






TEORIJA PLANIRANJA


METODE I TEHNIKE PLANIRANJA
GRAĐENJA, REPLANIRANJE I
OPTIMIZACIJA PLANOVA

Dr Snežana Mitrović, dig

- 
- KIBERNETIKA- nauka o procesima upravljanja: u životu organizama (bionika), u automatskim uređajima (tehnička kibernetika), u društvu u kome živimo (ekonomska kibernetika).
 - Ekonomska kibernetika - problemi upravljanja, planiranja i optimalnog iskorišćenja raspoloživih snaga i sredstava.
 - PLANIRANJE- predviđanje (sagledavanje) budućih događaja. Planiranje je jedna od integralnih funkcija upravljanja.

- 
- Građevinski projekat je niz aktivnosti i zadataka koji
 - mora zadovoljiti određeni cilj unutar određenih posebnosti
 - ima određen datum početka i kraja
 - ima finansijsko ograničenje
 - troši resurse
 - Planovi sa aktivnostima na koje je projekat podeljen, raspoređenim u budućem vremenu, definišu dinamički raspored radne snage, alata, mašina, materijala, novca i svih drugih potrebnih resursa, a pružaju i mogućnost optimizacije prema postavljenim projektnim ciljevima (kriterijumima rangiranim po usvojenim težinskim koeficijentima).


- 
- Planiranjem u građevinarstvu se:
 - povećava verovatnoća realizacije nekog projekta
 - pravilno se utvrđuju troškovi, vreme (rok), kvalitet i raspoloživi rsursi
 - usklađuje veliki broj učesnika (investitor, izvođač, podizvođači, kooperanti, ...)
 - smanjuju rizici

- 
- Planiranje nije jednokratna aktivnost. Tek kada se osigura povratni tok informacija (pomoću kontrole), plan može funkcionisati kao dinamički model. Sa tako dobijenim novim ulaznim podacima, moguće je tražiti različita rešenja za dolazeće akcije, te u novonastalim situacijama utvrditi optimalan put za održavanje ciljeva projekta.
 - Ipak, planovi su samo informacije na papiru ili ekranu i za uspešnost je odgovoran odnos ljudi koji provode njihovo izvršenje, odnosno nastojanje da se izrada zaista sprovede predviđenim putem.

- Poslovanje ne završava tekućim projektom pa je svaki, manje ili više uspešno završen posao, pametno iskoristiti kao određenu pripremu za nadolazeće zadatke. Kako bi se svaki put učinio određeni korak napred, osim sastavnog vođenja baze podataka, treba voditi računa o tome da planovi i po tom pitanju mora da ispune svoju funkciju.
- Planiranje se nikako ne sme dešavati u izolovanim odelenjima i ograničavati na *planere* -specijalizovane poznavaoce tehnika izrade planova. Pravilo je da u izradu planova neizostavno treba da budu uključene vođe radova, tj. oni koji će biti odgovorni za njihovo izvršenje.



- Šta se planira?

- PROSTOR – veličina lokacije i objekta, nivo složenosti radova
 - VREME – rok do koga će projekat biti realizovan
 - TEHNOLOGIJA – tip i količina resursa, tip organizacije građenja, složenost konstruktivnog sistema objekta i sistem građenja
- 



- Faktori uticaja:

- geografski položaj gradilišta
- topografija gradilišta
- geološki sklop, geotehničke i geomehaničke karakteristike tla
- klimatske prilike
- (hidrologija)
- uslovi transporta
- energetske potencijali i snadbevanje vodom
- raspoloživost lokalne radne snage i eventualni uslovi smeštaja
- uslovi nabavke materijala (lokalni izvori) i eventualnog skladištenja
- raspoloživa mehanizacija
- priliv novčanih sredstava
- ...

Šta se utvrđuje planom?

- Šta će se graditi
- Gde će se graditi
- Kad će se graditi i za koje vreme će se završiti radovi
- Uz primenu koje tehnologije i sa kojim angažovanjem resursa
- Kako će se gradnja finansirati
- Eventualna dobit

Tehnika planiranja

- ustanovljavanje vrste radova, radnih procesa i količina
- tehnološko rešenje radova
- rešenje pripremnih radova sa uređenom šemom gradilišta i vremenskim planiranjem izrade tih radova
- određivanje trajanja procesa odnosno aktivnosti
- određivanje radnih dana i kalendarskog vremena u odnosu na radne dane
- koordinacija izvršenja grupa radova
- sinhronizacija uključivanja sredstava proizvodnje (mehanizacija, novac)
- ispitivanje mogućnosti primene taktne podele radova u proizvodnji



OSNOVNI POJMOVI

- Investicioni projekat
- Aktivnost
- Resurs
- Kritični put
- Vremenske rezerve
- Cash flow control (kontrola protoka novca)

PODELA PLANOVA

- Statički planovi
- Dinamički planovi
 - Numerički planovi
 - Grafički planovi
 - Paralelni grafički planovi (gantogrami)
 - Ortogonalni grafički planovi (ciklogrami)
 - Mrežni plan

STATIČKI PLANOVI

- na osnovu predmeta radova:
 - podela radova po strukturi
 - podela radova po radnim operacijama-pozicijama
 - utvrđivanje pripadajućih količina radova
- iskazuju se u vidu tabela:
 - pojedinačni statički planovi (vrste radova, resursi)
 - zbirni statički planovi
- Količine se utvrđuju iz Normativa i standarda rada u građevinarstvu (ili interni normativi preduzeća)

Zbirni statički plan

AKTIVNOSTI	RESURSI															
	Glavni materijali					Mašine					Radna snaga					
	Armatura	Beton	Malter	Keramika	Građevinska stolarija	Toranjski kran	Kamion	Mikser	Bager	Armirači	Betonirci	Monteri	Stolari	Tesari	Zidari	Pomoćni radnici
1 Pripremni radovi		■														■
2 Formiranje gradilišta		■					■		■							■
3 Raščišćavanje zemljišta		■							■							■
4 Nabavka i transport armature i oplata							■									■
5 Nabavka i transport fasadnih elemenata							■									■
6 Grubi građevinski radovi				■	■		■									■
7 Iskop zemlje	■						■									
8 Betoniranje temelja							■				■			■		■
9 Postavljanje kanalizacije														■		■
10 Betoniranje ploče prizemlja							■		■		■			■		■

