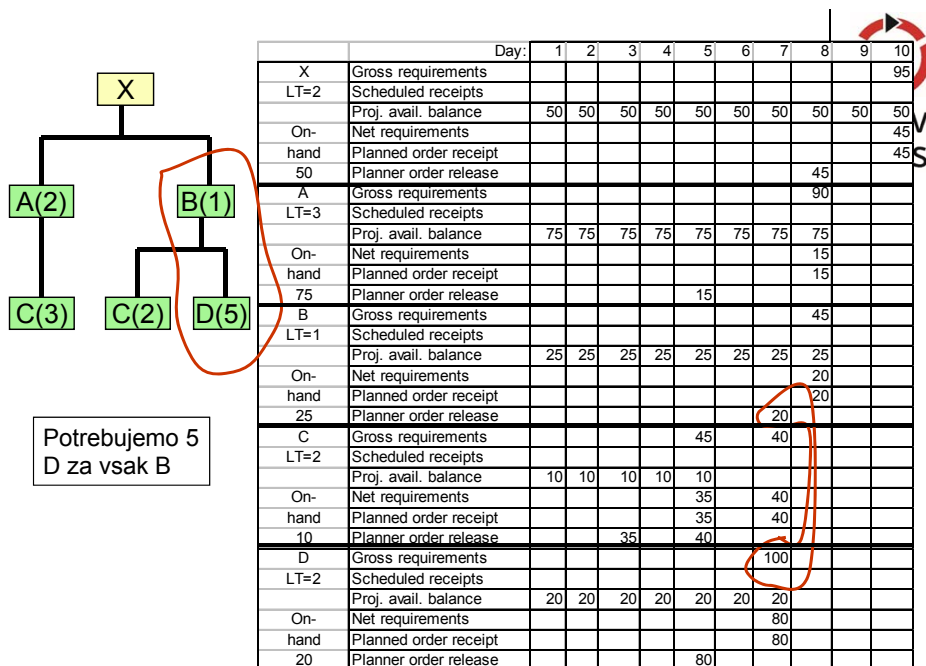
Potrebujemo 3 C za vsak A

		Day: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10												
X	Gross requirements													95
LT=2	Scheduled receipts													
	Proj. avail. balance	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
On-hand	Net requirements													45
50	Planned order receipt													45
	Planner order release											45		
A	Gross requirements													90
LT=3	Scheduled receipts													
	Proj. avail. balance	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	
On-hand	Net requirements													15
75	Planned order receipt													15
	Planner order release											15		
B	Gross requirements													45
LT=1	Scheduled receipts													
	Proj. avail. balance	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
On-hand	Net requirements													20
25	Planned order receipt													20
	Planner order release											20		
C	Gross requirements													45
LT=2	Scheduled receipts													
	Proj. avail. balance	10	10	10	10	10								
On-hand	Net requirements													35
10	Planned order receipt													35
	Planner order release													40
D	Gross requirements													100
LT=2	Scheduled receipts													
	Proj. avail. balance	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
On-hand	Net requirements													80
20	Planned order receipt													80
	Planner order release													80



Potrebujemo 2 C za vsak B

		Day: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10												
X	Gross requirements													95
LT=2	Scheduled receipts													
	Proj. avail. balance	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
On-hand	Net requirements													45
50	Planned order receipt													45
	Planner order release												45	
A	Gross requirements													90
LT=3	Scheduled receipts													
	Proj. avail. balance	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	
On-hand	Net requirements													15
75	Planned order receipt													15
	Planner order release												15	
B	Gross requirements													45
LT=1	Scheduled receipts													
	Proj. avail. balance	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
On-hand	Net requirements													20
25	Planned order receipt													20
	Planner order release												20	
C	Gross requirements													45
LT=2	Scheduled receipts													
	Proj. avail. balance	10	10	10	10	10								
On-hand	Net requirements													35
10	Planned order receipt													35
	Planner order release													40
D	Gross requirements													100
LT=2	Scheduled receipts													
	Proj. avail. balance	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
On-hand	Net requirements													80
20	Planned order receipt													80
	Planner order release													80



Primer MRP



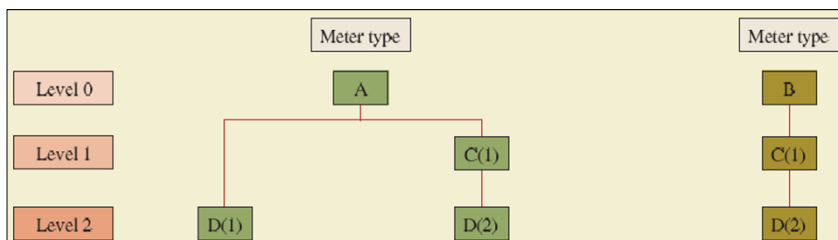
- Proizvodnja električnih merilnikov porabe
- Osnovni plan proizvodnje

	Week								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Meter A	1,250				850				550
Meter B	470				360				560
Subassembly D	270				250				320



Primer MRP

- BOM



- Podatki iz sistema za upravljanje z zalogami

ITEM	ON-HAND INVENTORY	LEAD TIME (WEEKS)	SAFETY STOCK	ON ORDER
A	50	2	0	
B	60	2	0	10 (week 5)
C	40	1	5	
D	200	1	20	100 (week 4)

Item		Week						
		4	5	6	7	8	9	
A LT = 2 weeks On hand = 50 Safety stock = 0 Order qty = lot-for-lot	Gross requirements							1250
	Scheduled receipts							
	Projected available balance	50	50	50	50	50		50
	Net requirements							1200
	Planned order receipts							1200
	Planned order releases						1200	
B LT = 2 weeks On hand = 60 Safety stock = 0 Order qty = lot-for-lot	Gross requirements							470
	Scheduled receipts		10					
	Projected available balance	60	60	70	70	70		70
	Net requirements							400
	Planned order receipts							400
	Planned order releases						400	
C LT = 1 week On hand = 40 Safety stock = 5 Order qty = 2000	Gross requirements							
	Scheduled receipts							
	Projected available balance	35	35	35	35	435		435
	Net requirements							1565
	Planned order receipts							2000
	Planned order releases				2000			
D LT = 1 week On hand = 200 Safety stock = 20 Order qty = 5000	Gross requirements							270
	Scheduled receipts	100						
	Projected available balance	180	280	280	1280	80		80
	Net requirements							190
	Planned order receipts							5000
	Planned order releases		5000				5000	

