

4. Planiranje in vodenje projektov



- Uvod v projektno vodenje
- Organizacijske strukture projektov
- Mrežno planiranje
 - metoda kritičnih poti (CPM)
 - metoda PERT
- Programska orodja za vodenje projektov

4.1 Uvod v projektno vodenje



- Projekt
 - zaporedje med seboj povezanih in soodvisnih dejavnosti, ki so usmerjene k doseganju zastavljenega cilja v postavljenih časovnih okvirih
 - zaporedje dejavnosti je tehnološko predpisano
- Vodenje projektov
 - aktivnosti upravljanja virov (ljudje, oprema, material)
 - planiranje, usmerjanje in nadzor virov s ciljem doseganja tehničnih, stroškovnih in časovnih omejitev projekta

Pomen vodenja projektov



- Projektno usmerjena podjetja
 - gradbeništvo, inženiring
- Proizvodni procesi
 - pri posamični proizvodnji (projektni proizvodnji)
 - izdelki, ki se ne ponavljajo (oz. zelo redko) in imajo dolg proizvodni interval
 - nenatančno definiran vhod in tudi sam proizvodni proces
 - značilno za proizvodnjo kompleksnih izdelkov po naročilu
- Preurejanje poslovnih procesov
- Negospodarske dejavnosti
 - infrastrukturni projekti, kulturni projekti, športni projekti ...

Aktivnosti projekta

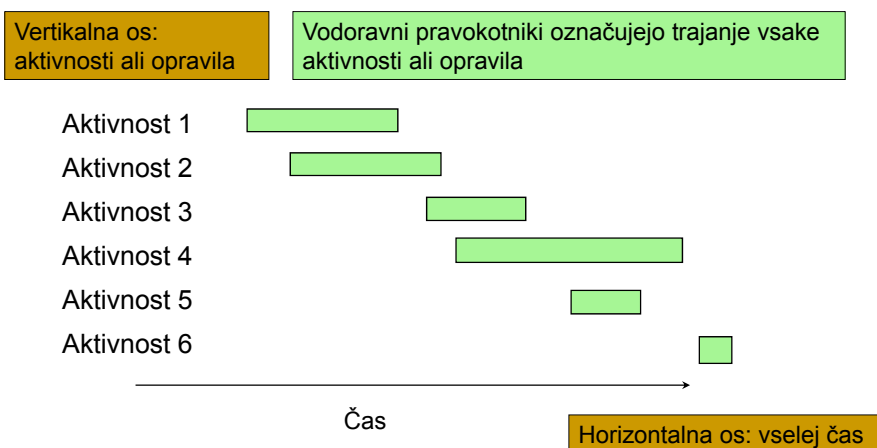


- Dejavnost oz. aktivnost v projektu
 - proces, fizično ali umsko opravilo, ki ga je potrebno opraviti, da na poti h končnemu cilju projekta preidemo z ene (nižje) stopnje na drugo (višjo) stopnjo
 - nižja stopnja – manj popolno stanje
 - višja stopnja – bolj popolno stanje
- Značilnosti aktivnosti v projektu
 - traja določen čas
 - povezuje dva dogodka: začetni in končni dogodek
 - se lahko prične šele ob izpolnitvi določenih pogojev
 - načeloma za izvedbo potrebuje vire
- Približen ekvivalent delovni operaciji v proizvodnji

Grafična predstavitev aktivnosti



- Gantogram (Gantt Chart)



Viri v projektu



- Vir (resource)
 - vse kar je potrebno za izvajanje aktivnosti
 - osebje oz. živo delo – žive kapacitete
 - delovna sredstva oz. stroji, naprave in orodja – mrtve kapacitete
 - predmeti dela – material
 - denarna sredstva
- Omejitve virov
 - pri projektih je kritična predvsem omejitev osebja

Časovne omejitve



- Časovne omejitve projekta
- Časovne omejitve aktivnosti v okviru projekta
- Roki
 - kdaj se mora projekt začeti izvajati – rok začetka projekta
 - kdaj mora biti projekt dokončan – rok zaključka projekta
 - kdaj se morajo začeti izvajati posamezne aktivnosti – roki začetka aktivnosti
 - kdaj morajo biti posamezne aktivnosti dokončane – roki zaključka aktivnosti
- Trajanja aktivnosti – konstante
- Roki – spremenljivke
 - rok zaključka je pogosto robni pogoj

4.2 Organizacijske strukture projektov



- Čista projektna organizacijska struktura
 - zaključena projektna skupina dela na projektu s polnim delovnim časom
- Funkcionalna organizacijska struktura
 - projekt se izvaja v okviru funkcionalne enote
- Matrična organizacijska struktura projekta
 - združitev funkcionalne in čiste projektne organizacije
 - potrebna razmejitev odgovornosti med funkcijsko organiziranostjo in projektним vodenjem

Čista projektna organizacijska struktura

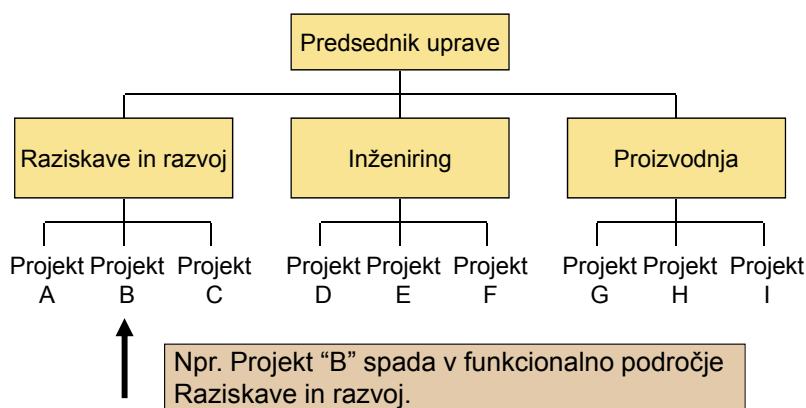


- Projektna skupina dela na projektu s polnim delovnim časom
- Prednosti
 - vodja projekta ima polna pooblastila nad celotnim projektom
 - člani projektne skupine poročajo enemu vodji
 - skrajšane komunikacijske linije
 - visoka pripadnost skupini, visoka motivacija
- Slabosti
 - podvojevanje virov
 - neupoštevanje ciljev in politik organizacije
 - pomanjkanje prenosa tehnologij
 - člani skupine nimajo pripadnosti funkcionalnim enotam

Funkcionalna organizacijska struktura



- Projekt se izvaja znotraj funkcionalne enote

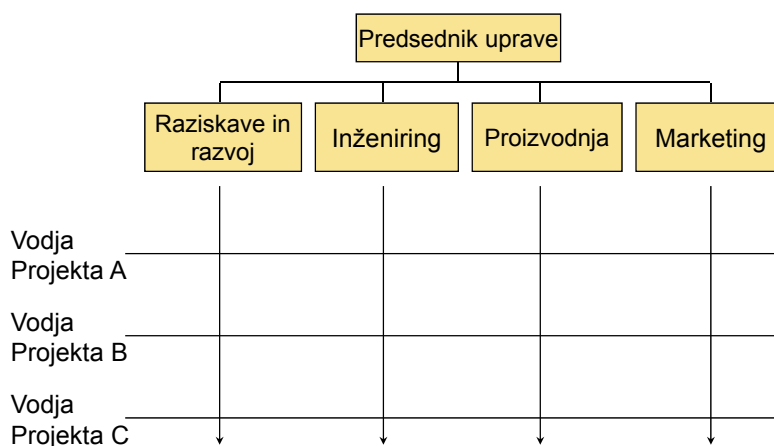


Funkcionalna organizacijska struktura



- Prednosti
 - član projektne skupine lahko dela na več projektih
 - v okviru funkcionalne enote se vzdržuje tehnično strokovno znanje
 - člani pripadajo funkcionalni enoti po koncu projekta
 - kritična masa specializiranega znanja
- Slabosti
 - vidiki projekta, ki niso neposredno povezani s funkcionalno enoto, se pogosto zanemarjajo
 - pogosto šibka motivacija članov projektne skupine
 - potrebe stranke so v drugem planu in se nanje skupina pogosto prepočasi odziva

Matrična organizacijska struktura projekta



Matrična organizacijska struktura projekta

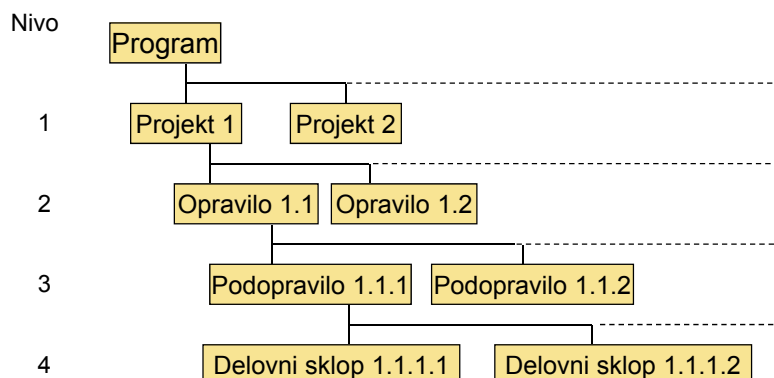


- Prednosti
 - izboljšana komunikacija med funkcionalnimi enotami
 - precizna odgovornost
 - minimalno podvojevanje virov
 - člani projektne skupine pripadajo funkcionalni enoti
 - upoštevanje politik krovne organizacije
- Slabosti
 - preveč vodij
 - uspeh projekta je odvisen od pogajalskih sposobnosti vodje projekta
 - potencialna pod-optimizacija