DINAMIČKI PLANOVI

DINAMIČKI PLANOVI

DIREKTIVNI ILI
OKVIRNI DINAMIČKI
PLAN

PLANOVI
OSNOVNIH
PADOVA

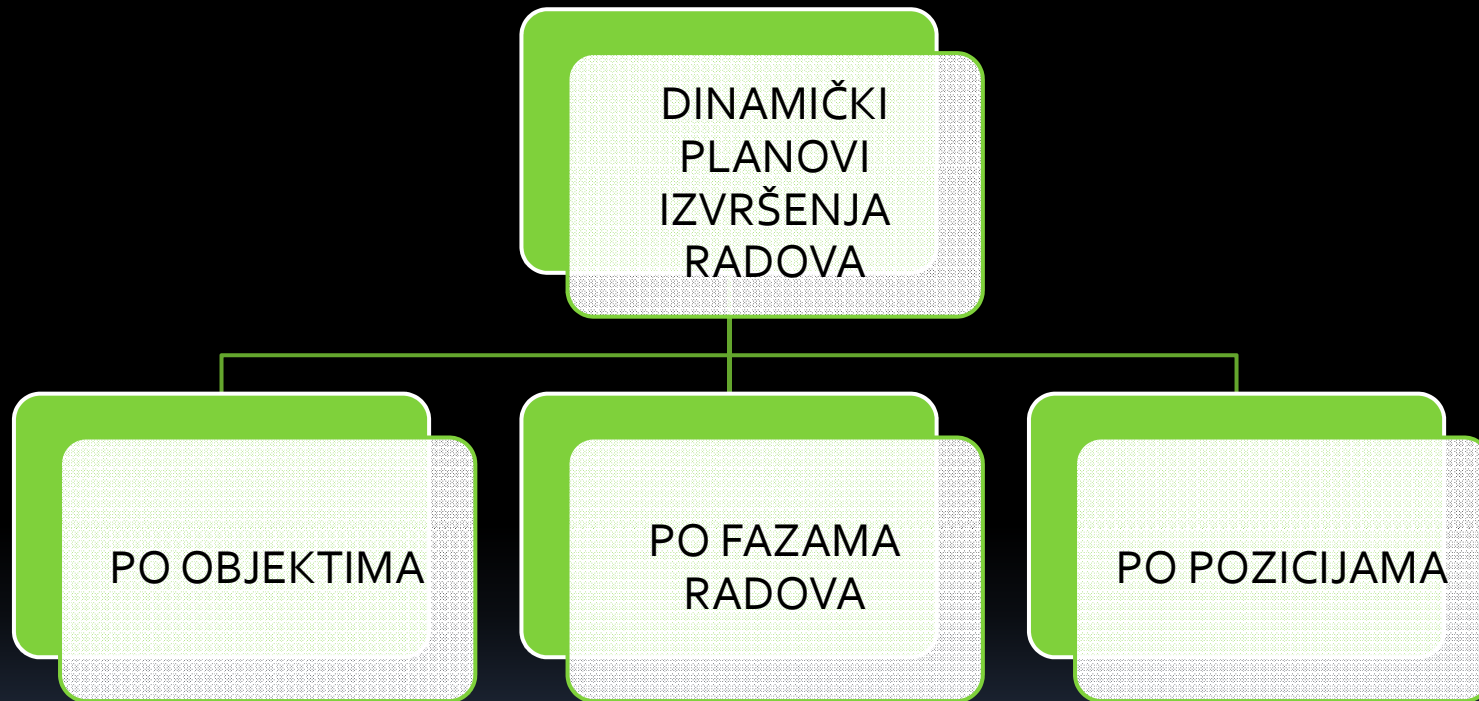
GODIŠNJI
PLAN

DETALJNI ILI
OPERATIVNI
DINAMIČKI PLAN

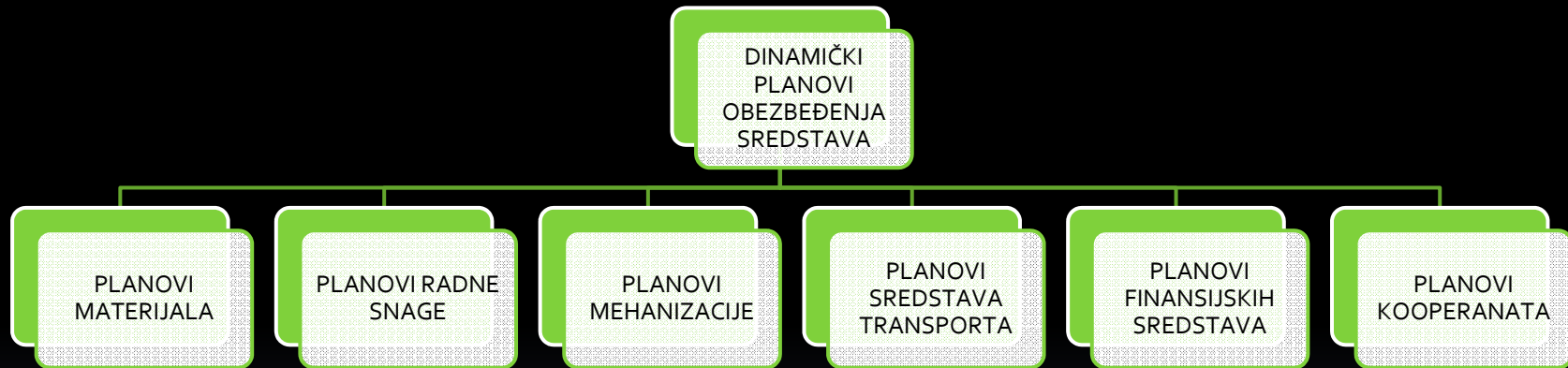
MESEČNI
PLANOVI



PLANOVI
OSNOVNIH
RADOVA

DINAMIČKI PLANOVI

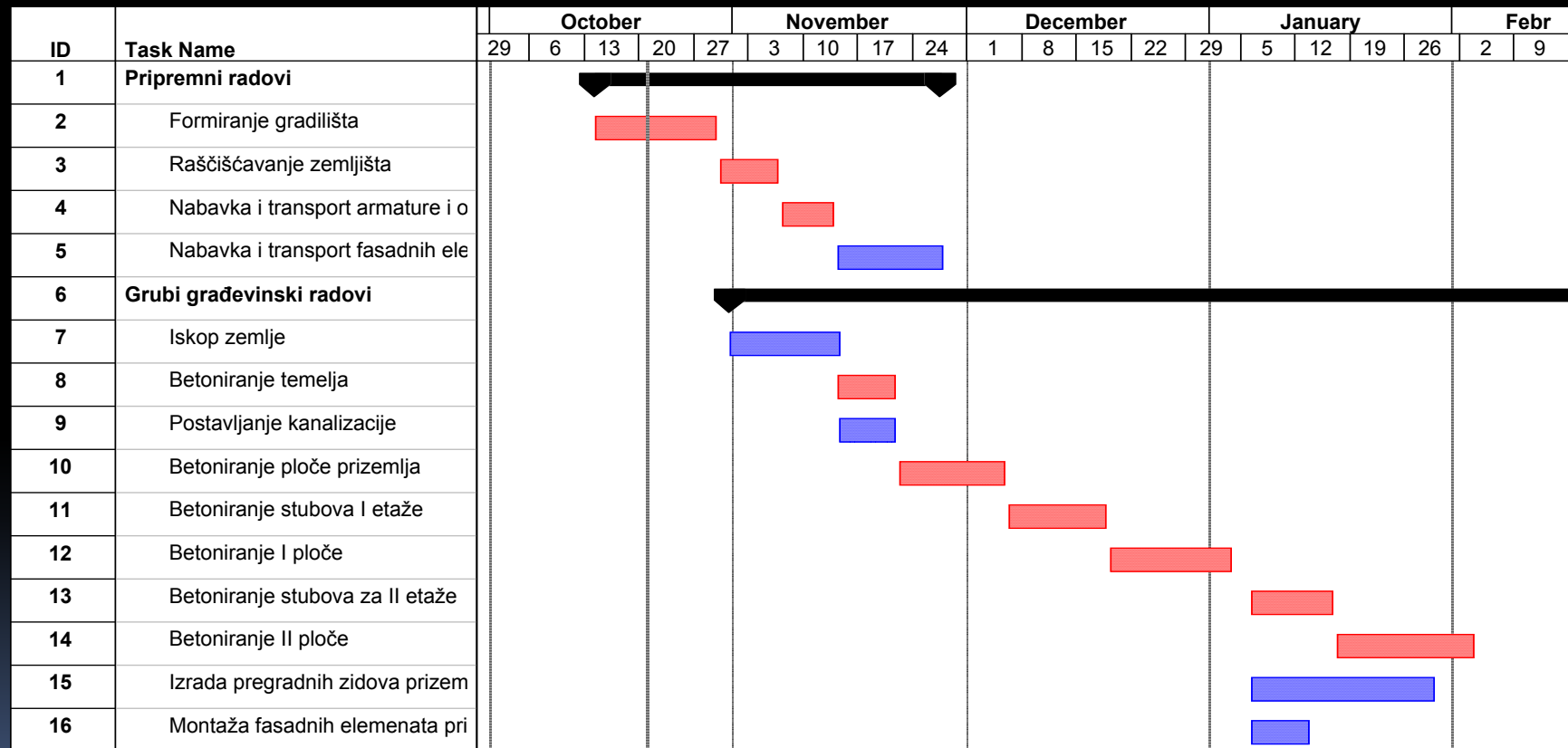


DINAMIČKI PLANOVI

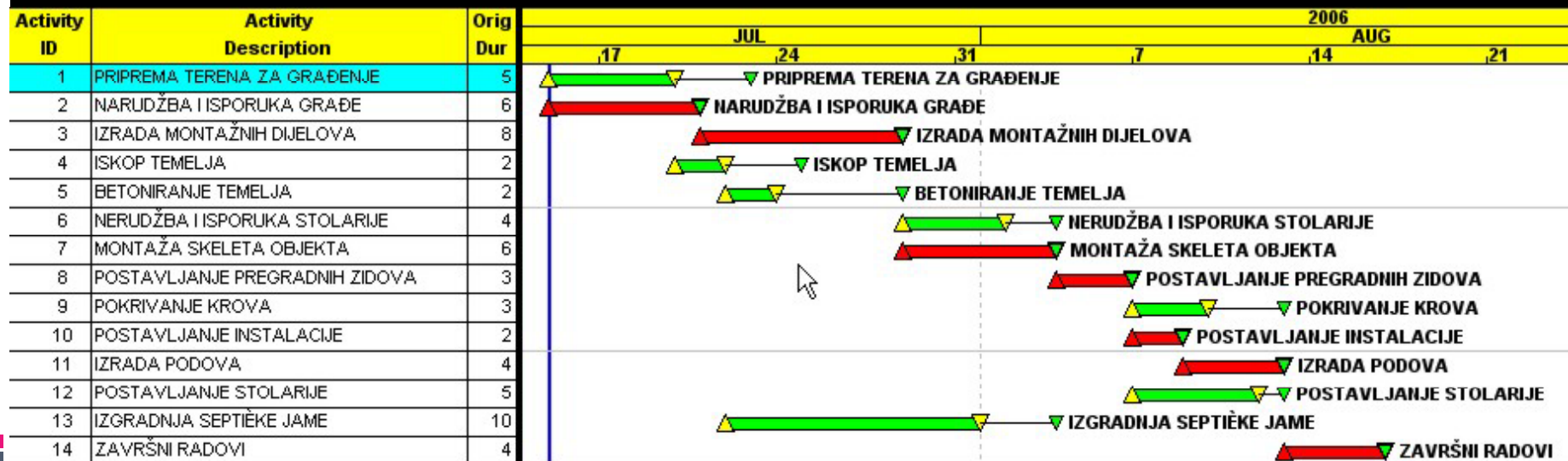


- 
- GRAFIČKI PLANOV I - vremenski tok odvijanja radova
 - GRAFIKONI - linijski prikaz matematičke funkcije, gantogrami
 - HISTOGRAMI – površinski
 - DIJAGRAMI – ortogonalni (ciklogrami) i vektorski (mrežni)
- 

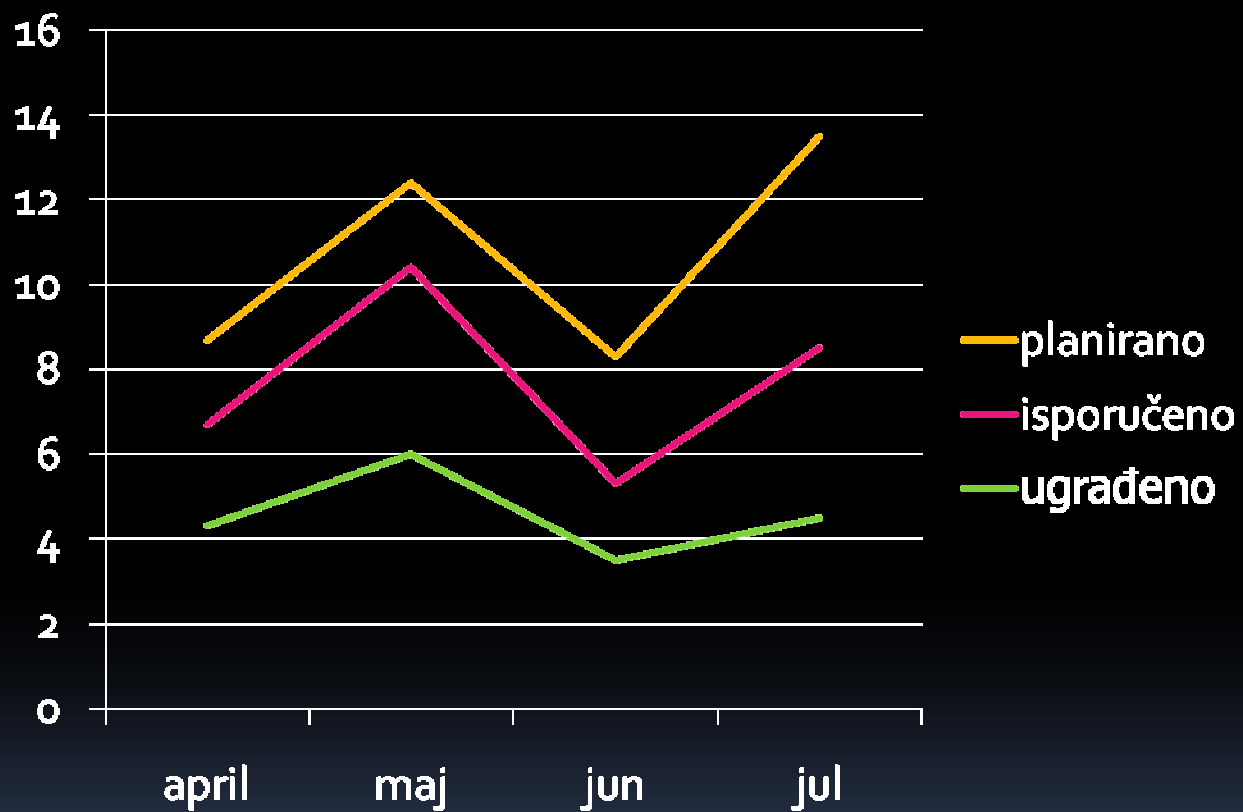
- Paralelni grafički planovi (gantogrami)