Izboljšave sistemov MRP



- Prvotni MRP
 - je obravnaval le materiale
 - preverjanje plana glede na razpoložljive kapacitete je potekalo zunaj MRP
 - pogosto je prihajalo do korektur plana zaradi omejitev kapacitet
 - potreben ponoven zagon MRP
- Nadaljnji razvoj
 - vključevanje kapacitet delovnih centrov
 - potrebno upoštevanje proizvodnega postopka (routing)
 - poskusni plan proizvodnje spustimo skozi MRP
 - tipično se izkaže prevelika poraba virov, sledijo korekture

Primer opisa proizvodnega postopka (routing sheet)



Material Specs _____ Purchased Stock Size _____ Pcs. Per Pur Size _____ Weight _____		Part Name <u>Plug Housing</u> Usage <u>Plug Assembly</u> Assy. No. <u>TA 1279</u> Sub.Assy. No. _____		Part No. <u>TA 1274</u> Date Issued _____ Date Supplied _____ Issued By _____		
Oper. No.	Operation Description	Dept.	Machine	Setup Hr.	Rate Pc. Hr.	Tools
20	Drill hole .32 $\begin{matrix} +.015 \\ -.005 \end{matrix}$	Drill	Mach. 513 Drill	1.5	254	Drill fixture L-76 Jig # 10393
30	Deburr .312 $\begin{matrix} +.015 \\ -.005 \end{matrix}$ dia. hole	Drill	Mach. 510 Drill	.1	424	Multitooth burring tool
40	Chamfer $\begin{matrix} .009/.875 \text{ dia} \\ (2 \text{ passes}), \text{ bore } .878/.875 \text{ dia} \\ \text{bore } .7600/.7625 (1 \text{ pass}) \end{matrix}$	Lathe	Mach. D 109 lathe	1.0	44	Ramet-1, TPG 221, chamfer tool
50	Tap hole as designated 1/4 min. full thread	Tap	Mach. 517 drill tap	2.0	180	Fixture #CR-353 tap, 4 Flute sp.
60	Bore hole 1.33 to 1.138 dia.	Lathe	H&H E107	3.0	158	L44 turret fixture Hartford
						Superspacer, pl. #45 holder #L46
						FDTW-100, insert #21 chk. fixture
70	Deburr $\begin{matrix} .005 \text{ to } .010 \text{ both sides,} \\ \text{hand feed to hard stop} \end{matrix}$	Lathe	E162 lathe	.3	175	Collect. CR #179 1327 RPM
80	Broach keyway to remove thread burrs	Drill	Mach. 507 drill	.4	91	B87 fixture, L59 broach tap, .875120 G-H6
90	Hone thread I.D. .822/ .828	Grind	Grinder	1.5	120	
95	Hone .7600/ .7625	Grind	Grinder	1.5	120	

Primer analize kapacitet



WEEK	JOB No.	UNITS	SETUP TIME	RUN TIME PER UNIT	TOTAL JOB TIME	TOTAL FOR WEEK
10	145	100	3.5	.23	26.5	137.8
	167	160	2.4	.26	44.0	
	158	70	1.2	.13	10.3	
	193	300	6.0	.17	57.0	
11	132	80	5.0	.36	33.8	190.3
	126	150	3.0	.22	36.0	
	180	180	2.5	.30	56.5	
	178	120	4.0	.50	64.0	
12	147	90	3.0	.18	19.2	128.8
	156	200	3.5	.14	31.5	
	198	250	1.5	.16	41.5	
	172	100	2.0	.12	14.0	
	139	120	2.2	.17	22.6	

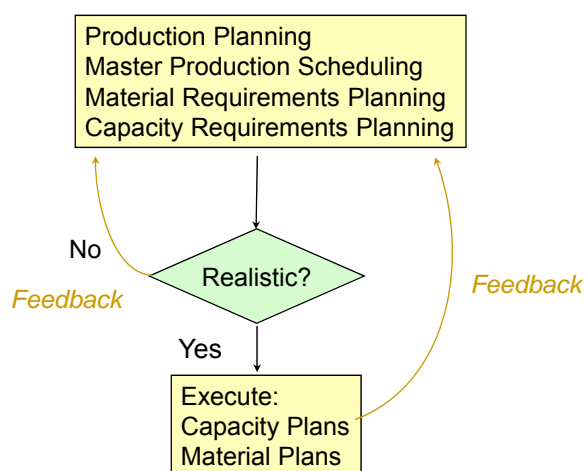
COMPUTING WORK CENTER CAPACITY

The available capacity in standard hours is 161.5 hours per five-day week, calculated as (2 machines) × (2 shifts) (10 hours/shift) (85% machine utilization) (95% efficiency).