Členjena delitev dela

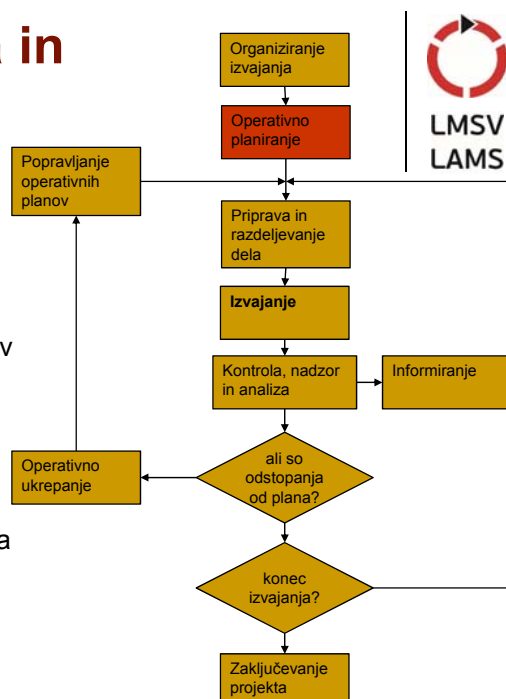


- Work Breakdown Structure – WBS
 - definira hierarhijo projektnih opravil, podopravil in delovnih sklopov (work packages)



Faze planiranja in vodenja projektov

- Organiziranje izvajanja
- Operativno planiranje
 - izdelava terminskih planov
- Ponavljajoče izvajanje
 - priprava in razdeljevanje dela
 - izvajanje dela
 - kontrola, nadzor in analiza ter informiranje
 - operativno ukrepanje in popravljanje



4.3 Mrežno planiranje

- Metoda operativnega planiranja projektov
 - celovit prikaz v okviru projekta potrebnih diskretnih opravil, aktivnosti oz. dogodkov s pomočjo mrežnega diagrama
- Mrežni diagram
 - zaporedje in medsebojne odvisnosti opravil, aktivnosti oz. aktivnosti in dogodkov, potrebnih za realizacijo projekta
 - končen progresiven, usmerjen, povezan, ovrednoten graf z enim vhodom in enim izhodom
 - skozi graf vodi vsaj ena nepretrgana pot
 - ni možno vračanje na predhodno vozlišče
 - vsakemu vozlišču ali vsaki povezavi je prirejena časovna vrednost – trajanje

Mrežni diagram



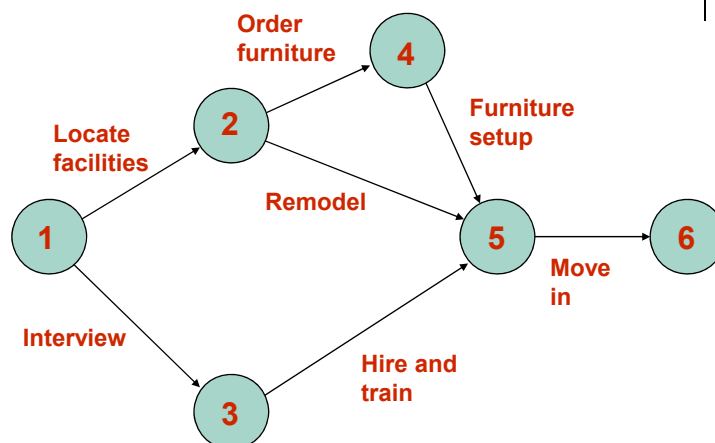
- Dva načina predstavitve
 - Activity-on-arrow (AOA)
 - predstavitev mrežnega diagrama, v kateri so aktivnosti predstavljene s puščicami (povezavami med vozlišči)
 - Activity-on-node (AON)
 - predstavitev mrežnega diagrama, v kateri so aktivnosti predstavljene z vozlišči
- Aktivnosti
 - koraki v projektu, ki porabljajo vire in/ali čas
- Dogodki
 - pričetek in konec aktivnosti, pri načinu risanja AOA predstavljene z vozlišči grafa

Mrežni diagram

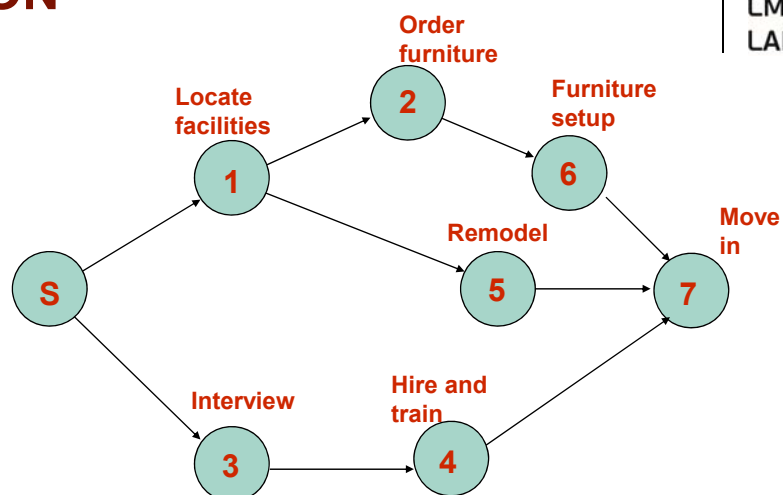


- Pot
 - zaporedje aktivnosti, ki vodi oz začetnega do končnega vozlišča
- Kritična pot
 - najdaljša pot; določa pričakovano trajanje projekta
- Kritične aktivnosti
 - aktivnosti na kritični poti
- Prosti čas (slack)
 - dovoljen časovni zamik poti; razlika med dolžino poti in dolžino kritične poti

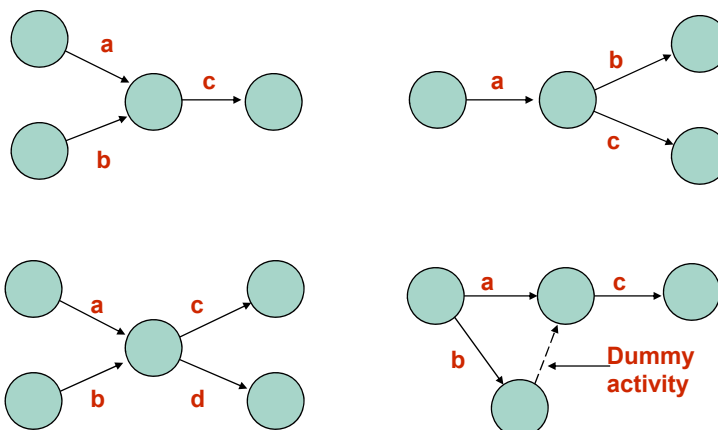
Primer mrežnega diagrama AOA



Primer mrežnega diagrama AON



Risanje mrežnih diagramov



Metode mrežnega planiranja



- **Deterministične**
 - znan je cilj in vse aktivnosti potrebne za dosego cilja
 - v tehnološko in logično predpisanem zaporedju je potrebno opraviti vse predvidene aktivnosti
 - trajanja aktivnosti so določena
- **Stohastične**
 - cilj ni eksaktno definiran in ni nujno dosegljiv
 - za dosego cilja potrebne aktivnosti niso popolnoma poznane
 - ni nujno opraviti vseh aktivnosti, to je lahko pogojeno z rezultati predhodnih aktivnosti
 - znana so le verjetna območja trajanja aktivnosti

Metode mrežnega planiranja



- Na aktivnosti orientirane metode
 - bistvene so povezave v mrežnem diagramu
- Na dogodke orientirane metode
 - bistveni so dogodki v mreži
- Osnovne metode
 - metoda kritične poti (CPM)
 - tehnika ocene in preverjanja programa projekta (PERT)
 - METRA metoda potencialov z dodano tehniko precedenčnih diagramov (MPM/PD)
 - grafična tehnika ocenjevanja in nadzora programa projekta (GERT)

Faze pri mrežnem planiranju



- Osnovne faze
 - analiza strukture projekta
 - analiza časov
 - izbor, dodeljevanje in zasedanje virov
- Dodatni fazi
 - uravnavanje obremenitve virov
 - izračun analiza in optimizacija stroškov
- Osnovne faze se pogosto izvajajo delno vzporedno
 - razen izbora in definicije virov

Metodi CPM in PERT



- Obe metodi sta bili razviti v 50. letih 20. stoletja
- Metoda CPM – Critical Path Method
 - razvita za potrebe planiranja vzdrževalnih zaustavitev v kemičnih tovarnah korporacije Du Pont
 - predpostavljamo, da je trajanje posameznega opravila natančno poznano
- PERT – Program Evaluation and Review Technique
 - izboljšava metode kritične poti, razvita za potrebe ameriške mornarice pri projektu razvoja rakete Polaris
 - trajanje opravila obravnavamo kot slučajno spremenljivko z znano porazdelitvijo
 - običajno privzamemo, da ima trajanje porazdelitev beta