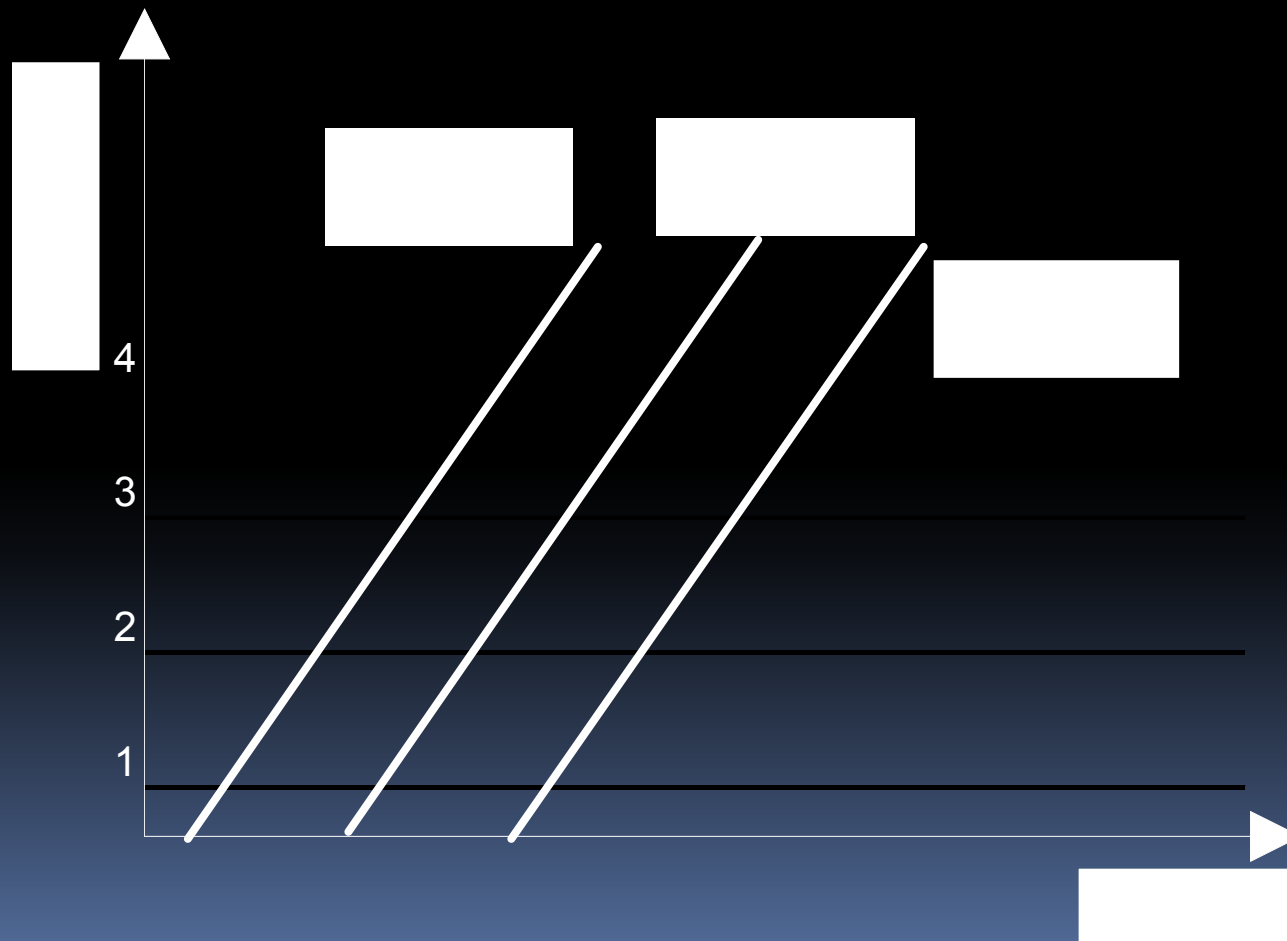
- Paralelni grafički planovi (gantogrami)



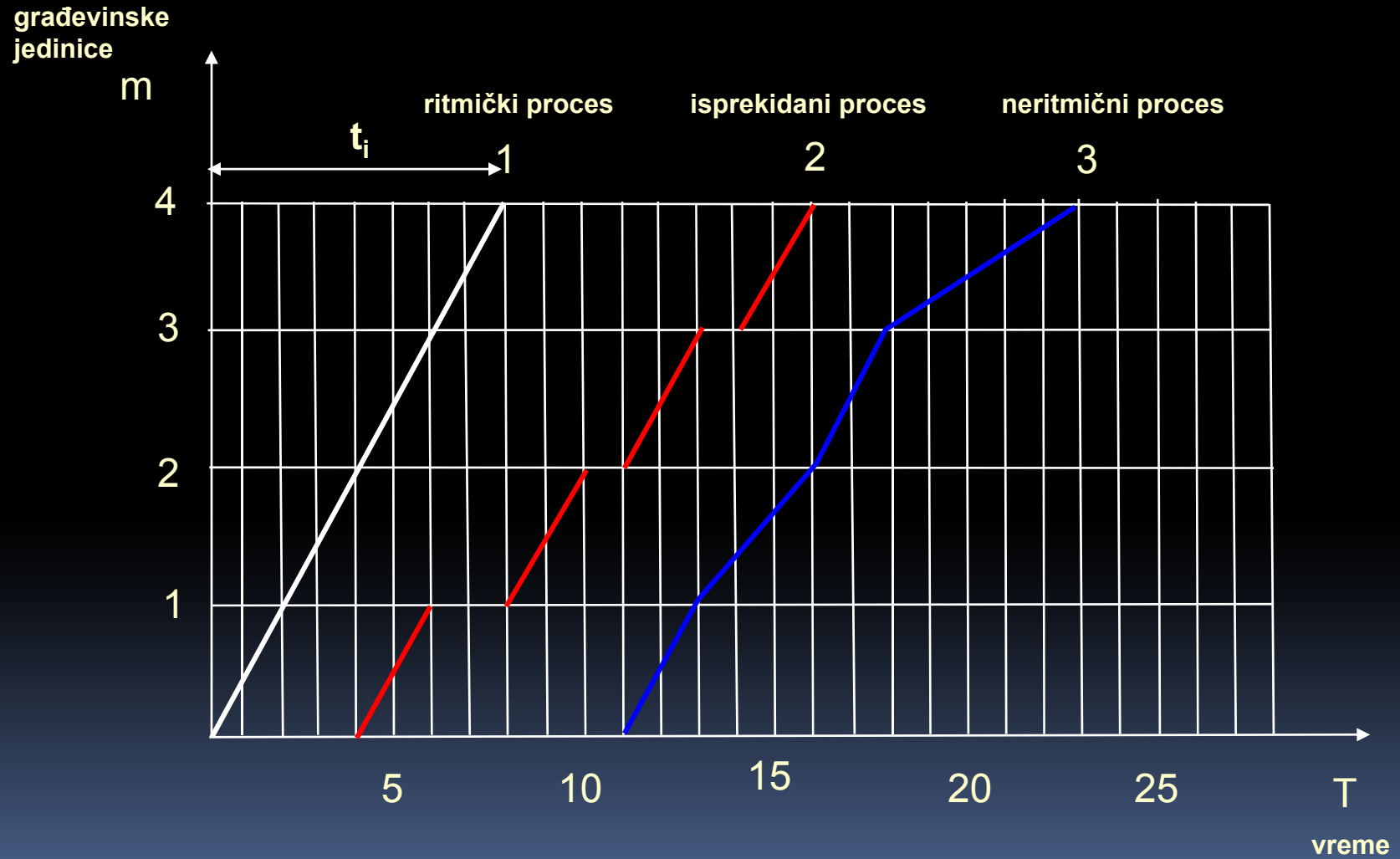
- Paralelni grafički planovi (grafikoni)




- Ortogonalni grafički planovi (ciklogrami)

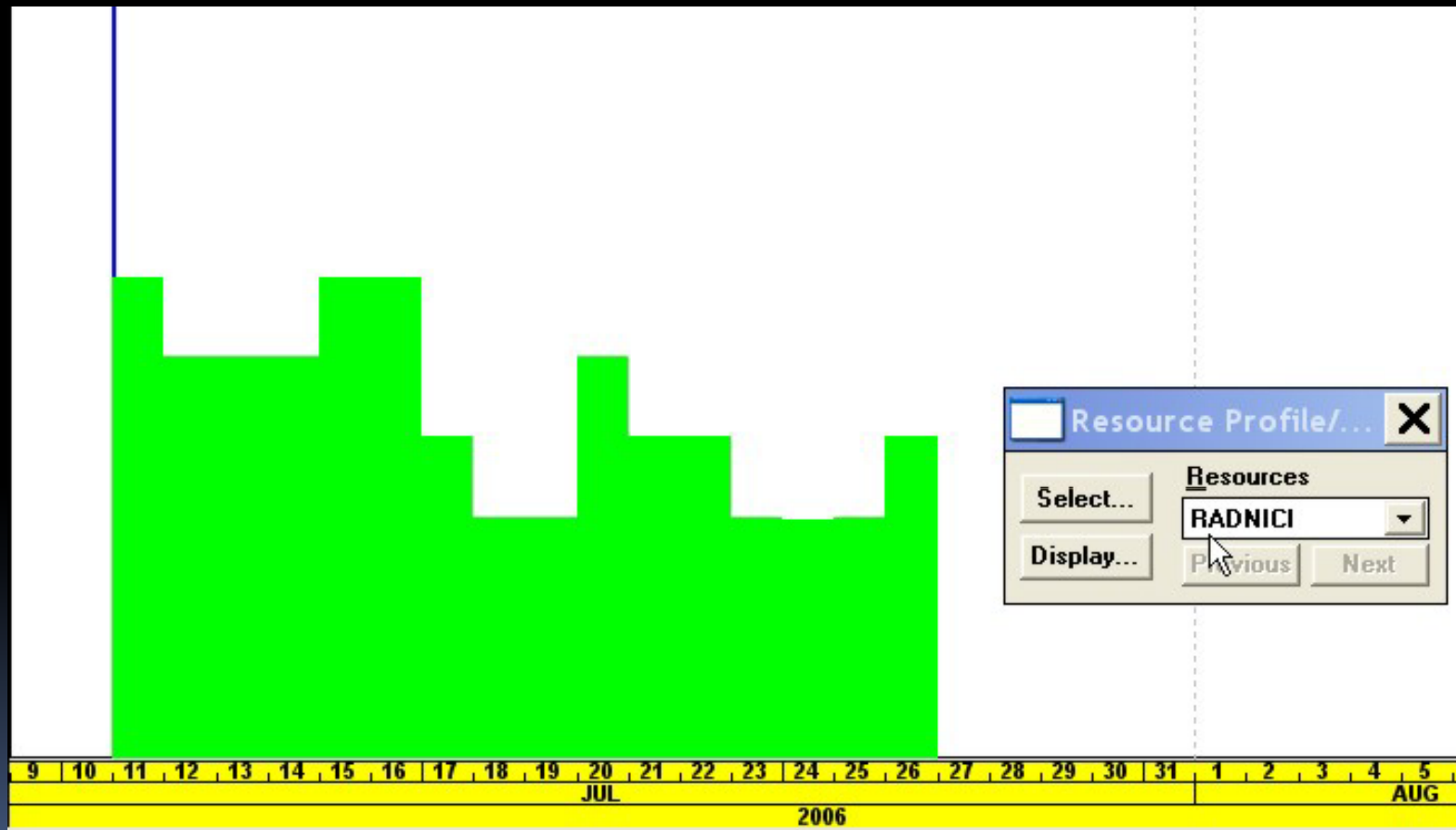


- Ortogonalni grafički planovi (ciklogrami)




- 
- Prednosti ritmične proizvodnje:
 - minimalno ukupno vreme građenja
 - minimalna količina proizvodnih faktora
 - minimalni troškovi dela uređenja gradilišta (radnici i sredstva rada)
 - manji troškovi pripremnih radova

- Površinski dinamički planovi




MREŽNI DIJAGRAMI – MREŽNO PLANIRANJE

- Mreža se sastoji od AKTIVNOSTI sa dodeljenim mestom odvijanja radova i njihovih VEZA, međuzavisnosti
- *Aktivnost* je delimična delatnost čije izvršenje zahteva određeno vreme, radnju i rok, a odvija se između početne i završne tačke.
- *Događaj* je određeno stanje, u kojem nema aktivnosti. Početni događaj- stanje u kome može otpočeti neki događaj, a završni događaj – stanje na kraju neke aktivnosti.