Zaprtozančni MRP



LMSV
LAMS



Sistemi MRP II

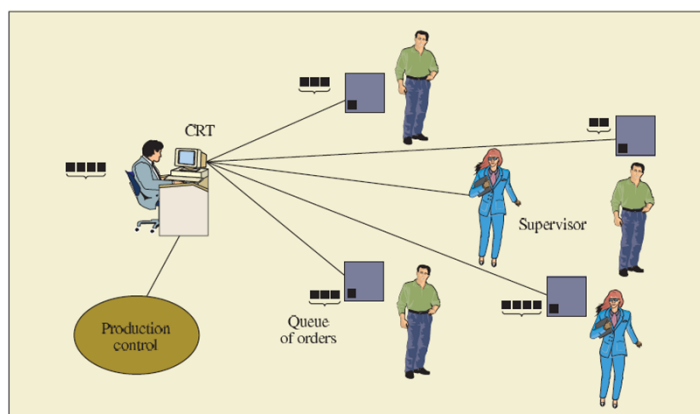


- MRP II – Manufacturing Resource Planning
- Cilj: Planiranje in spremljanje delovanja vseh virov v proizvodnem podjetju (zaprtostančno):
 - proizvodnja
 - marketing
 - finance
 - inženiring
- Generiranje finančnih kazalnikov
- Simulacija proizvodnega sistema
 - s stališča upravljanja
 - predvidevanje prihodnjega dogajanja in boljše planiranje

2.6 Razvrščanje operacij



- Podrobno razvrščanje proizvodnje (Detailed production scheduling)



Pomen razvrščanja operacij pri planiranju in vodenju proizvodnje



- Delovni tok (work flow) obenem pomeni tudi tok denarja, razvrščanje je ena od centralnih aktivnosti v procesu kontrole delovnega toka
- Razvrstitev je urnik izvajanja aktivnosti, uporabe virov ali dodeljevanja pripomočkov
- Na tem mestu obravnavamo kratkoročno razvrščanje in vodenje nalogov s poudarkom na delovnih centrih

Sistemi za podporo izvajanju proizvodnje – MES

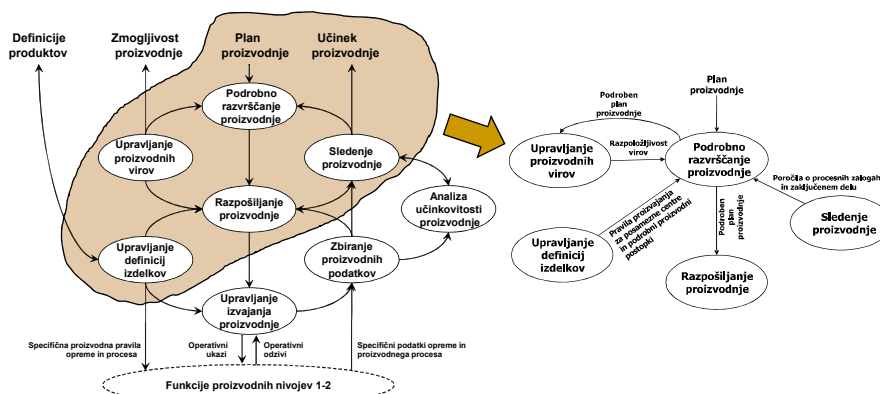


- Sistem MES je informacijski sistem, ki razvršča, dodeljuje opravila, sledi in spremlja ter vodi proizvodnjo na obratovalnem nivoju (factory floor)
- Obenem ti sistemi zagotavljajo sprotno (real-time)
 - povezavo s sistemi MRP
 - povezavo s sistemi za načrtovanje produktov in procesov
 - povezavo s sistemi, ki segajo preko meja tovarne, vključujoč sisteme za upravljanje dobavnih verig, sisteme ERP, sistemi za prodajo, upravljanje storitev ipd.
- Številni specializirani ponudniki programske opreme razvijajo in postavljajo sisteme MES kot del širše palete programskih orodij

Razvrščanje operacij in aktivnosti MES



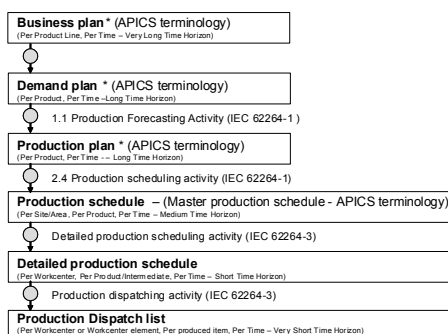
- Razvrščanje operacij je ena od aktivnosti MES



Definicija podrobnega razvrščanja proizvodnje



- Podrobno razvrščanje proizvodnje definiramo kot
 - zbirko aktivnosti, ki na podlagi osnovnega plana proizvodnje določajo optimalno rabo lokalnih proizvodnih virov s ciljem izpolnitve zahtev proizvodnega plana
 - tudi podrobno ali fino planiranje proizvodnje
 - terminiranje



Naloge podrobnega razvrščanja proizvodnje



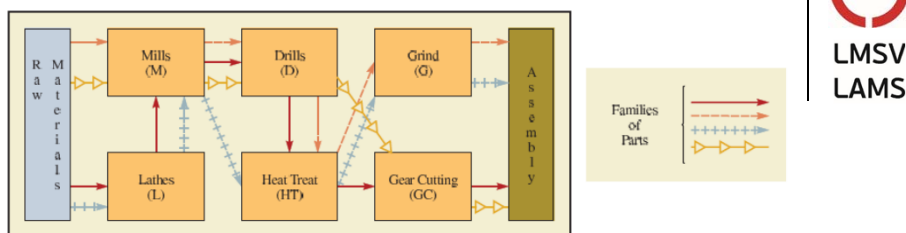
- Naloge podrobnega razvrščanja vključujejo:
 - a) Ustvarjanje in vzdrževanje podrobnega proizvodnega plana.
 - b) Primerjanje dejanske proizvodnje in planirane proizvodnje.
 - c) Določanje dejanske kapacitete vsakega vira za potrebe aktivnosti upravljanja proizvodnih virov.
 - d) Pridobivanje informacij iz aktivnosti upravljanja vzdrževanja, upravljanja kakovosti in upravljanja zalog.
 - e) Izvajanje simulacij različnih proizvodnih scenarijev. Ta naloga vključuje izračune, kot so:
 - določanje trajanja izvedbe ali časov zaključka posameznih delovnih nalogov, ki prihajajo s poslovnega nivoja;
 - določanje ozkih grl v posameznih obdobjih;
 - zagotavljanje prihodnje razpoložljivosti virov za določeno proizvodnjo