Metodi CPM in PERT



- Metodi uporabljata predstavitev projekta v obliki mrežnega diagrama
- Pot skozi mrežo aktivnosti, ki traja najdalj časa, imenujemo **kritična pot**
- Kritična pot omogoča pridobivanje širokega nabora informacij o razvrstitvi opravil, ki jih lahko koristno uporabimo pri vodenju projekta
 - nakaže najbolj kritične aktivnosti
 - omogoča oceno trajanja projekta
 - pokaže, kje zakasnitve ne bodo vplivale na rok dokončanja projekta

Metodi CPM in PERT



- Za uporabo metod CPM in PERT morajo biti izpolnjene nekatere predpostavke
 - dobro definirana opravila ali naloge, katerih dokončanje pomeni tudi dokončanje projekta
 - neodvisnost opravil ali nalog
 - znano zaporedje opravil
- Ker imata metodi skupno osnovo, ju bomo v nadaljevanju obravnavali kot dve različici metode kritične poti

Različice metode kritične poti



- Metoda z eno oceno trajanja aktivnosti (CPM)
 - uporabna, če poznamo čase trajanja z veliko gotovostjo
 - določamo oceno trajanja projekta, čas pričetka vsake aktivnosti projekta in prosti čas zamika aktivnosti
- Metoda s tremi ocenami časa trajanja (PERT)
 - uporabna, če so časi trajanja nedoločeni
 - določamo iste informacije kot pri CPM, a tudi informacije o verjetnosti
- Metoda kritične poti s časovno-stroškovno analizo
 - uporabna, če je pri planiranju projekta najpomembnejši stroškovni vidik
 - določamo najmanjši strošek pri skrajševanju skupnega časa projekta

Koraki metode CPM z eno oceno trajanja aktivnosti



1. Identifikacija aktivnosti
2. Določanje zaporedja aktivnosti in konstrukcija mrežnega diagrama
3. Določanje kritične poti
 - iz kritične poti določimo vse časovne informacije o projektu in aktivnostih projekta
 - pri aktivnostih določamo
 - najzgodnejše čase začetka – ES: early start
 - najzgodnejše čase dokončanja – EF: early finish
 - najkasnejše čase začetka – LS: late start
 - najkasnejše čase dokončanja – LF: late finish

Primer metode CPM



- Privzamemo svetovalni projekt

Aktivnost	Oznaka	Nep. predh.	Čas (Tedni)
Določanje potreb naročnika	A	/	2
Pisanje in oddaja predloga	B	A	1
Pridobitev odobritve	C	B	1
Razvoj storitvene vizije in ciljev	D	C	2
Usposabljanje zaposlenih	E	C	5
Pilotne skupine izbolj. kakovosti	F	D, E	5
Pisanje končnega poročila	G	F	1

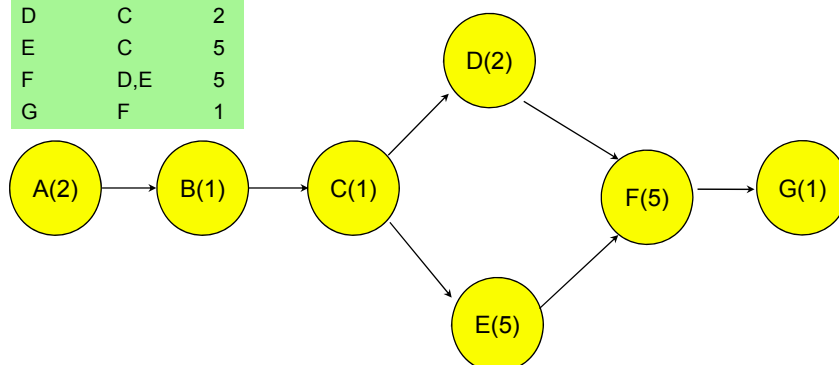
- Želimo sestaviti mrežni diagram ter določiti trajanje kritične poti in proste čase začetka aktivnosti

Risanje mrežnega diagrama

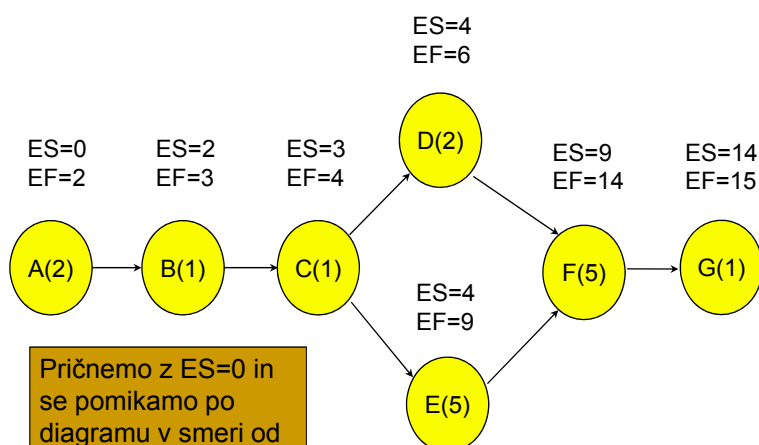


Akt.	Nep. predh.	Čas
A	/	2
B	A	1
C	B	1
D	C	2
E	C	5
F	D,E	5
G	F	1

A	/	2
B	A	1
C	B	1
D	C	2
E	C	5
F	D,E	5
G	F	1

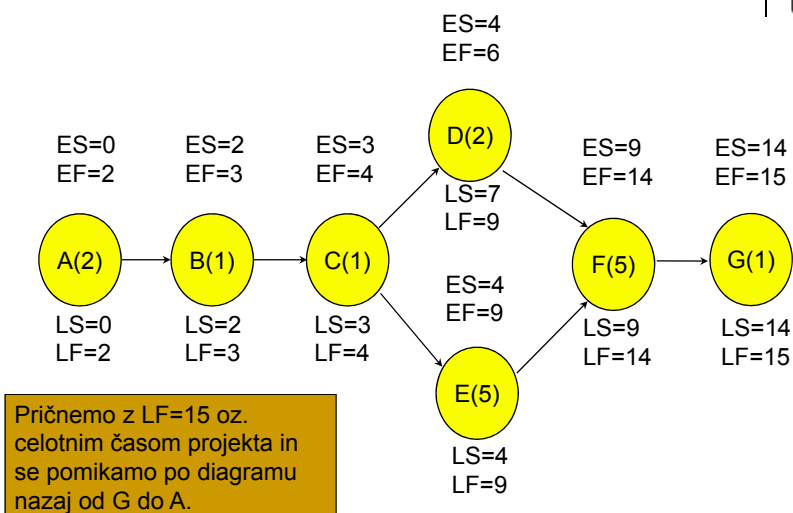


Določanje najzgodnejših časov začetka in dokončanja

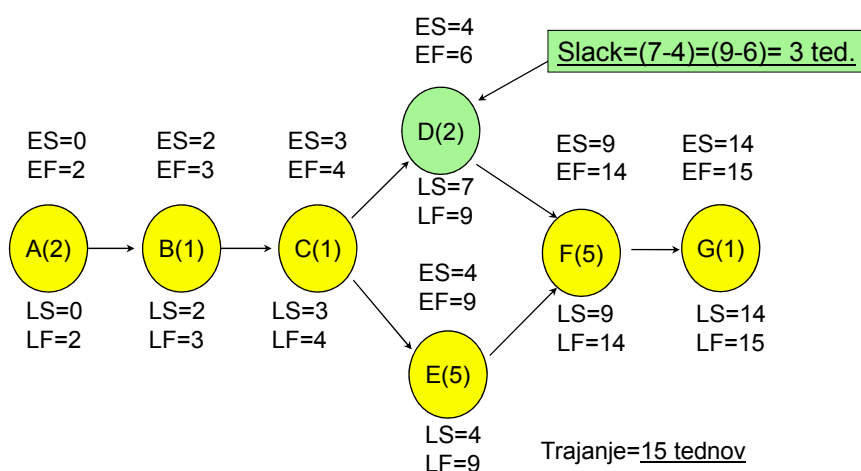


Pričnemo z ES=0 in se pomikamo po diagramu v smeri od A do G.

Določanje najkasnejših časov začetka in dokončanja



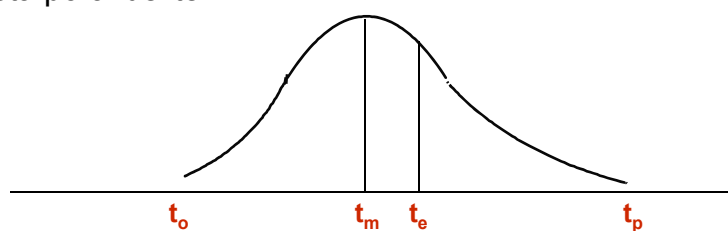
Kritična pot in prosti čas (slack)



Verjetnostna ocena



Beta porazdelitev



start **optimistična** **najverjetnejše** **pesimistična**
aktivnosti **ocena časa** **trajanje (mode)** **ocena časa**

Pričakovani čas in varianca



$$t_e = \frac{t_o + 4t_m + t_p}{6}$$

$$\sigma^2 = \frac{(t_p - t_o)^2}{36}$$

t_e = pričakovani čas
 t_o = optimistična ocena
 t_m = najverjetnejši čas
 t_p = pesimistična ocena

σ^2 = varianca

Primer 2 – Metoda s tremi ocenami časa trajanja (PERT)



Opravo	Neposredni predhodniki	Optimistična ocena	Najverjetnejša ocena	Pesimistična ocena
A	None	3	6	15
B	None	2	4	14
C	A	6	12	30
D	A	2	5	8
E	C	5	11	17
F	D	3	6	15
G	B	3	9	27
H	E,F	1	4	7
I	G,H	4	19	28