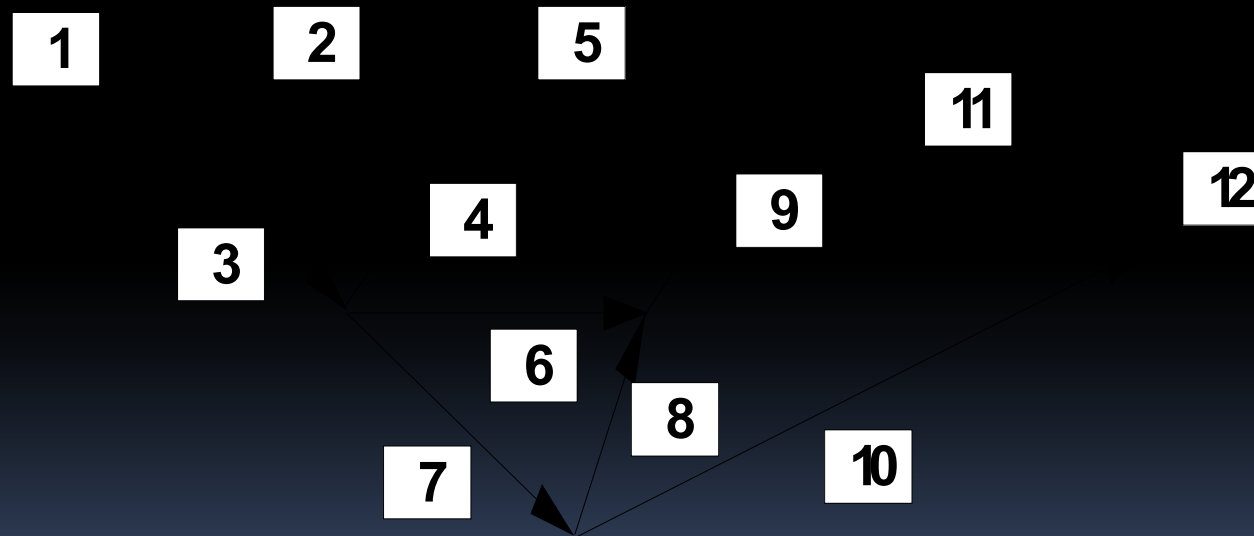
- 
- Mrežni modeli koji se koriste kao osnova za analizu strukture pregledno odražavaju redosled izvršenja pojedinih aktivnosti.
 - Mreža nije samo sredstvo za predstavljanje plana, već matematički model koji se može analizirati i nad kojim se može eksperimentisati.
 - Mrežni model olakšava razmenu informacija između učesnika u realizaciji projekta.

- Način prikazivanja u mrežnom dijagramu:
- CPM-critical path method/metoda kritičnog puta
 - Arrow diagram method /Activity on the arc (ADM/AOA) -mrežni dijagram orijentisan aktivnostima. Aktivnost - duži orijentisane strelicom u pravcu vremenskog odvijanja posla. Dužina duži nema nikakvu ulogu, jer nije merilo za dužinu vremenskog trajanja aktivnosti. Događaji -krugovi. Matematički – početak aktivnosti "i", a završetak "j".
 - Activity on the node (AON)- mrežni dijagram orijentisan događajima. Aktivnosti se se grafički predstavljaju krugovima.
 - Precedence Diagramming Method- u krugovima se predstavljaju aktivnosti sa njihovim počecima i završecima, kao i sa vremenom njihovog trajanja.
- PERT – program evaluation and review technique/metoda ocene i revizije programa

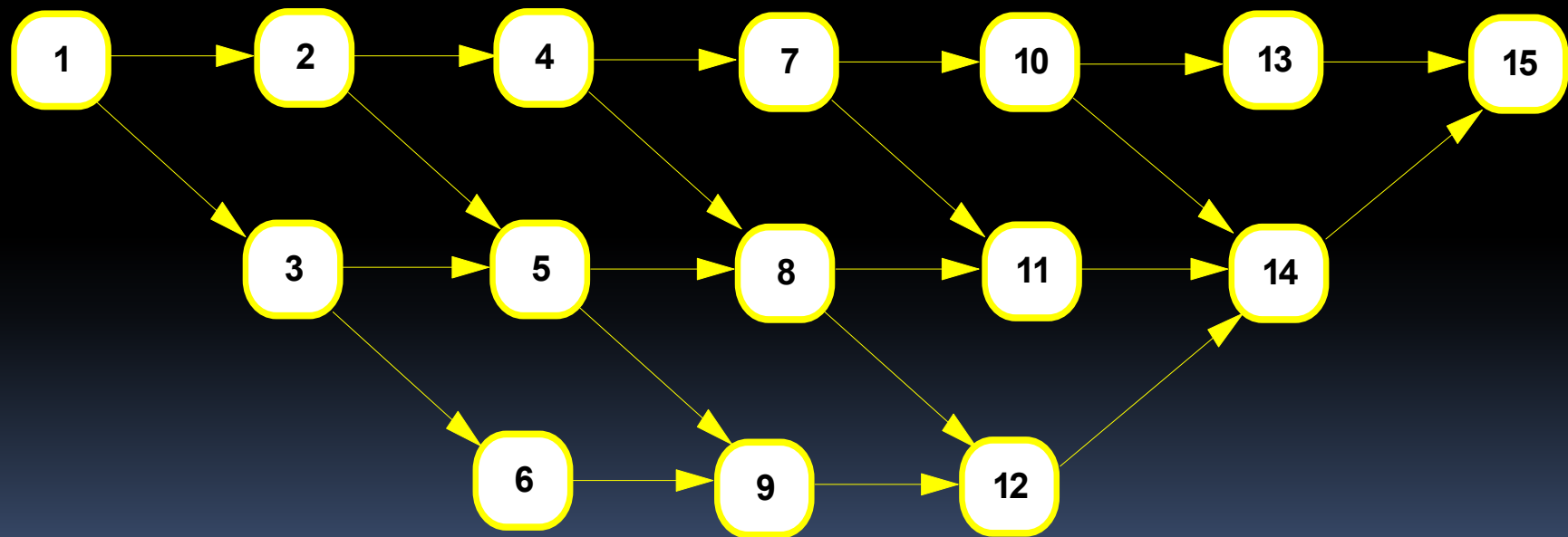
- 
- U minornoj upotrebi:
 - TOPS- The operational PERT system
 - CPS – Critical path scheduling
 - CPPS - Critical path planning and scheduling
 - PEP – Program evaluation procedure
 - CPA – Critical path procedure
 - LESS – Least cost estimating and scheduling
 - LOB – Line of balance
 - RAMPS – Resource allocation and multi-project scheduling
 - SCANS – Scheduling and control by automated network system
 - RITE- Rapid information technique and evaluation
 - RPSM, MIX, PILOT, DBPS...

CPM

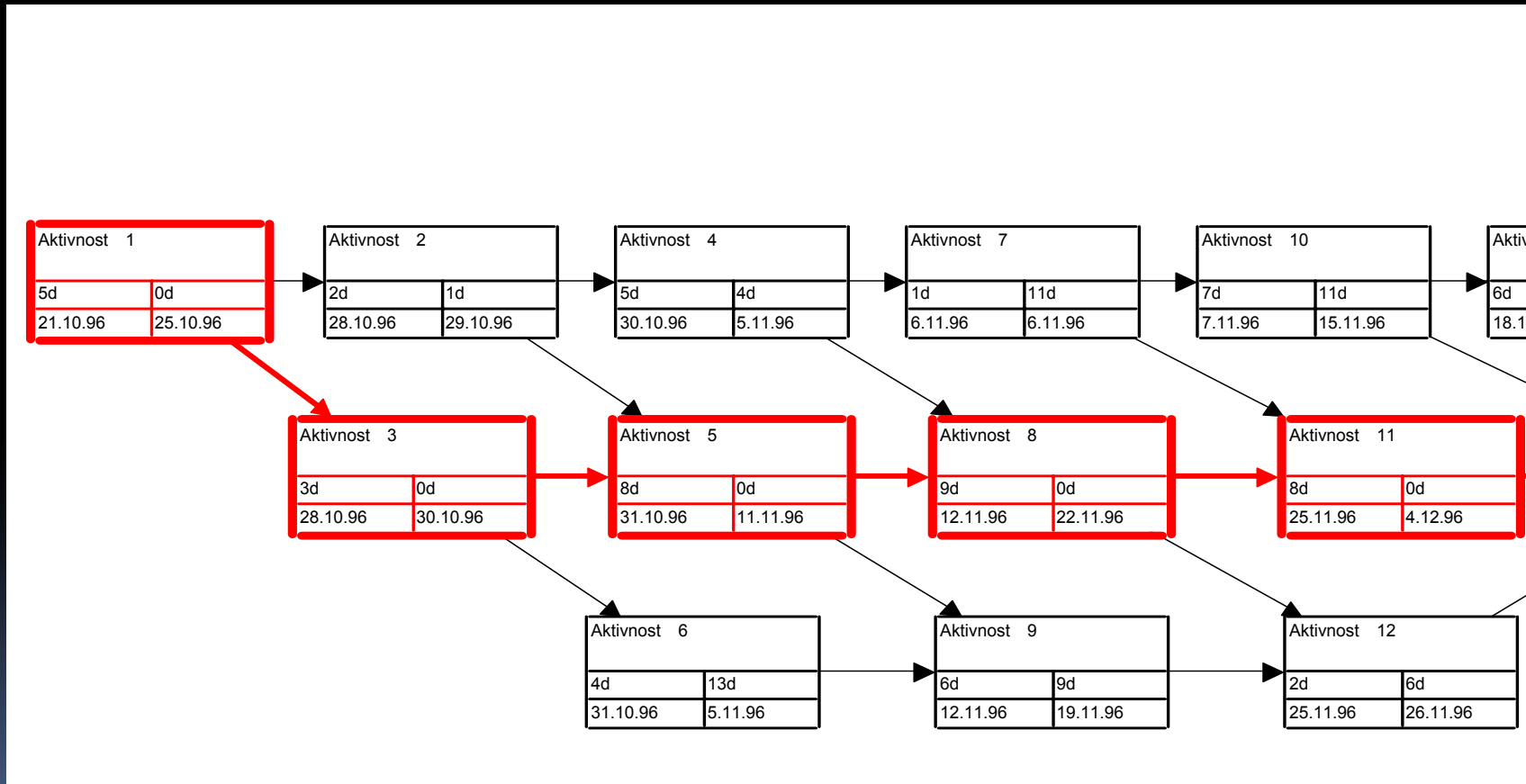
- AOA- Arrow diagram (i-j mreža)



- AON



Precedence method



ISTORIJAT

- Ganttov dijagram ili gantogram dobio je ime po Henry-u Laurecu-u Gantt-u (1861-1919), naucniku i inženjeru masinstva koji ga je osmislio 1917.
- Reč " histogram" je grčkog porekla, kao kompozit reči `isto- s' (ωτος) (= "izduženi oblici koji stoje vertikalno") i "gram- ma" (γραμμα) (= " nešto napisano). Termin "histogram" je kovanica čuvenog statističara Karl Pearsona koji je tako nazivao oblik grafičke interpretacije.
- CPM- Kelley i Walker, SAD, prva originalna studija za hemijsku industriju 1957. godine.
- PERT- W. Fazar, Special Project Office of the Navy, Lockheed Missile Systems Division, SAD,..., 1958., program razvoja rakete Polaris.
- PERT/COST- Department of defence i National Aeronautics and Spase Administration (NASA), SAD, 1962.