Organizacija delovnih enot

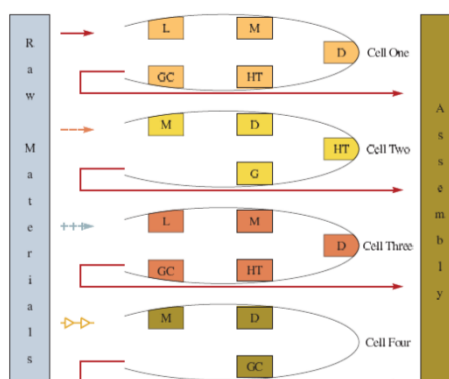


- Delovna enota (work center)
 - področje v tovarni, v katerem so proizvodni viri organizirani in se izvede določeno delo
 - lahko gre za posamezen stroj, skupino strojev ali področje, kjer se opravlja specifična vrsta dela
- Delovne enote so lahko organizirane
 - glede na funkcijo – delavniška konfiguracija (npr. vrtanje, rezkanje, toplotna obdelava, ...)
 - glede na izdelek – konfiguracija opreme v obliko proizvodne ali sestavljalne linije, ali v obliko proizvodne celice (group technology cell – GT cell)
 - mnoga podjetja spreminjajo razpored opreme iz delavniške konfiguracije v celično

Delavniška organizacija



Celična organizacija



Razvrščanje v delavniški konfiguraciji



- V delavniški konfiguraciji (job shop) je potrebno za dokončanje dela usmerjati opravila med funkcionalno organiziranimi delovnimi enotami,
 - ko opravilo prispe na delovno enoto, npr. enoto za vrtanje v tovarni, ki proizvaja tiskana vezja, vstopi v vrsto, kjer čaka, da eden od vrtnih strojev izvrta potrebne luknje
 - v tem primeru operativno razvrščanje določa vrstni red izvajanja opravil, a določa tudi stroj, na katerem se bo izvedlo vrtanje

Značilnosti sistemov razvrščanja



- Upoštevanje kapacitete
 - neomejeno nalaganje
 - primer MRP
 - omejeno nalaganje
- Smer razvrščanja
 - razvrščanje v smeri naprej
 - razvrščanje v smeri nazaj
 - primer MRP

Upoštevanje kapacitete



- Neomejeno nalaganje
 - delo priredimo delovni enoti glede na potrebe
 - ne upoštevamo kapacitete enote
 - ne upoštevamo dejanskega zaporedja opravil po virih znotraj delovne enote
 - pogosto se upošteva le kapaciteta ključnih virov enote v agregiranem smislu (kot pri razširjenem MRP)
 - izdelavni čas se oceni kot mnogokratnik pričakovanega časa operacij (prenastavitve + delo) + pričakovani čas čakanja v vrsti zaradi transporta materiala in čakanja, da proizvodni nalog pride na vrsto

Upoštevanje kapacitete



- Omejeno nalaganje
 - pristop z omejenim nalaganjem dejansko podrobno razvrsti vse vire, pri čemer upošteva pre-nastavitve in čas dela, ki ga zahteva vsak proizvodni nalog
 - bistveno je, da sistem točno določi, kaj se bo delalo z vsakim virom ob vsakem času preko delovnega dneva
 - če je neka proizvodna operacija zakasnjena zaradi pomanjkanja delov, ostane proizvodni nalog v čakalni vrsti in čaka, dokler niso deli na razpolago (npr. ob končanju prejšnje operacije)
 - teoretično so vse razvrstitve, dobljene s postopkom omejenega nalaganja, tudi izvedljive

Smer razvrščanja v času



- Razvrščanje v času naprej
 - najbolj pogosto
 - sistem obravnava proizvodni nalog in nato razvrsti vse potrebne delovne operacije v času naprej
 - sistem je zmožen napovedati najkrajši možni rok, v katerem bo proizvodni nalog končan

Smer razvrščanja v času



- Razvrščanje nazaj
 - razvrščanje nazaj prične z nekega prihodnjega časa (po možnosti roka za izdelavo) in razvršča potrebne operacije v vzratni sekvenci
 - na ta način dobljena razvrstitev nam pove, kdaj je treba pričeti z izdelavo po določenem nalogu, da bomo ujeli določen rok izdelave
 - sistem za planiranje materialnih potreb (MRP) je primer sistema razvrščanja z neomejenim nalaganjem v času nazaj za materiale – izhaja iz roka naročila in izračuna potrebne dele ter ustrezne čase pričetka dela
 - na tem mestu obravnavamo sisteme za razvrščanje proizvodnih operacij, s katerimi dejansko naredimo dele in sklope, s katerimi se ukvarja MRP

Upoštevani viri



- Proizvodne vire smo uporabljali v splošnem pomenu
- V praksi se je potrebno odločiti, po katerih virih bomo dejansko razvrščali opravila
- Običajno so proizvodni procesi omejeni bodisi s kapaciteto strojev bodisi kapaciteto dela
 - pri strojnih omejitvah je kritični vir, ki ga razporejamo, oprema
 - pri omejitvah dela so ključni vir, ki ga razporejamo, ljudje
- Večina dejanskih proizvodnih procesov je omejena ali z delom ali z opremo, ne pa z obema vrstama virov hkrati