Primer 2 – računanje pričakovanih časov



Opravilo	Neposredni predhodniki	Pričakovani čas
A	None	7
B	None	5.333
C	A	14
D	A	5
E	C	11
F	D	7
G	B	11
H	E,F	4
I	G,H	18

$$ET(A) = \frac{3+4(6)+15}{6}$$

$$ET(A) = 42/6 = 7$$

Opravo	Neposredni predhodniki	Optimistična ocena	Najverjetnejša ocena	Pesimistična ocena
A	None	3	6	15
B	None	2	4	14
C	A	6	12	30
D	A	2	5	8
E	C	5	11	17
F	D	3	6	15
G	B	3	9	27
H	E,F	1	4	7
I	G,H	4	19	28

Primer 2 – računanje pričakovanih časov



Opravilo	Neposredni predhodniki	Pričakovani čas
A	None	7
B	None	5.333
C	A	14
D	A	5
E	C	11
F	D	7
G	B	11
H	E,F	4
I	G,H	18

$$ET(B) = \frac{2+4(4)+14}{6}$$

6

$$ET(B) = 32/6 = 5.333$$

Opravilo	Neposredni predhodniki	Optimistična ocena	Najverjetnejša ocena	Pesimistična ocena
A	None	3	6	15
B	None	2	4	14
C	A	6	12	30
D	A	2	5	8
E	C	5	11	17
F	D	3	6	15
G	B	3	9	27
H	E,F	1	4	7
I	G,H	4	19	28

Primer 2 – računanje pričakovanih časov



Opravilo	Neposredni predhodniki	Pričakovani čas
A	None	7
B	None	5.333
C	A	14
D	A	5
E	C	11
F	D	7
G	B	11
H	E,F	4
I	G,H	18

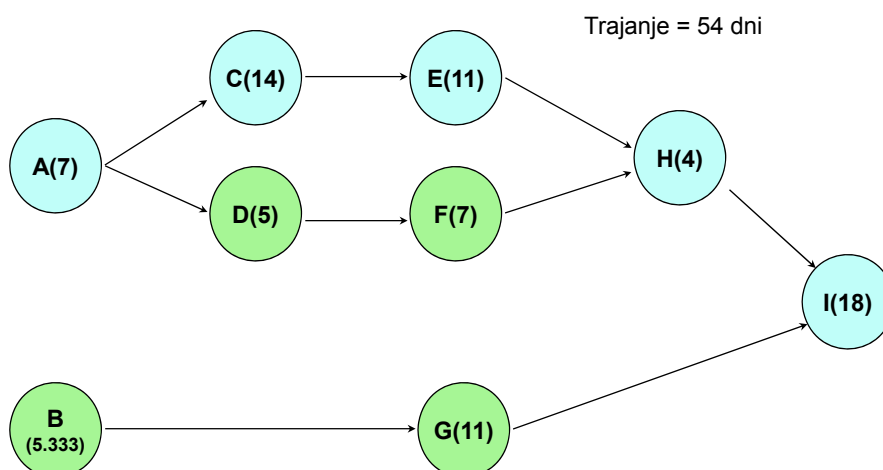
$$ET(C) = \frac{6+4(12)+30}{6}$$

6

$$ET(C) = 84/6 = 14$$

Opravilo	Neposredni predhodniki	Optimistična ocena	Najverjetnejša ocena	Pesimistična ocena
A	None	3	6	15
B	None	2	4	14
C	A	6	12	30
D	A	2	5	8
E	C	5	11	17
F	D	3	6	15
G	B	3	9	27
H	E,F	1	4	7
I	G,H	4	19	28

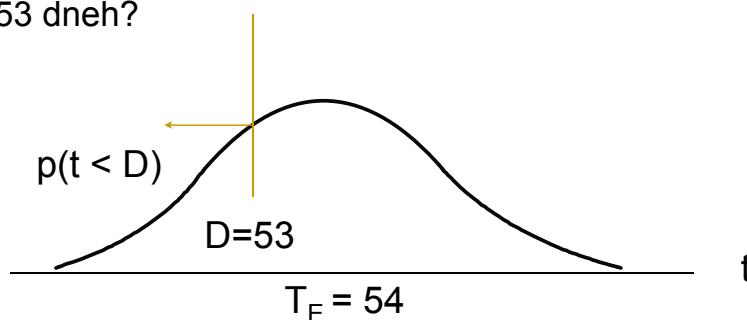
Primer 2 – mrežni diagram



Primer 2 – verjetnostni izračun



- Kakšna je verjetnost, da bo projekt končan prej kot v 53 dneh?



$$Z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{cp}^2}}$$

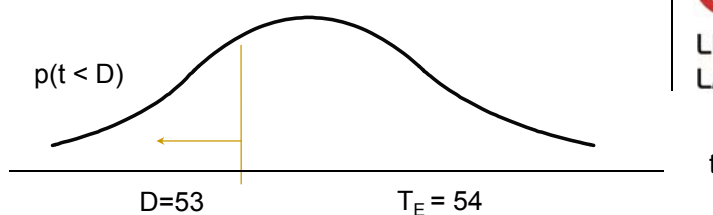
Primer 2 – verjetnostni izračun



Opravilo	t_o	t_m	t_p	var
A	3	6	15	4
B	2	4	14	
C	6	12	30	16
D	2	5	8	
E	5	11	17	4
F	3	6	15	
G	3	9	27	
H	1	4	7	1
I	4	19	28	16

$$\text{var}(\text{akt}) = \sigma^2 = \left(\frac{t_p - t_o}{6}\right)^2$$

Seštejemo variance *na kritični poti*: $\sum \sigma^2 = 41$



$$Z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{cp}^2}} = \frac{53 - 54}{\sqrt{41}} = -0.156$$

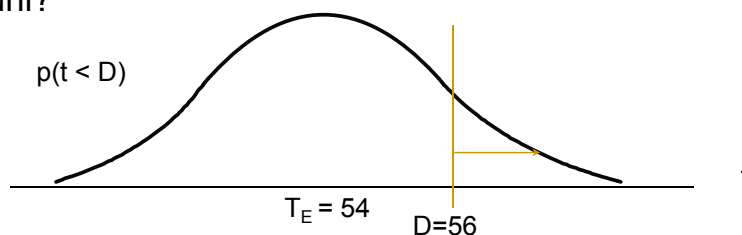
$p(Z < -0.156) = 0.438$, oz. 43.8 % (NORMSDIST(-.156))

Obstaja 43.8% verjetnost, da bo projekt končan v manj kot 53 dneh.

Primer 2 – dodatno vprašanje



- Kakšna je verjetnost, da bo projekt trajal več kot 56 dni?



$$Z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{cp}^2}} = \frac{56 - 54}{\sqrt{41}} = 0.312$$

$p(Z > .312) = \mathbf{0.378}$, oz. **37.8 %** (1-NORMSDIST(.312))

Metoda kritične poti s časovno-stroškovno analizo



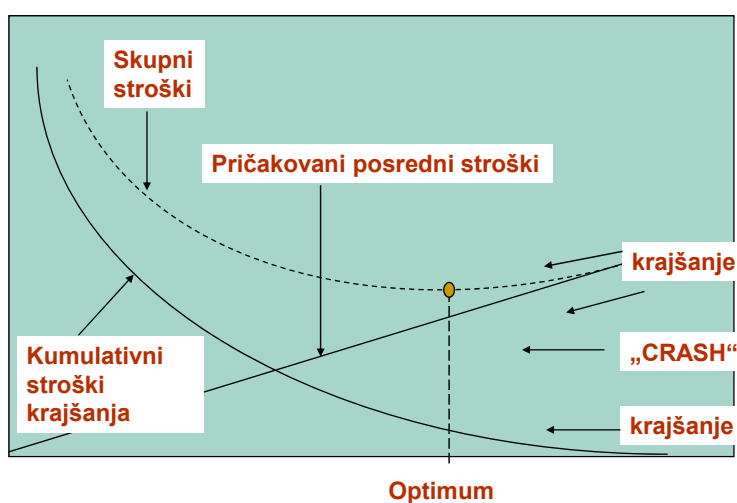
- Osnovna predpostavka:
 - odvisnost med časom dokončanja aktivnosti in stroški projekta
- Metoda kritične poti s časovno-stroškovno analizo
 - določanje optimalnega kompromisa med časom in stroški
 - neposredni stroški aktivnosti
 - posredni stroški projekta
 - časi dokončanja aktivnosti

Metoda kritične poti s časovno-stroškovno analizo



- Krajšanje trajanja aktivnosti – „Crash“
 - povezano s povečevanjem stroškov
- Okvirni postopek
 - skrajšujemo projekt za eno časovno enoto naenkrat
 - obravnavamo le aktivnosti na kritični poti
 - krajšamo najcenejšo aktivnost
 - v primeru več kritičnih poti: iščemo vsote stroškov krajšanja najcenejših aktivnosti na vsaki kritični poti