ISTORIJSKI RAZVOJ U SRBIJI

- Klasične metode: Gantogram, histogrami, posle II svetskog rata.
- Tehnike mrežnog planiranja -1966. godine, "14. oktobar" Kruševac, hemijska industrija "Pančevo", Direkcija za izgradnju i rekonstrukciju grada Beograda (1968. god. prve primene TMP za podzemni pešački prolaz "Albanija", terazijski tunel ispod Balkana, podzemni pečacki prolaz "Balkan", Mostarska petlja), GP "Komgrap" Beograd, "Magnohrom" Kraljevo, Kombinat aluminiijuma u Titogradu (Podgorica) ... Krajem 1967. "Institut za organizaciju rada i automatizaciju poslovanja" iz Beograda organizuje prvi seminar za obuku kadrova u oblasti sistema TMP i rukovođenja, sa oko 70 polaznika inženjera i tehničara.

- Od 1997. godine u tehnici mrežnog planiranja se koristi nova metoda, koja se zove metoda kritičnog lanca ("Critical Chain Method" – CCM). Osnivač metode je Goldratt, E. M. , a zasniva se na teoriji ograničenja ("Theory of Constraints" – TOC). TOC se fokusira na identifikaciju i popravku uslih grla u cilju poboljšanja realizacije. Ova nova metoda postaje popularna i konkurentna tradicionalnoj metodi kritičnog puta CPM.
- Metoda "Critical Chain Method" (CCM) rešava probleme kod projekata prvobitno planiranih metodom "Critical Path Method" (CPM), koji se javljaju zbog činjenice da ova metoda ne uzima u obzir raspoloživost resursa.

Osnovne faze u izradi planova

- Detaljno upoznavanje zadatka
- Definisane tehnologije izvođenja radova
- Izdvajanje pojedinačnih aktivnosti
- Utvrđivanje logičnog rasporeda (veza) aktivnosti
- Određivanje radnog vremena i kalendara
- Specifikacija potreba u resursima
- Proračun vremena trajanja aktivnosti
- Termin plan celog projekta
- Optimizacija plana
- Uspostavljanje mehanizama kontrole izvršenja plana

Osnovni principi planiranja

- Odrediti racionalan i potreban nivo planiranja i praćenja pojedinih faza projekta
- Treba težiti ka što većoj paralelizaciji radova
- Uključivanje resursa treba da bude postupno
- Korišćenje svih važnijih resursa treba da bude kontinualno
- Plan mora da bude realan

Osnovne faze u izradi planova (CPM metod)

I FAZA - Analiza strukture

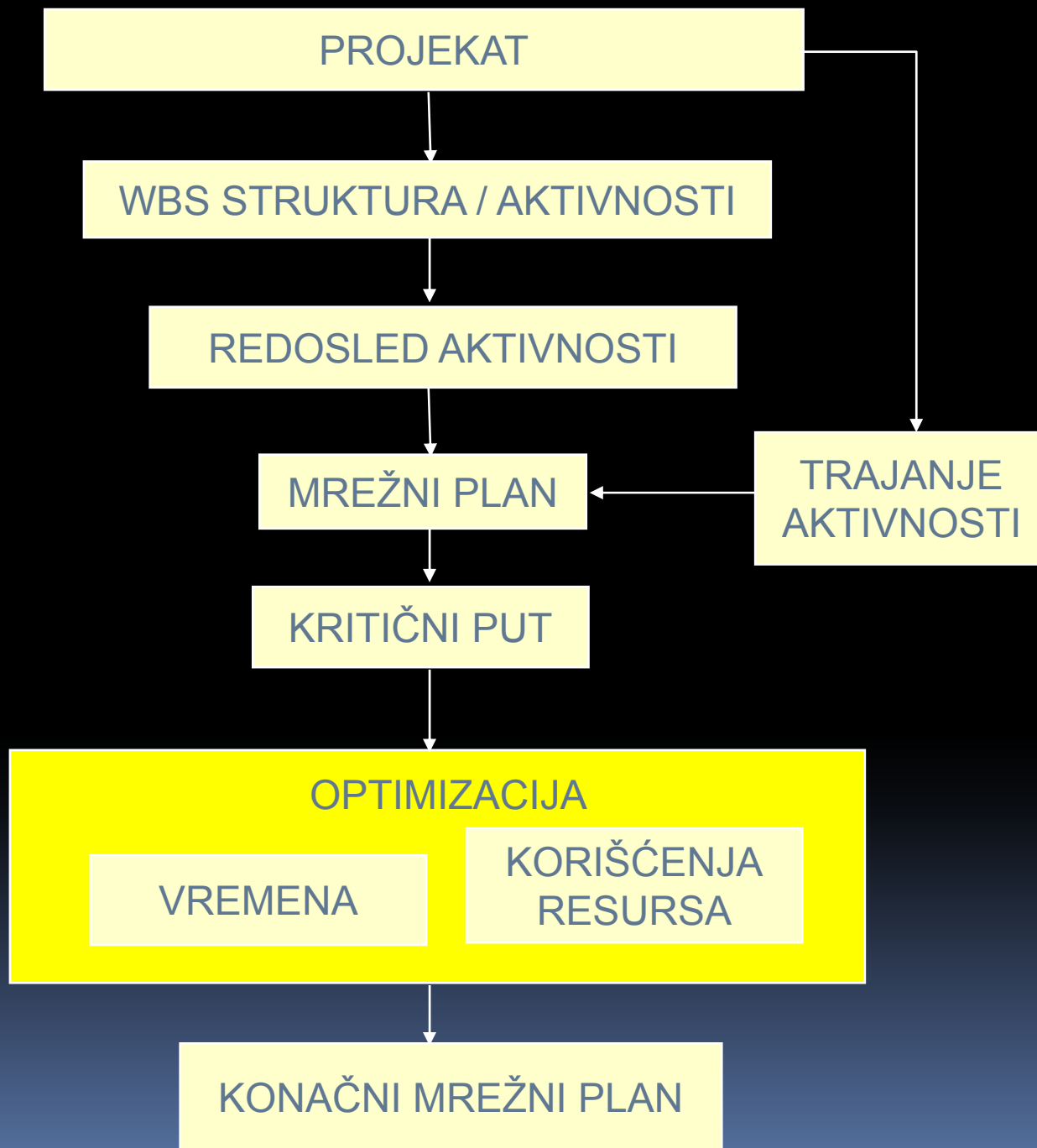
- analiza tehnološkog procesa i formiranje mrežnog plana

II FAZA - Analiza vremena

- Svakoj aktivnosti u projektu se dodeljuje vreme izvršenja (tzv. normalno vreme)

III FAZA - Optimizacija plana

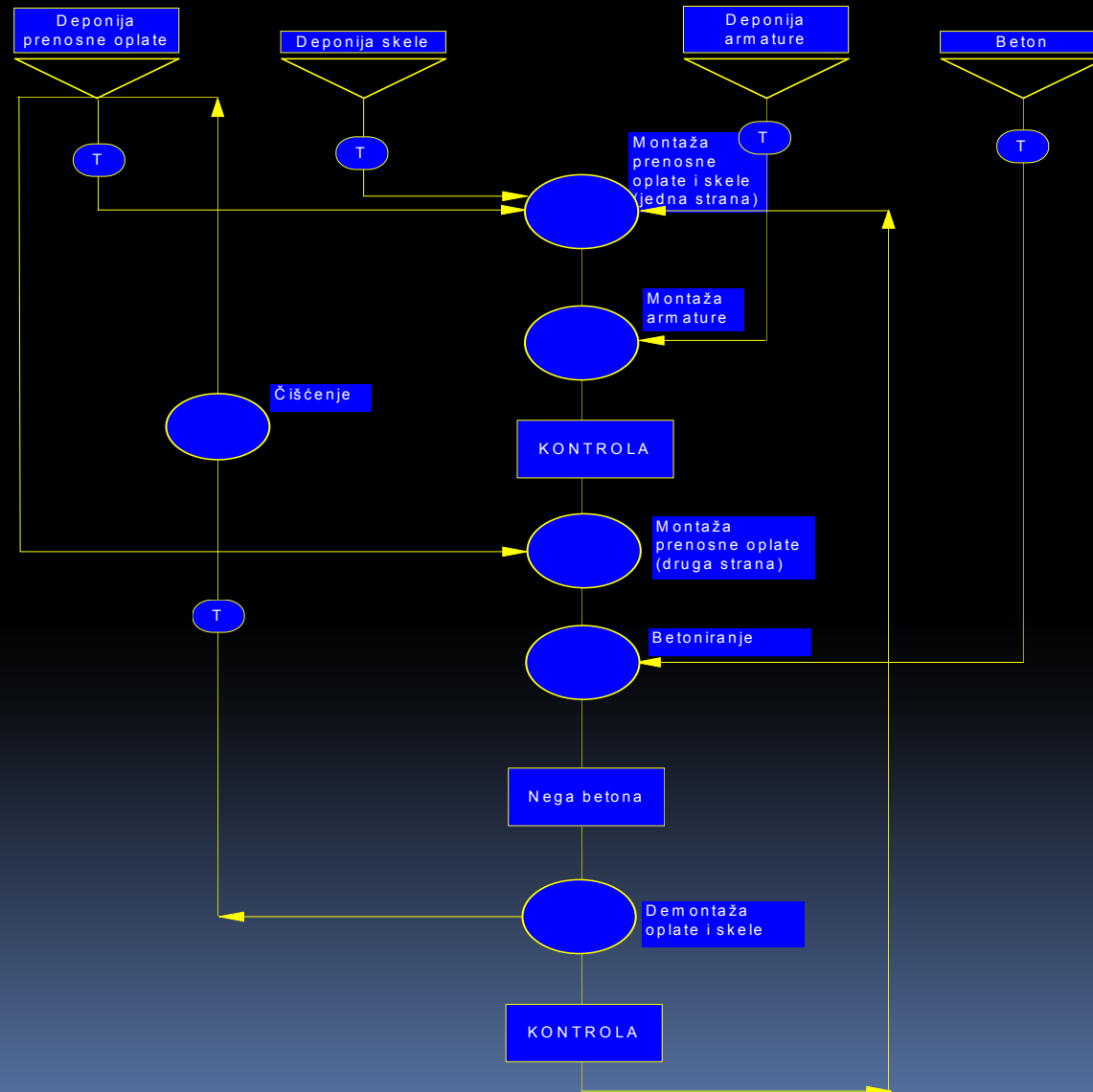
- Proučavanje odnosa troškovi - vreme i optimizacija u iteracijama