Tipi proizvodnih procesov in sistemi razvrščanja



Tip	Izdelek	Značilnost	Pristop k razvrščanju
Zvezni proces	Kemikalije, jeklo, žice in kablji, tekočine (pivo, gazirane pijače), konzervirana živila	Popolna avtomatizacija, nizka vsebnost dela v stroških izdelka, proizvodne zmogljivosti so namenjene enemu izdelku	Omejeno razvrščanje procesnih opravil v času naprej; omejitve strojev
Velik obseg proizvodnje	Avtomobili, telefoni, vijaki, tekstil, motorji, gospodinjski aparati	Avtomatizirana oprema, delno avtomatsko prenašanje materiala, sestavljalni tekoči trakovi, večina opreme v liniji	Omejeno razvrščanje operacij na liniji v času naprej (stopnja proizvodnje je tipična), omejitve strojev; deli prihajajo na linijo po principu vlečenja oz. po sistemu just-in-time (kanban)
Proizvodnja srednje velikih količin	Industrijski deli, potrošniški izdelki z višjo dodano vrednostjo	proizvodne celice, specializirane mini tovarne	Neomejeno razvrščanje v času naprej; tipična je kontrola prioritet; običajno je omejitve delo, vendar pogosto tudi omejitve strojev; pogosto se proizvodnja odziva na naročila po načelu just-in-time ali na roke izdelave, ki jih postavlja MRP
Delavniška proizvodnje v majhnih količinah	Izdelki po naročilu ali prototipne naprave, specializirani instrumenti, industrijski izdelki v manjšem obsegu	Obdelovalni centri organizirani po proizvodni funkciji (ne v liniji), visoka vsebnost dela v ceni izdelka, stroji za splošno rabo z znatnimi časi pre-nastavitvev, malo avtomatizacije pri prekladanju materiala, velika pestrost izdelkov	Neomejeno razvrščanje opravil v času naprej; običajno so omejitve v delu, a nekatere funkcije so lahko omejene s stroji (npr. proces toplotne obdelave ali obdelovalni center visoke natančnosti); prioritete so določene z roki, ki jih določa MRP

Tipične funkcije razvrščanja in vodenja proizvodnje



- Pri razvrščanju in vodenju proizvodnje je potrebno izvajati naslednje funkcije:
 1. Dodeljevanje nalogov, opreme in osebja delovnim enotam ali drugim opredeljenim lokacijam; v osnovi gre za kratkoročno planiranje kapacitet
 2. Določanje zaporedja izvajanja nalogov (dodeljevanje prioritet opraviom)
 3. Proženje izvajanja razvrščenih opravil; običajno poimenovano razpošiljanje nalogov (dispatching)
 4. Vodenje na nivoju proizvodnega obrata (tudi vodenje proizvodne aktivnosti), ki vključuje
 - a. Preverjanje statusa in nadzor napredovanja nalogov med njihovim izvajanjem
 - b. Pohitritev izvajanja zakasnenih in kritičnih nalogov

Cilji razvrščanja opravil v proizvodnih enotah



- Tipični cilji razvrščanja
 - (1) izpolnjevanje rokov
 - (2) minimizacija časa izdelave
 - (3) minimizacija prenavstavitve in s tem povezanih stroškov
 - (4) minimizacija medprocesnih zalog (WIP)
 - (5) maksimiranje izrabe strojev in delovnega časa

Cilji razvrščanja opravil v proizvodnih enotah



- Običajno ni možno ali celo ni zaželeno izpolniti vseh zahtev obenem
 - npr. pri polni obremenjenosti strojev in zaposlenih lahko zaloga prekomerno naraste
 - po drugi strani se lahko zgodi, da izpolnimo 99 % rokov, a imamo težavo, če je v 1 % zamujenih kritično naročilo ali naročilo ključnega kupca
 - potrebno je ohraniti celostni pogled in zagotoviti, da so cilji delovne enote usklajeni s cilji podjetja

Prioritetna pravila



- FCFS (first-come, first-served)
 - nalogi gredo v izdelavo v istem vrstnem redu kot prihajajo
- SPT (shortest processing time)
 - opravilo z najkrajšim časom za dokončanje se izvede prvo, naslednje najkrajše drugo itd.;
 - to pravilo se včasih imenuje tudi SOT (shortest operating time);
 - pogosto se pravilo kombinira s vrednostjo kasnitve (lateness), da preprečimo preveliko zakasnitev opravil z dolgimi časi dokončanja
- EDD (earliest due date first)
 - opravilo z najzgodnejšim rokom dokončanja se izvede prvo

Prioritetna pravila /2



- STR (slack time remaining)
 - čas STR se izračuna kot razlika med preostalim časom do roka in preostalim časom do dokončanja; prvi se izvedejo nalogi z najkrajšim časom STR
 - $STR = \text{preostali čas do roka} - \text{preostali čas do dokončanja}$
- STR/OP (slack time remaining per operation)
 - nalogi z najkrajšim časom STR na posamezno preostalo operacijo se izvedejo prvi
 - $STR/OP = STR / \text{število preostalih operacij}$

Prioritetna pravila /3



- CR (critical ratio)
 - izračuna se razmerje med razliko roka in trenutnega datuma in številom preostalih dni dela na nalogu; nalogi z manjšim razmerjem CR se izvedejo prej
- LCFS (last-come, first-served)
 - to pravilo se pogosto uporablja kot privzeto, ko nalogi prihajajo se odlagajo na vrh sklada; operater običajno pobere nalog na vrhu sklada in ga prične izvajati kot prvega
- Naključna razvrstitev (whim)
 - nadzorniki ali operaterji izberejo katerikoli nalog, ki se jim zdi primeren

Vrednotenje prioriternih pravil



- Tipično vrednotimo pravila po naslednjih kriterijih:
 1. Izpolnjevanje rokov, ki so postavljeni s strani strank ali operacij v nadaljevanju proizvodnega procesa – minimizacija zamud
 - tardiness: razlika med časom dokončanja zamujenega opravila in njegovim rokom izdelave)
 2. Minimizacija skupnega časa izdelave
 - makespan: čas za dokončanje skupine opravil
 3. Minimizacija pretočnega časa (časa, ki ga opravilo prebije v sistemu)
 4. Minimizacija medprocesne zaloge WIP
 5. Minimizacija časa nedela strojev ali delavcev

Razvrščanje n opravil na en stroj



- Scheduling n jobs on one machine ($n/1$)
- Nekatera izmed opisanih prioritetenih pravil si bomo ogledali na primeru statičnega problema razvrščanja več opravil na en stroj
- V terminologiji s področja razvrščanja se uporablja tudi oznaka
 - „ n job-one-machine problem“ oz. preprosto $n/1$
- Teoretična zahtevnost problemov razvrščanja je bolj odvisna od upoštevane števila strojev (virov), kot od števila opravil
 - $n/1$ je torej preprost problem