Kompromis med trajanjem in stroški

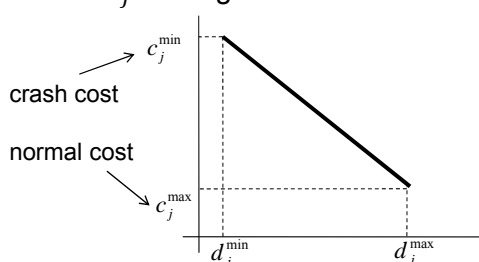


Določanje kompromisa med trajanjem in stroški



• Predpostavke

- z dodatnim investiranjem (dodatnimi viri), lahko skrajšamo čas trajanja aktivnosti (d_j)
- privzamemo linearno odvisnost med vloženimi sredstvi in d_j
- min. in maks. trajanje d_j^{\min}, d_j^{\max} (normal time, crash time)
- c_j = marginalni strošek zmanjšanja d_j :



$$c_j = \frac{c_j^{\min} - c_j^{\max}}{d_j^{\max} - d_j^{\min}}$$

$$\text{str}(d_j) = c_j^{\max} + c_j(d_j^{\max} - d_j)$$

c_0 = fiksni stroški na časovno enoto trajanja aktivnosti

Hevristično določanje kompromisa



• Definicije:

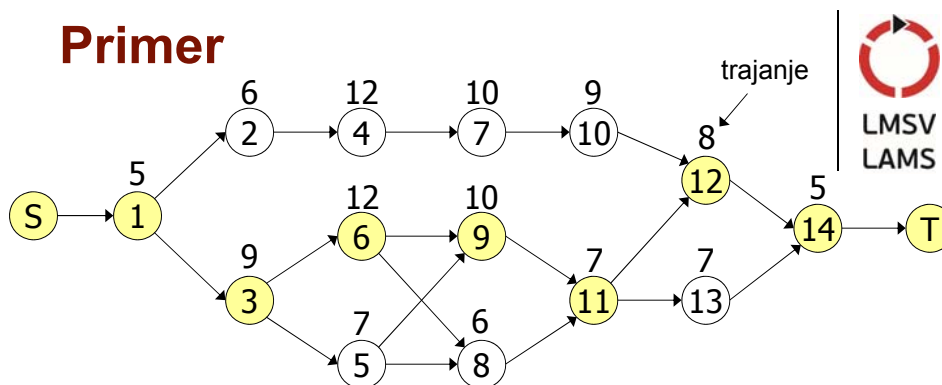
- izvorno in ponorno vozlišče v mrežnem diagramu
- kritična pot: (časovno) najdaljša pot med izvornim in ponornim vozliščem
- G_{cp} = podgraf kritične poti (ali kritičnih poti)
- prerezna množica (cut set): množica vozlišč v podgrafu G_{cp} , katerih odstranitev prekine povezavo med izvornim in ponornim vozliščem mrežnega diagrama
- minimalna prerezna množica: če vrnemo eno vozlišče v graf, poveže izvorno in ponorno vozlišče

Hevristični postopek



- Korak 1: Postavimo $d_j = d_j^{max}$ ($\forall j$)
Določimo G_{cp}
- Korak 2: Določimo vse minimalne prerezne množice mcs v G_{cp} ; upoštevamo le tiste, v katerih so vsi časi trajanja večji od d_j^{min} : $d_j > d_j^{min}$
Če ni takšne množice: STOP
- Korak 3: Za vsako mcs izračunamo stroške zmanjšanja vseh d_j za eno časovno enoto.
Naj bo mcs * tista množica, za katero izračunamo najmanjše stroške.
Če so najmanjši stroški $< c_0 \Rightarrow$ uveljavimo spremembe, na novo določimo G_{cp} in gremo na Korak 1, sicer STOP

Primer



kritična pot: $cp = 56 = 1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 14$

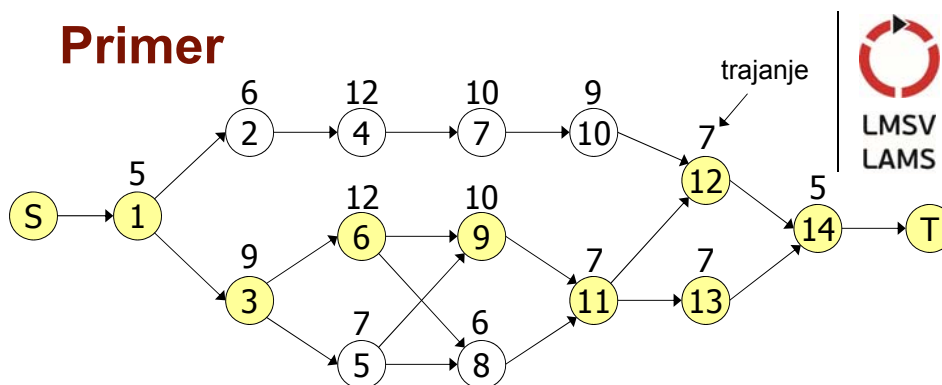
c_0 = fiksni stroški na časovno enoto = 6

minimalne prerezne množice: $\{1\}, \{3\}, \{6\}, \{9\}, \{11\}, \{12\}, \{14\}$

npr. da sta minimalni prerezni množici z najmanjšimi stroški

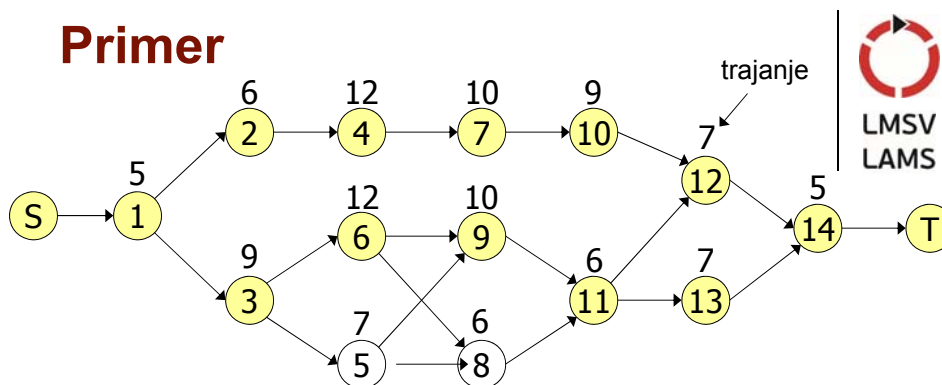
skrajšanja $\{11\}, \{12\}$ ($c_j = 2$)

$c_{12} = 2 < c_0 = 6 \Rightarrow$ prihranek 4 $\Rightarrow d_{12} := 7$



kritični poti: $cp = 55 : 1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 11 \rightarrow \{12,13\} \rightarrow 14$
 minimalne prerezne množice: $\{1\}, \{3\}, \{6\}, \{9\}, \{11\}, \{12,13\}, \{14\}$
 minimalna prerezna množica z najmanjšimi stroški skrajšanja
 je sedaj $\{11\}$ ($c_j = 2$)

$$c_{11} = 2 < c_0 = 6 \Rightarrow \text{prihranek } 4 \Rightarrow d_{11} := 6$$



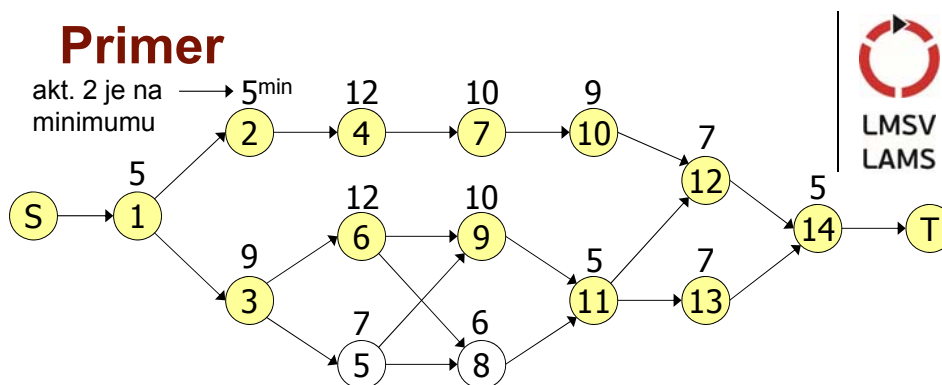
kritične poti: $cp = 54 : 1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 11 \rightarrow \{12,13\} \rightarrow 14$
 $ali : 1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14$

minimalne prerezne množice:

$$\{1\}, \{i, j\} : i \in \{2,4,7,10,12\} + j \in \{3,6,9,11\}, \{12,13\}, \{14\}$$

privzemimo, da je minimalna prerezna množica z najmanjšimi
 stroški skrajšanja $\{2,11\}$ ($c_j = 2$)

$$c_2 + c_{11} = 4 < c_0 = 6 \Rightarrow \text{prihranek } 2 \Rightarrow d_2 := 5^*, d_{11} := 5$$



kritične poti: $cp = 53 : 1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 11 \rightarrow \{12,13\} \rightarrow 14$

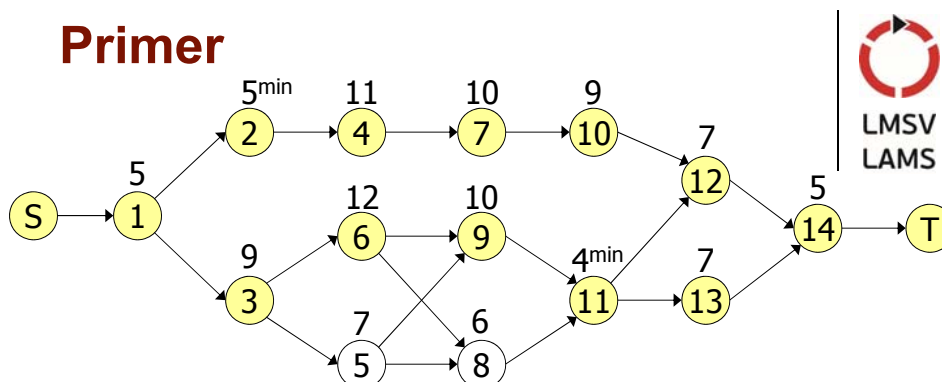
ali : $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14$

minimalne prerezne množice:

$\{1\}, \{i, j\} : i \in \{4,7,10,12\} + j \in \{3,6,9,11\}, \{12,13\}, \{14\}$

privzemimo, da je minimalna prerezna množica z najmanjšimi stroški skrajšanja $\{4, 11\}$ ($c_4 = 3, c_{11} = 2$)

$c_4 + c_{11} = 5 < c_0 = 6 \Rightarrow$ *prihranek* $1 \Rightarrow d_4 := 11, d_{11} := 4^*$



kritične poti: $cp = 52 : 1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 11 \rightarrow \{12,13\} \rightarrow 14$

ali : $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14$

minimalne prerezne množice:

$\{1\}, \{i, j\} : i \in \{4,7,10,12\} + j \in \{3,6,9\}, \{12,13\}, \{14\}$

privzemimo, da je minimalna prerezna množica z najmanjšimi stroški skrajšanja $\{4,6\}$ ($c_j = 3$)

$c_4 + c_6 = 6 \not< c_0 = 6 \Rightarrow$ *ni prihranka* $\Rightarrow STOP$

Določanje kompromisa z linearnim programiranjem



Odločitvene spremenljivke:

x_j = najzgodnejši začetek aktivnosti j

d_j = trajanje aktivnosti j

Minimizacija stroškov: $\min c_0 C_{\max} + \sum_j (c_j^{\max} + c_j(d_j^{\max} - d_j))$

Omejitve:

precedenčne relacije: $x_k - d_j - x_j \geq 0$ (if $j \rightarrow k$)

max/min časi trajanja: $d_j \leq d_j^{\max}, d_j \geq d_j^{\min}$

določanje C_{\max} : $C_{\max} \geq x_j + d_j$ ($\forall j$)

vse spremenljivke ≥ 0 : $x_j \geq 0$

Določanje kompromisa pri nelinearni odvisnosti stroškov



- Pristop z vzorčenim časom:
 - padajoča konveksna kriterijska funkcija

$$\Rightarrow c_j(d_j - 1) - c_j(d_j) \geq c_j(d_j) - c_j(d_j + 1)$$
 - ne-padajoča funkcija fiksnih stroškov $c_0(t)$
 - uporabimo enak hevristični postopek kot pri linearno odvisnih stroških
- Pristop z zveznim časom:
 - nelinearni model z istimi omejitvami kot pri LP-modelu, a z drugačno kriterijsko funkcijo:

$$\int_0^{C_{\max}} c_0(t) dt + \sum_j c_j(d_j)$$

Planiranje z upoštevanjem omejitev virov



- Planiranje brez omejitev je razmeroma preprosto
- Planiranje z omejitvami postane kompleksno
 - če si aktivnosti delijo vire z omejeno razpoložljivostjo, se aktivnosti ne morejo izvajati sočasno \Rightarrow v mrežnem diagramu to označimo z disjunktivnimi povezavami

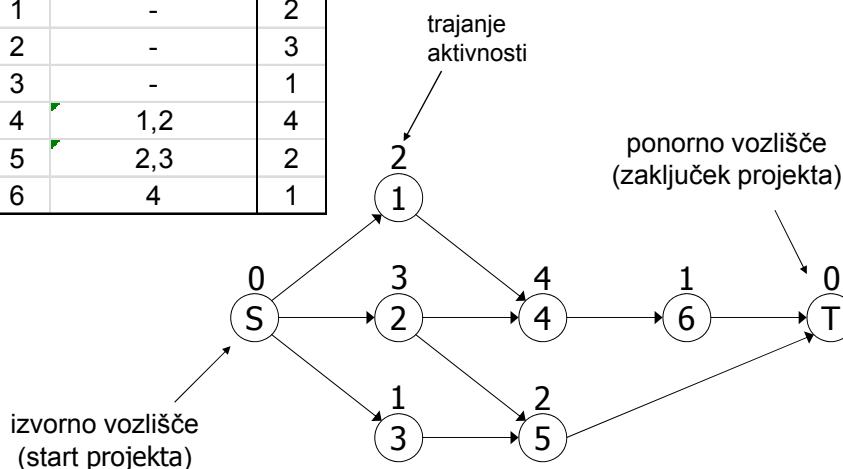
- Primer:



Primer planiranja brez upoštevanja omejitev virov



Akt.	Nep. predhodnik	Čas
1	-	2
2	-	3
3	-	1
4	1,2	4
5	2,3	2
6	4	1



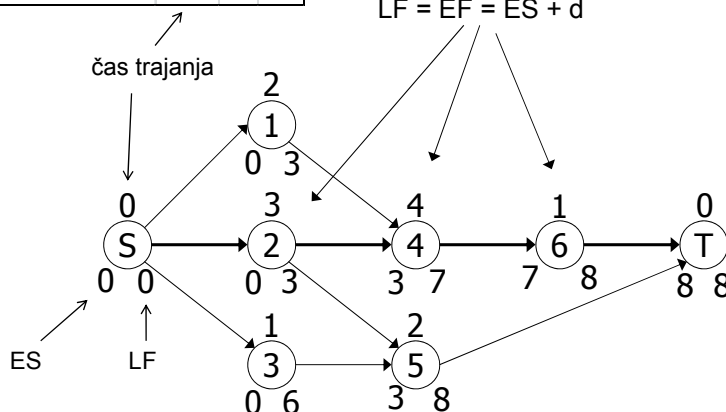
Akt.	Nep. predhodnik	d	ES	LF
1	-	2	0	3
2	-	3	0	3
3	-	1	0	6
4	1,2	4	3	7
5	2,3	2	3	8
6	4	1	7	8

Primer (nadaljevanje)



Prosti čas (slack):
 $s = LF - ES - d$

Kritične aktivnosti ($s=0$):
 $LF = EF = ES + d$



Omejitve virov

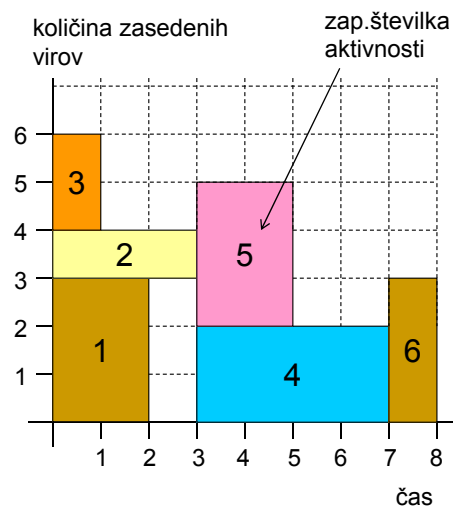
- Privzamemo en vir in določimo potrebe aktivnosti



Akt.	Nep. predhodnik	d	ES	LF	R(1,j)
1	-	2	0	3	3
2	-	3	0	3	1
3	-	1	0	6	2
4	1,2	4	3	7	2
5	2,3	2	3	8	3
6	4	1	7	8	3

potrebe po viru št. 1

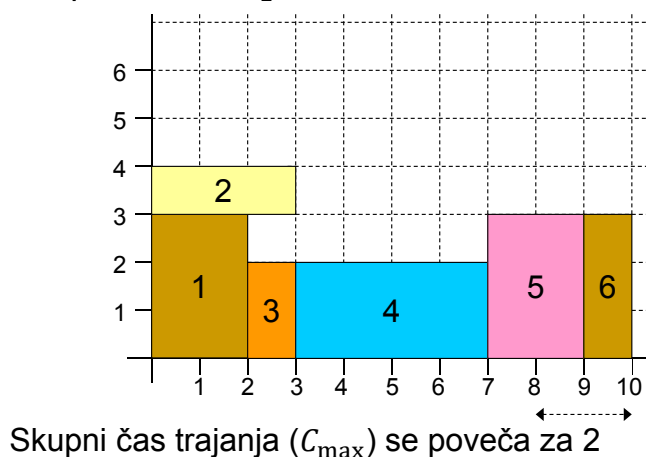
- glede na plan mora biti kapaciteta vira vsaj 6
- če je manj, plan ni izvedljiv





Omejitve virov

- Predpostavimo $R_1 = 4$:



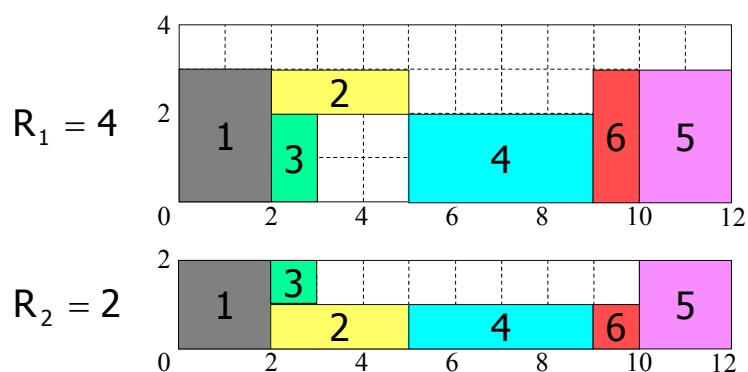
Problem razvrščanja aktivnosti ob omejenih virih