Postupak izrade planova

- Detaljno upoznavanje zadatka
 - Investiciono tehničke dokumentacije
 - arhitektonsko građevinski projekti
 - projekti instalacija i opreme
 - projekat tehnologije i organizacije građenja
 - Uslovi u kojima će se raditi:
 - klimatsko-meteorološki
 - geološko - geomehanički, topografski
 - hidrološki
 - uslovi za snabdevanje gradilišta
 - administrativni propisi zemlje u kojoj se radi

Definisanje tehnologije




Definisanje aktivnosti

- Određivanje globalnih aktivnosti
- Izdvajanje pojedinačnih aktivnosti
- Postavljanje repera (Milestone)
- Numerisanje/Kodiranje aktivnosti

- **AKTIVNOST JE:**
 - etapa radnog procesa koja zahteva vreme i sredstva
 - čekanje (proces koji traži samo vreme)
 - zavisnost (ne troši ni vreme ni sredstva, fiktivna aktivnost)

- Pored aktivnosti vezanih za "građevinsku proizvodnju" (zidanje, betoniranje...), aktivnosti su i: prirema i davanje ponuda, upoređivanje ponuda, pisanje izveštaja, dobijanje kredita, laboratorijska analiza uzoraka, ispitivanje opreme, ...)




Utvrdjivanje odnosa među aktivnostima

- Pitanja koja se moraju postaviti za svaku aktivnost:
 - Koje joj aktivnost prethode?
 - Koje aktivnosti slede iza nje?
 - Koje su aktivnosti paralelne s njom?

Analiza strukture

ID	Naziv aktivnosti	Trajanje	Prethodne
1	Aktivnost 1	5	
2	Aktivnost 2	2	1
3	Aktivnost 3	3	1
4	Aktivnost 4	5	2
5	Aktivnost 5	8	2;3
6	Aktivnost 6	4	3
7	Aktivnost 7	1	4
8	Aktivnost 8	9	4;5
9	Aktivnost 9	6	5;6
10	Aktivnost 10	7	7
11	Aktivnost 11	8	7;8
12	Aktivnost 12	2	8;9
13	Aktivnost 13	6	10
14	Aktivnost 14	4	10;11;12
15	Aktivnost 15	6	13;14

- **Work Breakdown Structure (WBS)** je proizvodno orijentisano stablo koje vodi identifikaciji aktivnosti, funkcija, zadataka, podzadataka, jedinica posla,..., koji se moraju obaviti kako bi se izvršio zadati projekat.
- **WBS** prikazuje i definiše sastav (proizvod) koji se razvija i opisuje sve elemente posla koji se mora obaviti.
- **WBS** nije organizacijska šema u smislu deljenja posla i odgovornosti, već predstavlja organizaciju delova posla izrađenu sa namerom planiranja projekta, budžeta, ugovaranja i izveštavanja.


- 
- U razvoju WBS-a mora se obratiti pažnja kako bi se osiguralo:
 - kontinuirani protok informacija vezanih uz posao od vrha ka dnu
 - prikaz svih primenjivih poslova
 - prikaz dovoljnog broja nivoa kako bi se osigurali dobro definisani delovi posla, zbog kontrole rasporeda i troškova
 - eliminacija dvostrukog napora u kontroli posla

WBS struktura doprinosi sledećem:

- Projekat (sastav) se lako opisuje putem logične podele elemenata u fine delove posla koji se mogu definisati kao celina.
- Daje veću verovatnoću da će svaka aktivnost biti prepoznata i uključena.
- Izvrsno je sredstvo za povezivanje ciljeva projekta i aktivnosti sa raspoloživim resursima.
- WBS olakšava početno određivanje budžeta, te kasnije, prikupljanje podataka i izveštavanje o troškovima.
- WBS je izvrsna matrica za dodeljivanje zadataka i delova posla, ali i odgovornosti različitim organizacijskim celinama, grupama i sekcijama.
- Olakšava izveštavanje o tehničkim karakteristikama projekta obzirom na raspored i troškove


- Konstruisan mrežni dijagram nije ništa drugo nego konačan GRAF orijentisan strelicama.
- Osnovni pojmovi iz Teorije grafova:
 - SKUP je sveukupnost elemenata različitih svojstava, pripadnost skupu se označava: $a \in A$
 - PODSKUP skupa B je skup A, ako elementi skupa A u potpunosti pripadaju većem skupu B: $A \subset B$
 - Dva skupa mogu biti identična, ili podudarna, ako su im svi elementi jednaki : $A=B$
 - UNIJA dva skupa je novi skup sa svim elementima oba ova skupa: $A \cup B$
 - PRESEK dva skupa sadrži elemente koji pripadaju i jednom i drugom skupu: $A \cap B$


- Skup koji ne sadrži ni jedan element naziva se PRAZAN SKUP, dok se u slučaju kada se posmatraju dva skupa, pri čemu se svaki element prvog skupa nalazi u određenom odnosu sa elementima drugog skupa, kaže da su ta dva skupa u KORESPODENCiji, ili da se preslikavaju jedan u drugoga. Ta se zavisnost može predstaviti grafom.
- Po svojoj prirodi graf je skup koji nije prazan. U opštem slučaju graf se definiše kao skup tačaka (događaja) $\{1, 2, \dots, n\}$ i skup duži $\{(i, j)\}$ koje povezuju neke parove tih tačaka pri čemu bilo koja duž (i, j) ima početak u tački i , a završetak u tački j .


- 
- Konačan graf sa dužima orijentisanim strelicama naziva se MREŽA.
 - Svaki konačan graf ima samo jednu tačku u koju ne ulazi ni jedna duž orijentisana strelicom i samo jednu tačku iz koje ne izlazi ni jedna takva duž.
 - Za niz konačnih grafova najčešći zadatak je određivanje najdužeg ili najkraćeg puta.
 - U toku formiranja ovakvog matematičkog modela NE SMEJU SE PRAVITI ZATVORENE PETLJE.

Pravila za grafičko predstavljanje mrežnog dijagrama

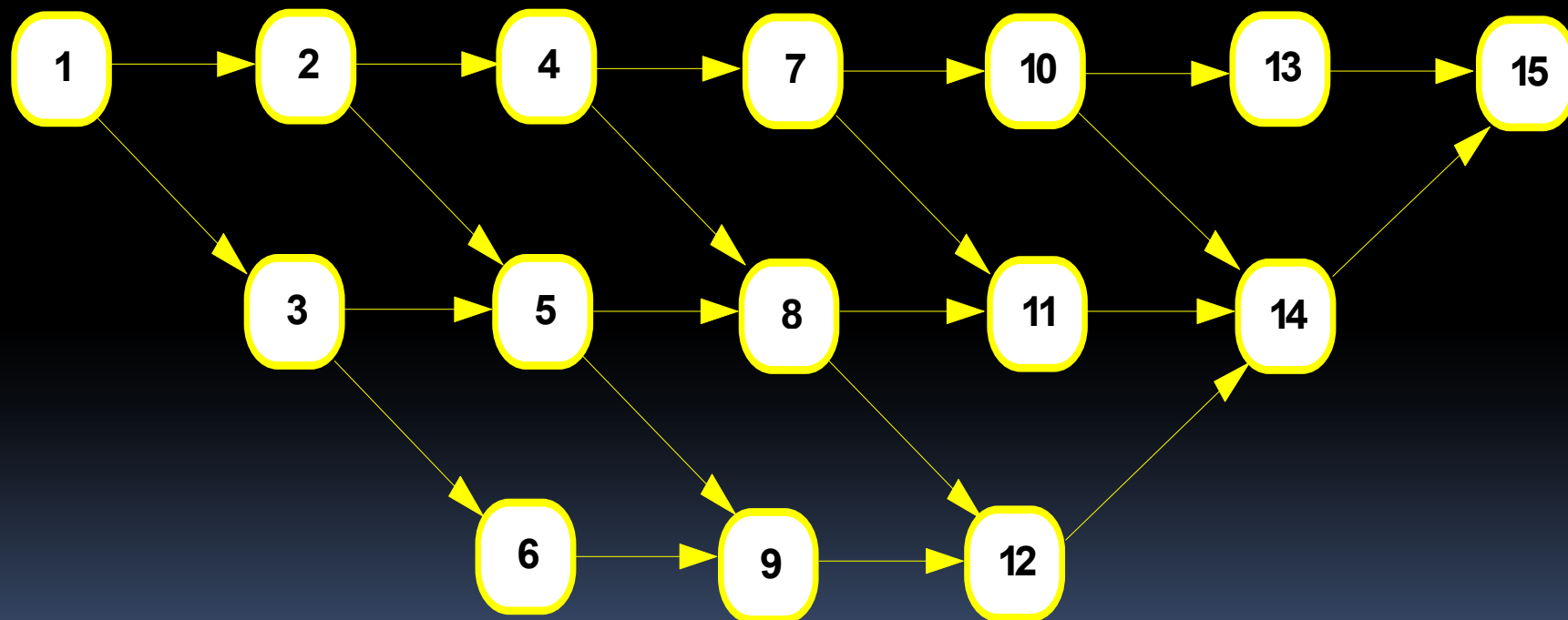
1. Svaka aktivnost počinje jednim događajem, a završava se u jednom narednom događaju.
2. U mrežnom dijagramu mora postojati jedan početni i jedan završni događaj.
3. Smer strelica kojima je orijentisan mrežni dijagram je sa leva na desno.
4. Ako neka aktivnost mora da se završi (u skladu sa odvijanjem projekta) pre nego što naredna može otpočeti, onda se one moraju postaviti u red. Završni događaj prve aktivnosti identičan je sa početnim događajem druge aktivnosti.
5. Ako se više aktivnosti mora završiti pre nego što otpočne neka sledeća, onda sve one moraju imati svoj kraj u početnom događaju naredne aktivnosti.
6. Ako više aktivnosti može otpočeti nakon što je prethodna aktivnost završena, onda sve one otpočinju u završnom događaju prethodne aktivnosti.