Primer razvrščanja: First-Come First-Served



Predpostavimo pet opravil, ki se morajo izvesti na istem stroju, dani so podatki o časih izdelave in rokih

Opravila (po času prihoda)	Čas obdelave (dnevi)	Rok (dnevi od danes naprej)
A	3	5
B	4	6
C	2	7
D	6	9
E	1	2

Razvrstitev po pravilu FCFS

Zaporedje opravil	Čas obdelave	Rok	Pretočni čas (dnevi)	Zamuda (dnevi)
A	3	5	3	0
B	4	6	7	1
C	2	7	9	2
D	6	9	15	6
E	1	2	16	14

Skupni pretočni čas: 50 dni
 Povprečni pretočni čas: 10 dni
 Povprečna zamuda: 4,6 dni

Primer razvrščanja: Shortest Processing Time



Predpostavimo pet opravil, ki se morajo izvesti na istem stroju, dani so podatki o časih izdelave in rokih

Opravila (po času prihoda)	Čas obdelave (dnevi)	Rok (dnevi od danes naprej)
A	3	5
B	4	6
C	2	7
D	6	9
E	1	2

Razvrstitev po pravilu SPT

Zaporedje opravil	Čas obdelave	Rok	Pretočni čas (dnevi)	Zamuda (dnevi)
E	1	2	1	0
C	2	7	3	0
A	3	5	6	1
B	4	6	10	4
D	6	9	16	7

Skupni pretočni čas: 36 dni
 Povprečni pretočni čas: 7,2 dni
 Povprečna zamuda: 2,4 dni

Primer razvrščanja: Earliest Due Date First



Predpostavimo pet opravil, ki se morajo izvesti na istem stroju, dani so podatki o časih izdelave in rokih

Opravila (po času prihoda)	Čas obdelave (dnevi)	Rok (dnevi od danes naprej)
A	3	5
B	4	6
C	2	7
D	6	9
E	1	2

Razvrstitev po pravilu EDD

Zaporedje opravil	Čas obdelave	Rok	Pretočni čas (dnevi)	Zamuda (dnevi)
E	1	2	1	0
A	3	5	4	0
B	4	6	8	2
C	2	7	10	3
D	6	9	16	7

Skupni pretočni čas: 39 dni
 Povprečni pretočni čas: 7,8 dni
 Povprečna zamuda: 2,4 dni

Primer razvrščanja: Last-Come First-Served



Predpostavimo pet opravil, ki se morajo izvesti na istem stroju, dani so podatki o časih izdelave in rokih

Opravila (po času prihoda)	Čas obdelave (dnevi)	Rok (dnevi od danes naprej)
A	3	5
B	4	6
C	2	7
D	6	9
E	1	2

Razvrstitev po pravilu LCFS

Zaporedje opravil	Čas obdelave	Rok	Pretočni čas (dnevi)	Zamuda (dnevi)
E	1	2	1	0
D	6	9	7	0
C	2	7	9	2
B	4	6	13	7
A	3	5	16	11

Skupni pretočni čas: 46 dni
 Povprečni pretočni čas: 9,2 dni
 Povprečna zamuda: 4 dni

Primer razvrščanja: Random



Predpostavimo pet opravil, ki se morajo izvesti na istem stroju, dani so podatki o časih izdelave in rokih

Opravila (po času prihoda)	Čas obdelave (dnevi)	Rok (dnevi od danes naprej)
A	3	5
B	4	6
C	2	7
D	6	9
E	1	2

Razvrstitev po pravilu RND

Zaporedje opravil	Čas obdelave	Rok	Pretočni čas (dnevi)	Zamuda (dnevi)
D	6	9	6	0
C	2	7	8	1
A	3	5	11	6
E	1	2	12	10
B	4	6	16	10

Skupni pretočni čas: 53 dni
 Povprečni pretočni čas: 10,6 dni
 Povprečna zamuda: 5,4 dni

Primer razvrščanja: Slack Time Remaining



Predpostavimo pet opravil, ki se morajo izvesti na istem stroju, dani so podatki o časih izdelave in rokih

Oprava (po času prihoda)	Čas obdelave (dnevi)	Rok (dnevi od danes naprej)
A	3	5
B	4	6
C	2	7
D	6	9
E	1	2

Razvrstitev po pravilu STR

Zaporedje opravil	Čas obdelave	Rok	Prosti čas	Pretočni čas (dnevi)	Zamuda (dnevi)
E	1	2	1	1	0
A	3	5	2	4	0
B	4	6	2	8	2
D	6	9	3	14	5
C	2	7	5	16	9

Skupni pretočni čas: 43 dni
 Povprečni pretočni čas: 8,6 dni
 Povprečna zamuda: 3,2 dni

Primerjava prioritarnih pravil



Pravilo	Skupni pretočni čas (dnevi)	Povprečni pretočni čas (dnevi)	Povprečna zamuda (dnevi)
FCFS	50	10	4,6
SPT	36	7,2	2,4
EDD	39	7,8	2,4
LCFS	46	9,2	4,0
Random	53	10,6	5,4
STR	43	8,6	3,2

Razvrščanje n opravil na dva stroja



- Scheduling n jobs on two machines ($n/2$)
- Dve ali več opravil je potrebno izvesti na obeh strojih v enakem zaporedju obdelave za vsako opravilo (tekoča obdelava oz. flow shop)
- Še vedno gre za enostaven problem razvrščanja

Razvrščanje n opravil na dva stroja



- Če je kriterij najkrajši skupni čas izdelave, obstaja postopek, ki da vselej optimalno rešitev – Johnsonovo pravilo:
 1. izpišemo čase operacij vseh opravil na obeh strojih
 2. izberemo najkrajši čas
 3. če pripada najkrajši čas operaciji na prvem stroju, opravilo izvedemo čim prej, če gre za operacijo na drugem stroju, pa opravilo izvedemo čim kasneje (v primeru enakosti izberemo najprej operacijo na prvem stroju)
 4. koraka 2 in 3 ponavljamo, dokler niso razvrščena vsa opravila, s tem da že razvrščenih opravil ne premikamo