- Resource-Constrained Project Scheduling Problem (RCPSPP)
 - n aktivnosti $j = 1, \dots, n$
 - N virov $i = 1, \dots, N$
 - R_k : razpoložljivost (kapaciteta) vira k
 - d_j : trajanje aktivnosti j
 - R_{kj} : potrebe po viru k pri aktivnosti j
 - P_j : (neposredni) predhodnik aktivnosti j
- Cilj: minimizirati čas projekta $C_{\max} = \max_j C_j'$
- Omejitve:
 - nobena aktivnost se ne more pričeti pred $T = 0$;
 - precedenčne relacije; končne omejitve virov

Primer RCPSP

Akt	d(j)	P(j)	ES	LF	R(1,j)	R(2,j)
1	2	-	0	3	3	2
2	3	-	0	3	1	1
3	1	-	0	6	2	1
4	4	1,2	3	7	2	1
5	2	2,3	3	8	3	2
6	1	4	7	8	3	1



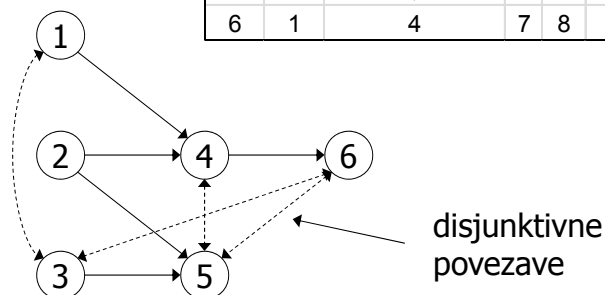
Disjunktivne povezave



Privzemimo $R_1=4$.
Sledeče aktivnosti
se ne morejo
izvajati sočasno:

- akt. 1 in 3
- akt. 3 in 6
- akt. 4 in 5
- akt. 5 in 6

Akt.	d(j)	Nep. predhodnik	ES	LF	R(1,j)
1	2	-	0	3	3
2	3	-	0	3	1
3	1	-	0	6	2
4	4	1,2	3	7	2
5	2	2,3	3	8	3
6	1	4	7	8	3



Metode razvrščanja aktivnosti ob omejenih virih



- Generativne sheme
 - serijska
 - paralelna
- Prioritetna pravila
 - najkasnejši čas zaključka
 - minimalni prosti čas (slack)
- Vzorčne procedure

Generativne sheme – serijska metoda razvrščanja



Vsaka stopnja predstavlja aktivnost $\Rightarrow n$ stopenj

- zaključene aktivnosti: razvrščene aktivnosti
- odločitvena množica: aktivnosti, katerih vsi predhodniki so že bili razvrščeni
- preostale aktivnosti: druge aktivnosti

Postopek:

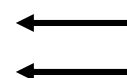
1. Pričnemo s prazno razvrstitvijo
2. Izberemo aktivnost iz odločitvene množice z najvišjo prioriteto in jo razvrstimo, kakor zgodaj je možno
3. Ponavljamo korak 2, če odločitvena množica ni prazna

Primer serijske metode razvrščanja

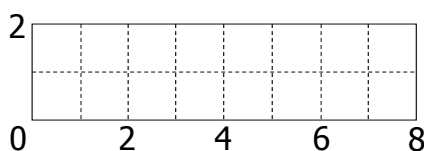


Akt.	p(j)	P(j)	R(1,j)	v(j) (prioriteta)
1	2	-	1	2
2	3	-	1	1
3	3	1	2	2

Odločitvena množica



$R_1 = 2$

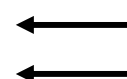


Primer serijske metode razvrščanja

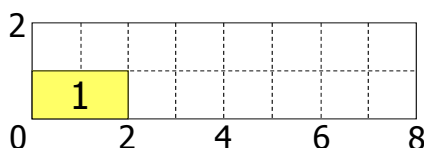


Akt.	p(j)	P(j)	R(1,j)	v(j) (prioriteta)
1	2	-	1	2
2	3	-	1	1
3	3	1	2	2

Odločitvena množica



$R_1 = 2$

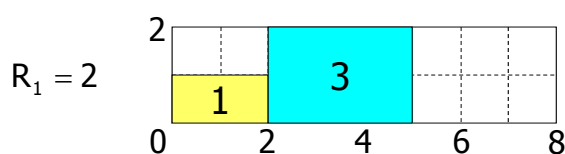


Primer serijske metode razvrščanja



Akt.	p(j)	P(j)	R(1,j)	v(j) (prioriteta)
1	2	-	1	2
2	3	-	1	1
3	3	1	2	2

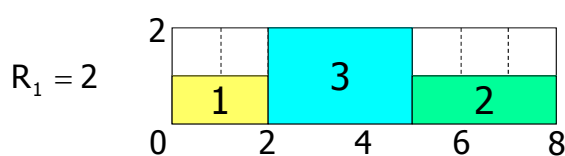
Odločitvena množica



Primer serijske metode razvrščanja



Akt.	p(j)	P(j)	R(1,j)	v(j) (prioriteta)
1	2	-	1	2
2	3	-	1	1
3	3	1	2	2



Generativne sheme – paralelna metoda razvrščanja



- Največ n stopenj
- Vsaka stopnja n predstavlja:
 1. delno razvrstitetv
 2. trenutni čas razvrstitve t_n
 3. štiri množice aktivnosti:
 - zaključene: razvrščene aktivnosti, ki so zaključene ob t_n
 - aktivne: razvrščene aktivnosti, ki še niso zaključene
 - odločitvena množica: nerazvrščene aktivnosti, ki bi jih bilo možno razvrstiti ob t_n
 - preostale: nerazvrščene aktivnosti, ki jih ob t_n ni možno razvrstiti

Paralelna metoda razvrščanja



Postopek:

1. Pričnemo s prazno razvrstitvijo
2. Naj bo T najzgodnejši čas, ob katerem lahko starta nerazvrščena aktivnost; naj bo D množica aktivnosti, ki se lahko pričnejo ob T , in katerih predhodniki so že bili razvrščeni
3. Iz množice D izberemo aktivnost z najvišjo prioriteto in jo razvrstimo od časa T dalje
4. Ponavljamo korak 2, če so še aktivnosti, ki jih je možno razvrstiti

Primer paralelne metode razvrščanja



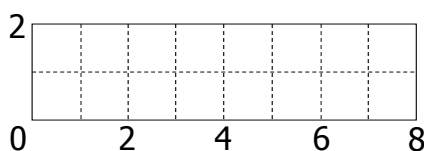
Akt.	p(j)	P(j)	R(1,j)	v(j) (prioriteta)
1	2	-	1	2
2	3	-	1	1
3	3	1	2	2

Odločitvena množica



$T = 0$

$R_1 = 2$



Primer paralelne metode razvrščanja



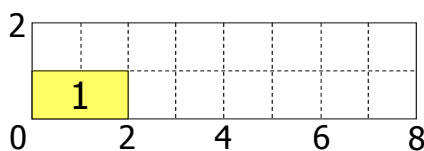
Akt.	p(j)	P(j)	R(1,j)	v(j) (prioriteta)
1	2	-	1	2
2	3	-	1	1
3	3	1	2	2

Odločitvena množica



$T = 0$

$R_1 = 2$



Primer paralelne metode razvrščanja

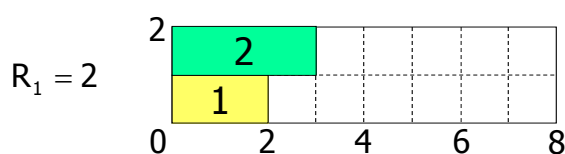


Akt.	p(j)	P(j)	R(1,j)	v(j) (prioriteta)
1	2	-	1	2
2	3	-	1	1
3	3	1	2	2

Odločitvena množica



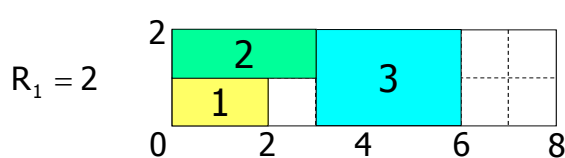
$T = 3$



Primer paralelne metode razvrščanja



Akt.	p(j)	P(j)	R(1,j)	v(j) (prioriteta)
1	2	-	1	2
2	3	-	1	1
3	3	1	2	2



Razvrščanje aktivnosti na podlagi prioriternih pravil



- Pravilo Latest finish time (LFT):

$$v_j = -LF_j$$

- Pravilo Minimum slack (MS):

$$v_j = -(LF_j - d_j - ES_j^*)$$



trenutni najzgodnejši čas pričetka

Primer uporabe prioriternega pravila MS

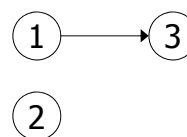
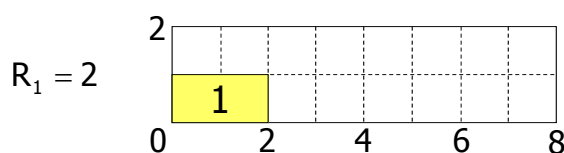