- 
7. Ukoliko dve aktivnosti imaju zajednički početni i završni događaj, njihova identifikacija je neodređena i mora se obezbediti jednoznačno označavanje uključivanjem *prividne (fiktivne)* aktivnosti. One se obeležavaju isprekidanim strelicama. Prividna aktivnost ne predstavlja stvaran delimičan rad, ali sa njom se postupa kao i sa svakom drugom aktivnošću, sa vremenskim trajanjem ravnim nuli.
 8. Ako se u jednom događaju završava i počinje više aktivnosti koje nisu sve međusobno zavisne, onda se pravilno odvijanje projekta mora prikazati pomoću prividnih aktivnosti. U redosled aktivnosti može se uključiti proizvoljan broj prividnih aktivnosti, a da se pri tom ne naruše principi MD.

- 
9. Pri priključivanju u mrežni dijagram složenih aktivnosti, a naročito pri optimizaciji MD naročito je važno usvojiti potreban stepen detaljizacije. Ako neka aktivnost može otpočeti pre nego je prethodna potpuno završena, onda se ona mora podeliti (rasčlaniti na delove), koji u najopštijem slučaju mogu biti nejednaki.
 10. Jedna aktivnost se vremenski može samo jednom odigrati, u mrežnom dijagramu ne smeju se ponavljati petlje.
 11. Mrežni dijagram treba da bude što prostiji, pročišćen od svih aktivnosti i događaja koji nemaju suštinsko značenje, bez suvišnih preseka, pri čemu treba težiti da se što veći broj aktivnosti predstavi orijentisanim dužima koje leže horizontalno.


- 
- Zbivanje nekog događaja, kao parcijalnog ili konačnog rezultata jedne ili više aktivnosti, predstavlja takav rezultat koji upozorava da li su ispunjeni neophodni uslovi za započinjanje naredne aktivnosti.
 - Nakon konstruisanja mrežnog dijagrama prema pravilima 1/11 vrši se revizija u smislu odbacivanja suštinski nepotrebnih aktivnosti i događaja, usvaja se osnovni mrežni dijagram, numerišu se događaji i usvajaju polazni podaci za sve aktivnosti.


Formiranje mrežnog plana



Pojedinačni problemi analize strukture

1. Pre početka nekog projekta mogu biti nužni različiti prethodni radovi (organizacioni radovi, sakupljanje informacija, prethodne studije...). Takve aktivnosti treba da se zajedno obuhvate u jednoj početnoj aktivnosti.
2. U jednom većem projektom poduhvatu mogu postojati zatvoreni parcijalni poslovi. U mrežnom dijagramu oni se pokazuju kao niz ili grupa aktivnosti koje su povezane zajedničkim početnim ili krajnjim događajem. Takvi parcijalni poslovi mogu da se obuhvate zajedno jednom zbirnom aktivnošću, a detaljan dijagram može da bude nacrtan odvojeno.

- 
3. Kod velikih projekata je često potrebno da se mrežni dijagram rasčlanjuje na više delimičnih mrežnih dijagrama. Razdvajanje se može vršiti proizvoljno. Na svim prekinutim aktivnostima treba napisati kome delimičnom mrežnom dijagramu vode, odnosno od koga dolaze. takve prekinute aktivnosti nazivaju se *priključne* aktivnosti.
 4. Na jednom projektu može učestvovati više nezavisnih izvršilaca (gradilišta, pogona i sl.). Aktivnosti pojedinih izvršilaca mogu se vizuelno posebno obeležiti.


- 
5. Stepen detaljnosti MD je u zavisnosti od konkretnih potreba učesnika u projektu. Sa deljenjem aktivnosti treba biti obazriv u smislu da mrežni dijagram uvek mora predstavljati realnu predstavu odvijanja projekta. Ako se u stvarnosti pojedine aktivnosti preklapaju, onda ih treba i u MD na odgovarajući način podeliti. Stepen detaljnosti može delom da bude ograničen zbirnim aktivnostima.
 6. Jedan projekat može imati više početnih i završnih događaja. Pomoću prividnih aktivnosti oni treba da budu zajedno obuhvaćeni u jedan početni, odnosno završni događaj.

Analiza vremena

- Analiza vremena u tehnici mrežnog planiranja podrazumeva određivanje vremenskih parametara na bazi kojih se može kontrolisati vremensko odvijanje projekta, kontrolisati rokovi izvršenja, upravljati i rukovoditi projektom, kao i određivanje vremena trajanja svih aktivnosti u projektu.

- Za tehniku mrežnog planiranja uvojena je terminologija sa engleskog govornog područja, ali i prema SRPS A.Eo.001:

- D_i, t_i - trajanje aktivnosti (duration)
- ES, RP - najraniji početak aktivnosti (earlier start)
- LS, KP - najkasniji početak aktivnosti (last start)
- EF, RZ - najraniji završetak aktivnosti (earlier finish)
- LF, KZ - najkasniji završetak aktivnosti (last finish)
- PA - prethodna aktivnost
- NA - naredna aktivnost
- LEF (PA), KRZ (PA) - najkasniji od svih najranijih završetaka
- ELS (NA), RKP (NA) - najraniji od svih najkasnijih početaka
- EES (NA), RRP (NA) - najraniji od svih najranijih početaka
- TF, RU - ukupna vremenska rezerva (total float)
- FF, RS - slobodna vremenska rezerva (free float)
- IF, RN - nezavisna vremenska rezerva (independent float)
- CF, RK - uslovna vremenska rezerva (conditional float)

- 
- Uslovna vremenska rezerva je mera subkritičnosti.
 - Subkritični putevi imaju malu vremensku rezervu i lako mogu da postanu kritični.
 - Vremena koja se odnose na događaj (čvor):
 - EET - early event time = ES
 - LET - late event time = LF

- Aktivnost u opštem slučaju može otpočeti samo nakon odigravanja nekog konkretnog događaja.
- Ako pomenutom događaju neposredno prethodi više aktivnosti, onda se događaj može odigrati tek nakon završetka najduže prethodne aktivnosti.
- **Najraniji početak aktivnosti (i)**, u oznaci ES (RP), određen je vremenom trajanja najduže od svih prethodnih aktivnosti.
- Postupak određivanja ES je u smeru rastuće numeracije, pri čemu se polazi od 1 kao početne aktivnosti, a završava se sa n kao završne aktivnosti. Najraniji završetak celog projekta biće posle isteka vremena t_n , koje karakteriše najranije vreme odigravanja završne aktivnosti predmetnog projekta.

- **Najraniji završetak** aktivnosti (i) dobija se sabiranjem vremena trajanja te aktivnosti (t_i) sa vremenom ES . Ovo se vreme označava sa (EF) (KZ), tako da se može napisati

$$EF = ES + t_i$$

- Ako je aktivnost i otpočela nakon završetka više prethodnih aktivnosti, onda se može napisati

$$EF_i = \max \{ EF(PA) + t_i \}$$

- Ovim izrazima je omogućeno određivanje najranijeg završetka neke aktivnosti, ali i najranijeg početka svake sledeće aktivnosti čiji početak je uslovljen završetkom ove aktivnosti.


- **Najkasniji početak** aktivnosti (i) obeležava se sa (LS) ili (KP), a njen **najkasniji završetak** sa (LF) ili (KZ). Ako se obeleži sa T_p rok završetka projekta, i usvoji se da je $LF_n = T_p$:

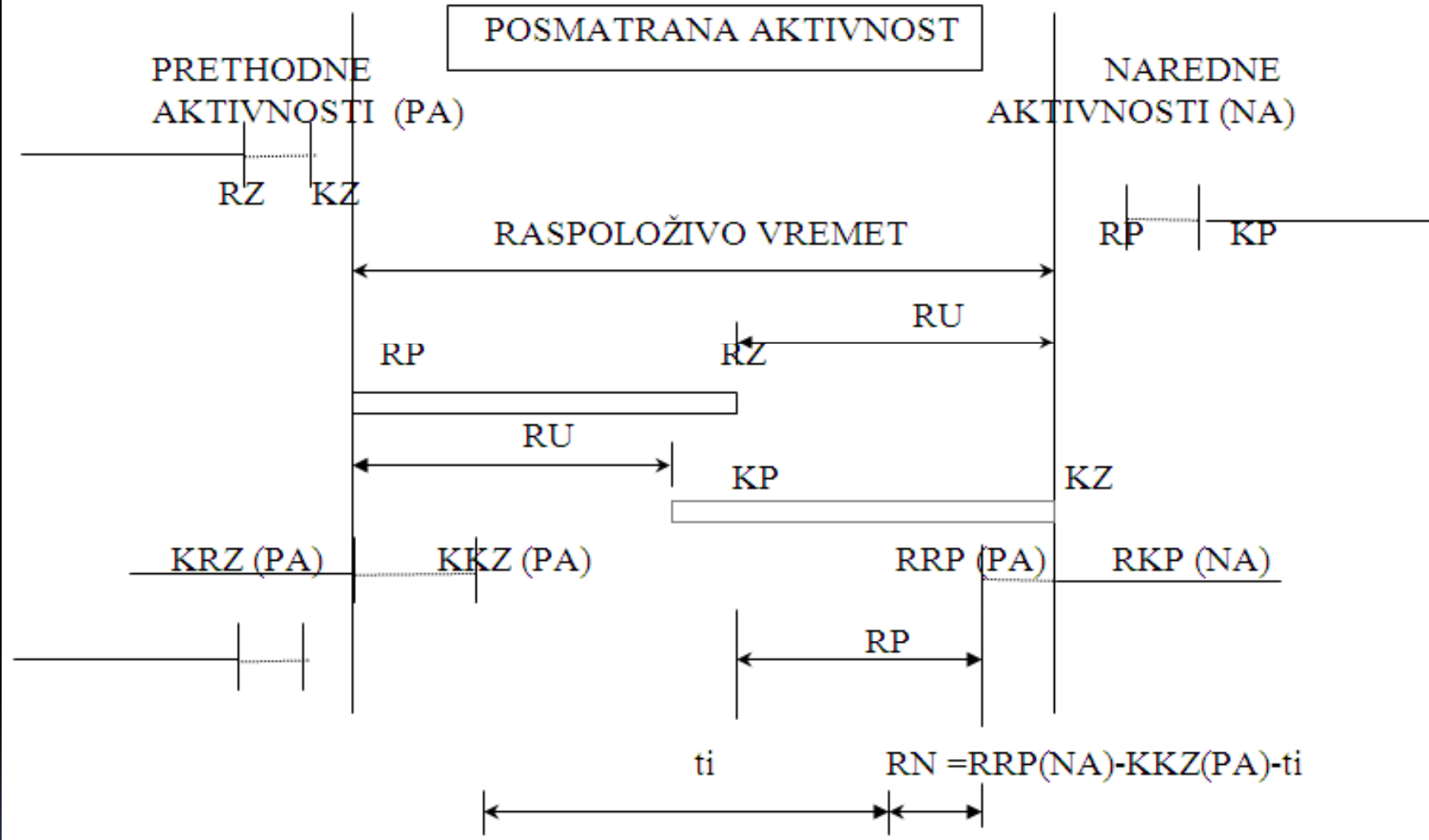
$$LF = \min \{ LF(NA) - t_{na} \}; \quad LF_n = T_p,$$

može se odrediti najkasniji završetak bilo koje aktivnosti koja neposredno predhodi aktivnosti i.