Primer uporabe Johnsonovega pravila



- Podana imamo štiri opravila, ki morajo iti skozi dve fazi obdelave.
- Časi obdelave v obeh fazah so podani v tabeli.
- Želimo določiti optimalno razvrstitev z uporabo Johnsonovega pravila

Opravilo	Čas v urah	
	Faza 1	Faza 2
A	3	2
B	6	8
C	5	6
D	7	4

Rešitev



Izberemo opravilo z najkrajšo operacijo	Čas v urah		
	Opravilo	Faza 1	Faza 2
To je opravilo A z najkrajšo operacijo v drugi fazi; razvrstimo ga na konec urnika	A	3	2
	B	6	8
	C	5	6
	D	7	4

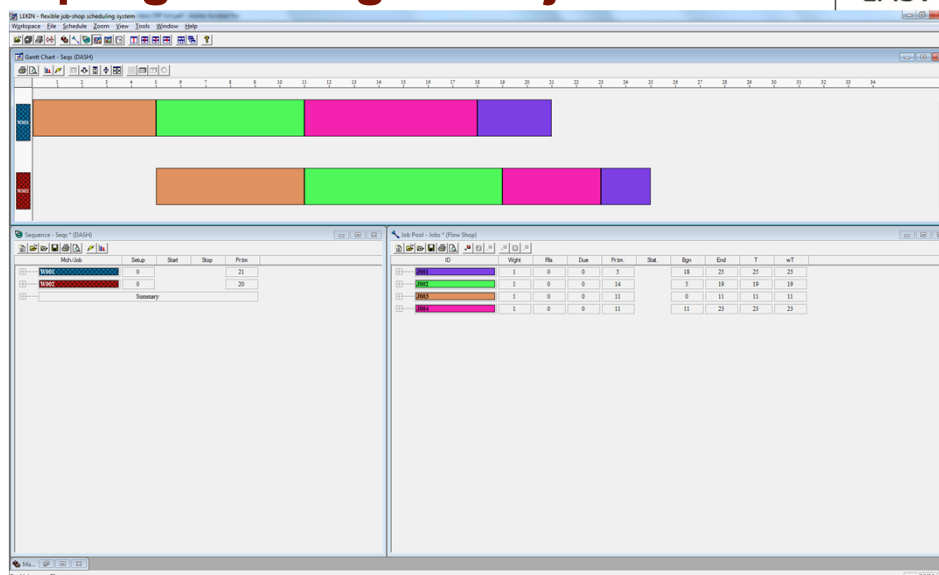
A izločimo, iščemo naslednjo najkrajšo operacijo. To je druga faza opravila D, postavimo ga na 3. mesto v sekvenci

Izločimo D, iščemo naslednjo najkrajšo operacijo. To je C, prva faza, zato postavimo opravilo C na začetek sekvence.

Ostane še B, ki ga postavimo na preostalo prosto mesto v sekvenci.

Sekvenca	1	2	3	4
Opravilo	C	B	D	A

Rešitev s pomočjo programskega orodja



Razvrščanje množice n opravil na enako število strojev



- Scheduling a set number of jobs on the same number of machines
- To načelo razvrščanja je uporabno v primerih, ko je v delavnici dovolj strojev, da se vsa opravila pričnejo izvajati hkrati
 - izvajanje opravil pa ni na vseh strojih enako učinkovito
 - vprašanje je, kako dodeliti stroje opravilom, da bo učinek najboljši
 - uporabljamo t.i. dodelitveno metodo (assignment method)
 - n stvari razporejamo na n „ciljev“
 - vsaka stvar mora biti dodeljena natanko enemu cilju
 - uporabljamo en sam kriterij (min. strošek, min. čas, ...)

Dodelitvena metoda



LMSV
LAMS

1. Izvedemo redukcijo vrstic
 - odštejemo minimalno vrednost v vsaki vrstici od vseh vrednosti v tej vrstici
2. Izvedemo redukcijo stolpcev
 - odštejemo minimalno vrednost v vsakem stolpcu od vseh vrednosti v tem stolpcu
3. S črtami prekrijemo vse ničle
 - uporabimo minimalno število vodoravnih in navpičnih črt
4. Če se število črt ujema s številom vrstic v matriki, smo našli optimalno rešitev. Dodelitve izvedemo tam, kjer so v matriki ničle
 - Sicer modificiramo matriko:
 - odštejemo minimalno neprečrtano vrednost od vseh neprečrtanih vrednosti
 - prištejemo to vrednost vsem elementom, kjer se sekata dve črti
 - ostale vrednosti v matriki pustimo nespremenjene
5. Ponavljamo koraka 3 in 4, dokler ne najdemo optimalne rešitve

Primer: Dodelitvena metoda



LMSV
LAMS

Stroški	STROJ			
	1	2	3	4
Opravila				
I	10	5	6	10
II	6	2	4	6
III	7	6	5	6
IV	9	5	4	10

Redukcija vrstic				Redukcija stolpcev				Črtanje ničel			
5	0	1	5	3	0	1	4	3	0	1	4
4	0	2	4	2	0	2	3	2	0	2	3
2	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
5	1	0	6	3	1	0	5	3	1	0	5

število črt \neq število vrstic \rightarrow modificiramo matriko

Primer: Dodelitvena metoda



Modificirana matrika				Črtanje ničel			
1	0	1	2	1	0	1	2
0	0	2	1	0	0	2	1
0	3	2	0	0	3	2	0
1	1	0	3	1	1	0	3

število črt = število vrstic -> optimalna rešitev

Opravo	STROJ				Opravo	STROJ			
	1	2	3	4		1	2	3	4
I	1	0	1	2	I	10	5	6	10
II	0	0	2	1	II	6	2	4	6
III	0	3	2	0	III	7	6	5	6
IV	1	1	0	3	IV	9	5	4	10