- Serijska shema razvrščanja

Akt.	p(j)	P(j)	R(1,j)	ES	LF	v(j) (prioriteta)
1	2	-	1	0	2	0
2	3	-	1	0	5	-2
3	3	1	2	2	5	0



$$v_j = -(LF_j - d_j - ES_j^*)$$

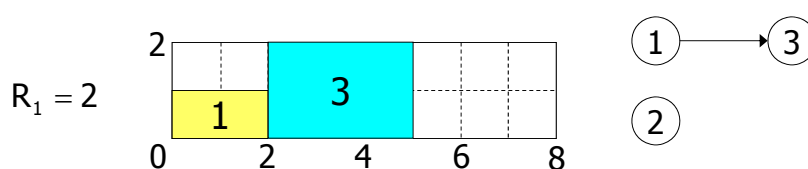


Primer uporabe prioritetnega pravila MS



Akt.	p(j)	P(j)	R(1,j)	ES	LF	v(j) (prioriteta)
1	2	-	1	0	2	
2	3	-	1	0	5	-2
3	3	1	2	2	5	0

$$v_j = -(LF_j - d_j - ES_j^*)$$

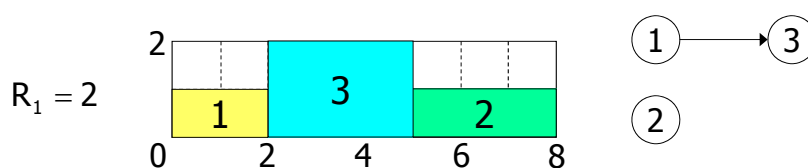


Primer uporabe prioritetnega pravila MS



Akt.	p(j)	P(j)	R(1,j)	ES	LF	v(j) (prioriteta)
1	2	-	1	0	2	
2	3	-	1	0	5	3
3	3	1	2	2	5	

$$v_j = -(LF_j - d_j - ES_j^*)$$





Vzorčne procedure

- Hevristični postopki z večkratnim izvajanjem
 - postopki z multi-prioritetnimi pravili
 - 1 shema razvrščanja, x prioritetenih pravil
 - ⇒ generiramo x razvrstitev, ohranimo najboljšo
 - vzorčne procedure
 - 1 shema razvrščanja, 1 prioritetenno pravilo
 - aktivnosti naključno izbiramo iz odločitvene množice



Tipi vzorčnih procedur

- Naključno vzorčenje
 - vse aktivnosti imajo enako verjetnost: $j \in D : v_j = \frac{1}{|D|}$
- Pristransko naključno vzorčenje
 - aktivnost z višjo prioriteto ima večjo verjetnost, a ne proporcionalno
- Naključno vzorčenje s kompenzacijo
 - aktivnost z višjo prioriteto ima proporcionalno večjo verjetnost

Pristransko naključno vzorčenje



Verjetnost, da izberemo aktivnost j (P_j):

najprej sortiramo aktivnosti glede na prioriteto
 $[j]$ je položaj aktivnosti j na urejenem seznamu

$$\Rightarrow \begin{cases} P_j = C \cdot \alpha^{[j]}, \\ \text{kjer je: } C = \frac{1}{\sum_i \alpha^i} \\ 0 < \alpha \leq 1 \text{ (bias faktor)} \end{cases}$$

$\alpha = 1$: naključno vzorčenje
 $\alpha \approx 0$: deterministično

Primer pristranskega naključnega vzorčenja



$D = \{1, 2, 3\}$, $v_1 \geq v_3 \geq v_2$, privzemimo $\alpha = 0.5$

\Rightarrow

$$P_1 = C \cdot (0.5)^1 = 0.5 \cdot C$$

$$P_2 = C \cdot (0.5)^3 = 0.125 \cdot C$$

$$P_3 = C \cdot (0.5)^2 = 0.25 \cdot C$$

$$P_1 + P_2 + P_3 = 1 \Rightarrow C = \frac{8}{7}$$

$$\begin{cases} P_j = C \cdot \alpha^{[j]}, \\ \text{kjer je: } C = \frac{1}{\sum_i \alpha^i} \\ 0 < \alpha \leq 1 \text{ (bias faktor)} \end{cases}$$

Naključno vzorčenje s kompenzacijo



- Kompenzacija aktivnosti = razlika med vrednostjo prioritete in skupno najnižjo prioriteto:

$$w_j = v_j - \min_i v_i$$

- Verjetnost izbire aktivnosti:

$$P_j = C \cdot (w_j + 1)^\alpha \quad (\Rightarrow P_j > 0)$$

$$\text{kjer je: } C = \frac{1}{\sum_i (w_i + 1)^\alpha}, \quad \alpha = \text{bias faktor } (\geq 0)$$

- $\alpha = 0$: naključno vzorčenje; $\alpha = \infty$: deterministično

$$\hookrightarrow P_j = 1/n$$

Primer naključnega vzorčenja s kompenzacijo



$$D = \{1,2\}, v_1 = 2; v_2 = 1, \text{ predpostavimo: } \alpha = 0.5$$

$$\min_{i \in D} v_i = v_2 = 1$$

$$w_1 = v_1 - \min_{i \in D} v_i = 2 - 1 = 1 \Rightarrow P_1 = C \cdot (w_1 + 1)^{0.5} = C \cdot \sqrt{2}$$

$$w_2 = v_2 - \min_{i \in D} v_i = 1 - 1 = 0 \Rightarrow P_2 = C \cdot (w_2 + 1)^{0.5} = C$$

$$P_1 + P_2 = 1 \Rightarrow C = \frac{1}{(\sqrt{2} + 1)} \approx 0.41$$

$$\Rightarrow P_1 \approx 0.59 \text{ in } P_2 \approx 0.41$$

Predpostavke in omejitve mrežnega planiranja

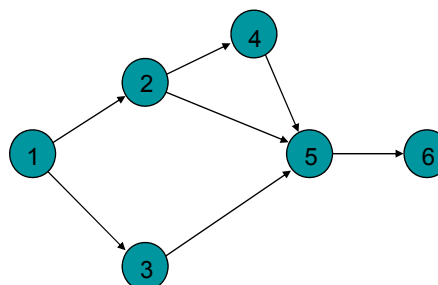


- Projektne aktivnosti obravnavamo kot entitete (za vsako aktivnost je možno natančno določiti začetno in končno točko)
- Zaporedne relacije projektних aktivnosti je možno določiti in povezati
- Vodenje projekta se osredotoča na kritično pot
- Pri metodi PERT se trajanje aktivnosti podreja porazdelitvi beta, ob predpostavki da je varianca trajanja projekta določena z vsoto varianc trajanja aktivnosti vzdolž kritične poti

Prednosti mrežnega planiranja



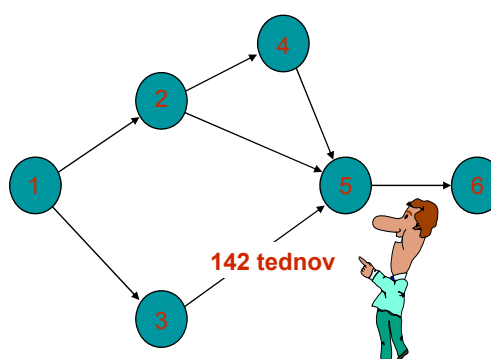
- Sili vodje projektov k organizaciji
- Omogoča grafično predstavitev aktivnosti
- Identificira
 - kritične aktivnosti
 - aktivnosti z ohlapno določenimi časi pričetka/konca



Slabosti mrežnega planiranja



- Lahko izpustimo pomembne aktivnosti
- Plan lahko razvijamo ob napačnih predpostavkah o precedenčnih relacijah
- Ocene časov so lahko vprašljive
- Osredotoča se na kritično pot, problemi so lahko drugače



Programska orodja za vodenje projektov



- Enouporabniški sistemi, desktop-based
 - za enega uporabnika, npr. vodjo projektov, oz. manjše število ljudi, ki delajo na projektu
 - v manjših organizacijah
- Skupinska orodja, web-based
 - podpora več uporabnikom, ki sočasno planirajo projekt
 - dostop preko brskalnikov, tudi tablic in pametnih telefonov
 - tudi delo off-line, možnost kasnejše sinhronizacije
- Osebna orodja (personal)
 - za domačo rabo (lifestyle or home projects)
 - enostaven vmesnik

Programska orodja za vodenje projektov



- Integrirana orodja
 - kombinirajo upravljanje projektov ali planiranje projektov z drugimi vidiki delovanja podjetja
 - specializirana orodja kot SourceForge integrirajo upravljanje projektov z upravljanjem različic (CVS) in sledenjem napak v programski kodi
- Splošna orodja
 - pogosto se uporablja programska oprema, ki ni specifično narejena za vodenje projektov, npr. pisarniška orodja.

Programska orodja za vodenje projektov



- | | |
|-------------------|-----------------|
| ● Clarizen | ● Celoxis |
| ● Genius Project | ● LiquidPlanner |
| ● AtTask | ● EPM Live |
| ● Project Insight | ● eStudio |
| ● ProjectManager | ● Easy Projects |
| ● Daptiv PPM | ● Intervals |
| ● Tenrox | ● MS Project |

Prednosti uporabe programskih orodij za vodenje projektov



- Vsilijo ustrezno metodologijo
- Zagotavljajo logično strukturo planiranja
- Izboljšujejo komunikacijo v projektni skupini
- Opozarjajo na prekoračitve omejitev
- Avtomatsko generirajo poročila
- Različni nivoji poročanja
- Omogočanje preizkušanje „what-if“-scenarijev
- Generirajo različne diagrame