Stroški = (5 + 6 + 4 + 6) X 100 = 2100

Razvrščanje n opravil na m strojev



- Scheduling n jobs on m machines
- Kompleksne delavnice vključujejo več sklopov strojev, ki obdelujejo različna opravila, le-ta a prihajajo občasno preko delovnega dneva;
- Če imamo n opravil, ki se izvajajo na m strojih in se morajo vsa opravila obdelati na vseh strojih, potem je $(n!)^m$ alternativnih razvrstitev dane množice opravil
- zaradi velike množice možnih razvrstitev že pri majhnih delavnicah se poleg razvrstitvenih pravil uporabljajo računalniška orodja za razvrščanje; pogosto je edini praktično uporabni način ovrednotenja in optimizacije razvrstitev računalniška simulacija v povezavi s tehnikami lokalnega iskanja, možna pa je tudi uporaba različnih prioritetenih pravil in vrednotenje njihove primernosti

Katero prioritavno pravilo uporabiti?



- Praktični pogled na problematiko razvrščanja pravi, da je mogoče potrebe večine proizvajalcev izpolniti z uporabo relativno preprostih pravil razvrščanja, le to pa naj sledi naslednjim načelom:
 - 1. razvrščanje mora biti dinamično, to omeni, da se izračunava pogosto, tudi med izvedbo naloga in s tem upošteva spreminjajoče se pogoje.
 - 2. na ta ali oni način morajo biti pravila razvrščanja povezana s prostim časom (slack), to je razliko med preostalim časom dela na nalogu in razpoložljivim časom do roka za izdelavo
- Novejši pristopi kombinirajo računalniško podporo in odločitve človeka-planerja pri določanju razvrstitev proizvodnje

Smernice za izbiro pravila razvrščanja



- Pravilo SPT je najbolj uporabno, ko je delavnica nadpovprečno zasedena
- V obdobjih normalne aktivnosti je priporočljiva uporaba pravila STR
- Pravilo EDD uporabimo, če je dovoljena le mala količina zamud
- Če je pričakovana uporaba podizvajalcev, uporabimo pravilo LPT (nasprotje SPT)
- Pravilo FCFS uporabimo, če delamo z nizko intenzivnostjo
- Uporaba pravila SPT ni priporočljiva za opravila, katerih rezultati se v nadaljevanju procesa sestavljajo z rezultati drugih opravil

Vodenje proizvodnje na nivoju obrata



- Shop-floor control – sistem, ki izrablja podatke iz proizvodnje, kot tudi podatke iz informacijskega sistema za vzdrževanje in posredovanje informacij o proizvodnih nalogih v obratu in proizvodnih enotah
- Glavne funkcije
 1. Dodeljevanje prioritet proizvodnim nalogom v obratu
 2. Vzdrževanje in informacij o količini dela v teku.
 3. posredovanje statusnih informacij o nalogih obrata poslovnemu segmentu podjetja
 4. Zagotavljanje dejanskih podatkov o izhodnih količinah za potrebe upravljanja kapacitet
 5. Zagotavljanje informacij o količinah po lokaciji po nalogih za potrebe sledenja medprocesnih zalog in potreb računovodstva.
 6. Merjenje učinkovitosti, izkoriščenosti, in produktivnosti delavcev in strojev

Pripomočki za vodenje proizvodnje na nivoju obrata



- Osnovni pripomočki so
 - 1. Dnevna lista razpošiljanja, ki definira, kateri nalogi se bodo izvajali, njihovo prioriteto, in kako dolgo bo trajala obdelava posameznega naloga
 - 2. Različna poročila o statusu in izjemah, vključujoč
 - a. Poročilo o pričakovanih zakasnitvah, ki ga izdela planer obrata enkrat ali dvakrat na teden in ga pregleda glavni planer obrata; pri tem ugotavlja, ali je prišlo do resnejših zamud, ki bi lahko vplivale na izpolnjevanje osnovnega plana proizvodnje

Pripomočki za vodenje proizvodnje na nivoju obrata



- 2. Različna poročila o statusu in izjemah (nadaljevanje)
 - b. Poročila o izmetu
 - c. Poročila o dodelavah
 - d. Zbirna poročila o učinkih, npr. število in delež nalogov, ki so končani do roka, zakasnitev še nedokončanih nalogov, količina proizvodnje
 - e. Seznam manjkajočih izdelkov/materiala
- 3. Vhodno/izhodno poročilo, ki ga uporablja vodja proizvodnje za spremljanje odnosa med obremenitvijo in kapaciteto za posamezna delovna mesta

Principi razvrščanja operacij delovnih enot



- Večji del razmišljanj o sistemih za razvrščanje opravil v proizvodnih enotah lahko povzamemo v naslednjih načelih:
 1. Obstaja neposredna povezava med tokom dela in tokom denarja
 2. Učinkovitost vsake delavnice bi morali meriti s hitrostjo toka dela skozi delavnico
 3. Razvrstitev opravil mora biti v nizu, s sklenjenimi procesnimi koraki
 4. Ko se opravilo prične, ga ne prekinjamo
 5. Hitrost pretoka je najbolj učinkovito doseči z osredotočanjem na proizvodne enote in opravila, ki predstavljajo ozka grla
 6. razvrščanje je smiselno ponoviti vsak dan
 7. Vsak dan je smiselno pridobiti povratne informacije o nezaključenih opravilih v vsaki proizvodni enoti
 8. Potrebo je uskladiti vhodne zahteve v delovno enoto s tem, kar delavci te enote dejansko lahko storijo
 9. Pri iskanju izboljšav v količini proizvodnje je smiselno preveriti morebitno nezdružljivost inženirskega načrtovanja izdelkov in izvedbo proizvodnega procesa
 10. Popolne skladnosti s standardi, predpisanimi zaporedji dela ipd. na nivoju proizvodnega obrata nikoli ne moremo doseči, a si je potrebno vedno prizadevati za doseg le-te