- LS se neposredno određuje:

$$LS = LF - t_i$$

- 
- Izvršenje bilo koje aktivnosti (i) može se pomeriti samo između najranijeg početka i najkasnijeg završetka. Taj se razmak najčešće naziva **maksimalno dozvoljeno trajanje** aktivnosti i.
 - Ako je $ES=LS$, $EF=LF$, onda se aktivnost (i) naziva **kritičnom aktivnosti**, odnosno, **aktivnosti na kritičnom putu**.



Preliminarni proračun mrežnog plana

- Proračun napred
 - (EET) ES (earlier start) najraniji početak
 - EF (earlier finish) najraniji završetak
- Proračun nazad
 - LS (last start) najkasniji početak
 - (LET) LF (last finish) najkasniji završetak
- Ukupna vremenska rezerva
 - $T_u = LS - ES = LF - EF$
- Slobodna vremenska rezerva
 - $T_s = EES(NA) - EF$

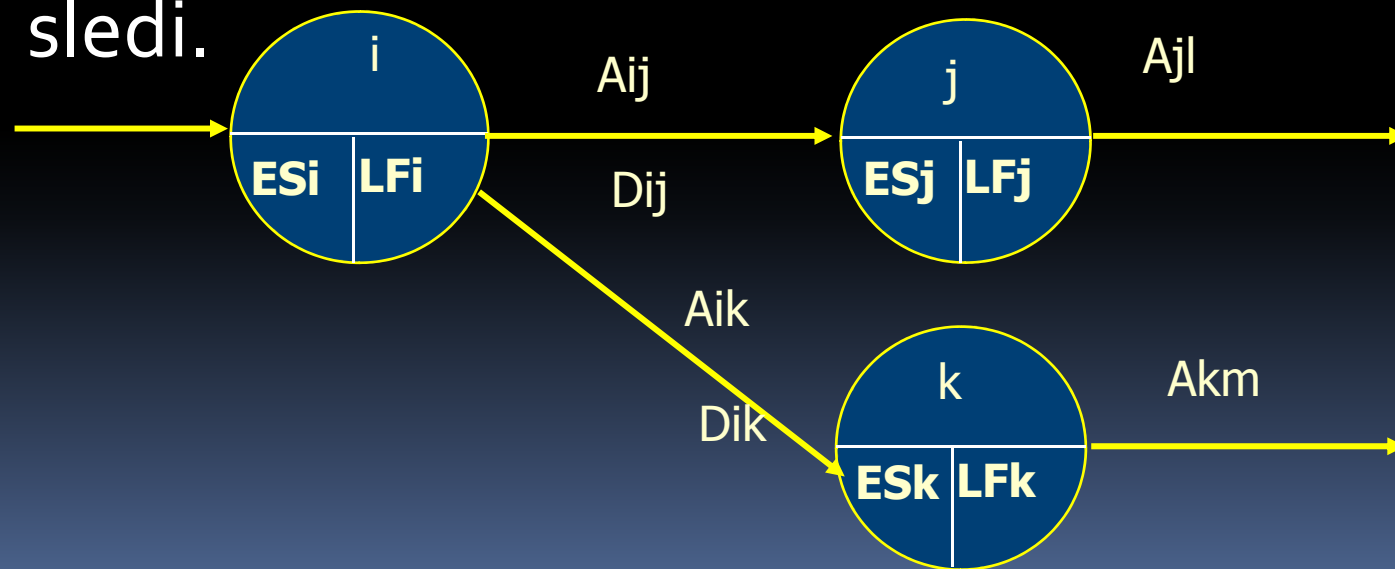
- Ukupna vremenska rezerva (total float - TF) označava broj vremenskih jedinica za koje aktivnost može biti prolongirana bez pomeranja datuma završetka projekta. Pomeranje početka aktivnosti može prouzrokovati kašnjenje nekih aktivnosti koje slede, ali neće biti ugroženo vreme trajanja projekta.
- Ukupna vremenska rezerva = najkasniji završetak - najraniji početak - trajanje ($t_i = D$) (duration - D)

$$T_u = LF - ES - D = LS - ES = LF - EF$$

- Slobodna vremenska rezerva (free float - FF):

$$FF_{ij} = Ts = EES(NA) - EF$$

- Slobodna vremenska rezerva se koristi za određivanje aktivnosti koje mogu biti odgođene bez uticaja na ukupnu vremensku rezervu aktivnosti koja iza nje sledi.



- Nezavisna vremenska rezerva (independent float IF):

$$IF_{ij} = ES_j - LFi - D_{ij}$$

- Nezavisna vremenska rezerva se koristi za određivanje aktivnosti koje, iako odgođene, neće uticati na ukupnu vremensku rezervu vreme aktivnosti koje joj prethode ili slede iza nje. Vrednost nezavisne vremenske rezerve može biti negativna, te se u tim slučajevima uzima da ima vrednost nula.
- Ukoliko aktivnost ima vrednost ukupne vremenske rezerve nula tada su i slobodna i nezavisna vremenska rezerva isto jednake nuli.

- Uslovna vremenska rezerva (conditional float):

$$CF_{ij} = TF_{ij} - FF_{ij} = LF_j - ES_j$$


- Uslovna vremenska rezerva definiše kritični put mreže.

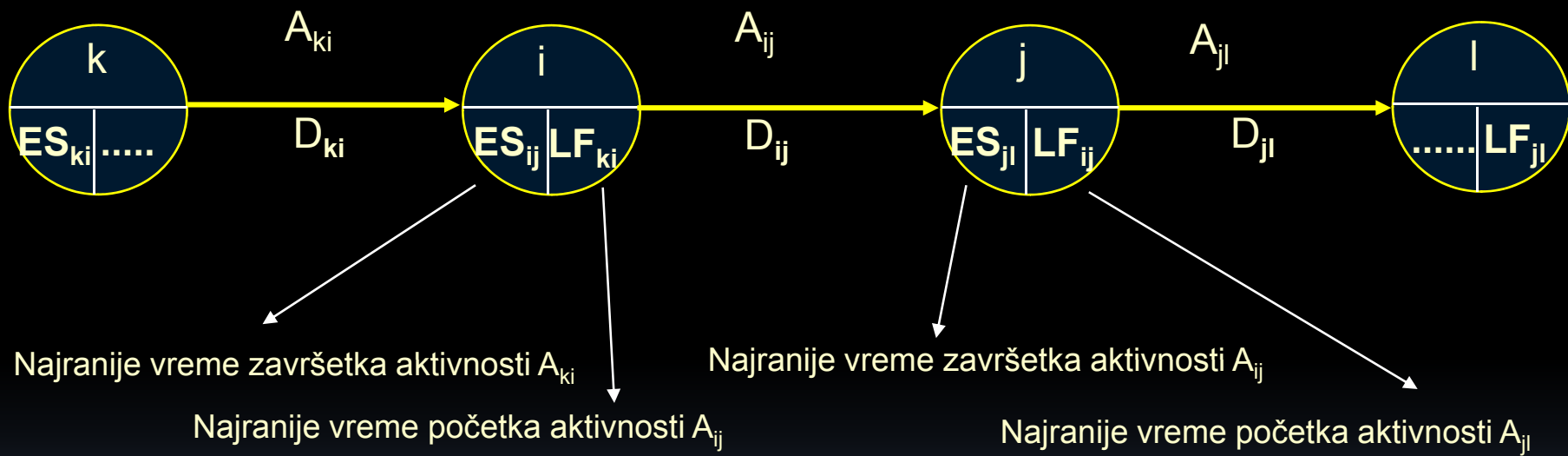
Ograničenja i prioriteti


- Start i Finish - Početak i kraj
- As Late as possible – Najkasnije moguće
- As Soon as possible – Najranije moguće
- Finish No Earlier Than – Kraj ne ranije od
- Finish No Later Than – Kraj ne kasnije od
- Must Finish On - Mora da se završi do
- Must Start On – Mora otpočeti
- Start No Earlier Than – Početak ne pre nego
- Start No Later Than – Početak ne kasnije nego

Tipovi veza aktivnosti

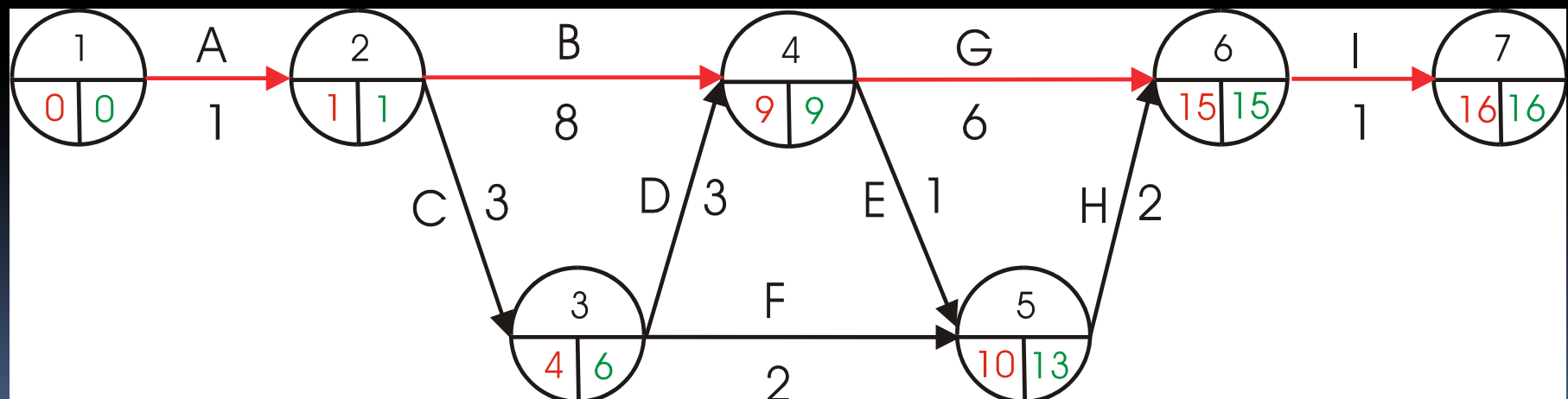
- Finish-to-Start (FS) – Kraj Početak
- Start-to-Start (SS) – Početak Početak
- Finish-to-Finish (FF) – Kraj Kraj
- Start-to-Finish (SF) – Početak Kraj
- Svaka od ovih tipova veza može imati kašnjenje (Lag)

- 
- Proces računskog prolaska kroz mrežu unapred definiše ES . Kada više aktivnosti ulazi u čvor završno vreme aktivnosti koja se poslednja završila postaje ES za taj čvor.
 - Proces računskog prolaska kroz mrežu unazad definiše LF. Kada više aktivnosti izlazi iz čvora, za utvrđivanje LF moraju se uzeti u obzir početna vremena svih aktivnosti koje izlaze iz čvora.

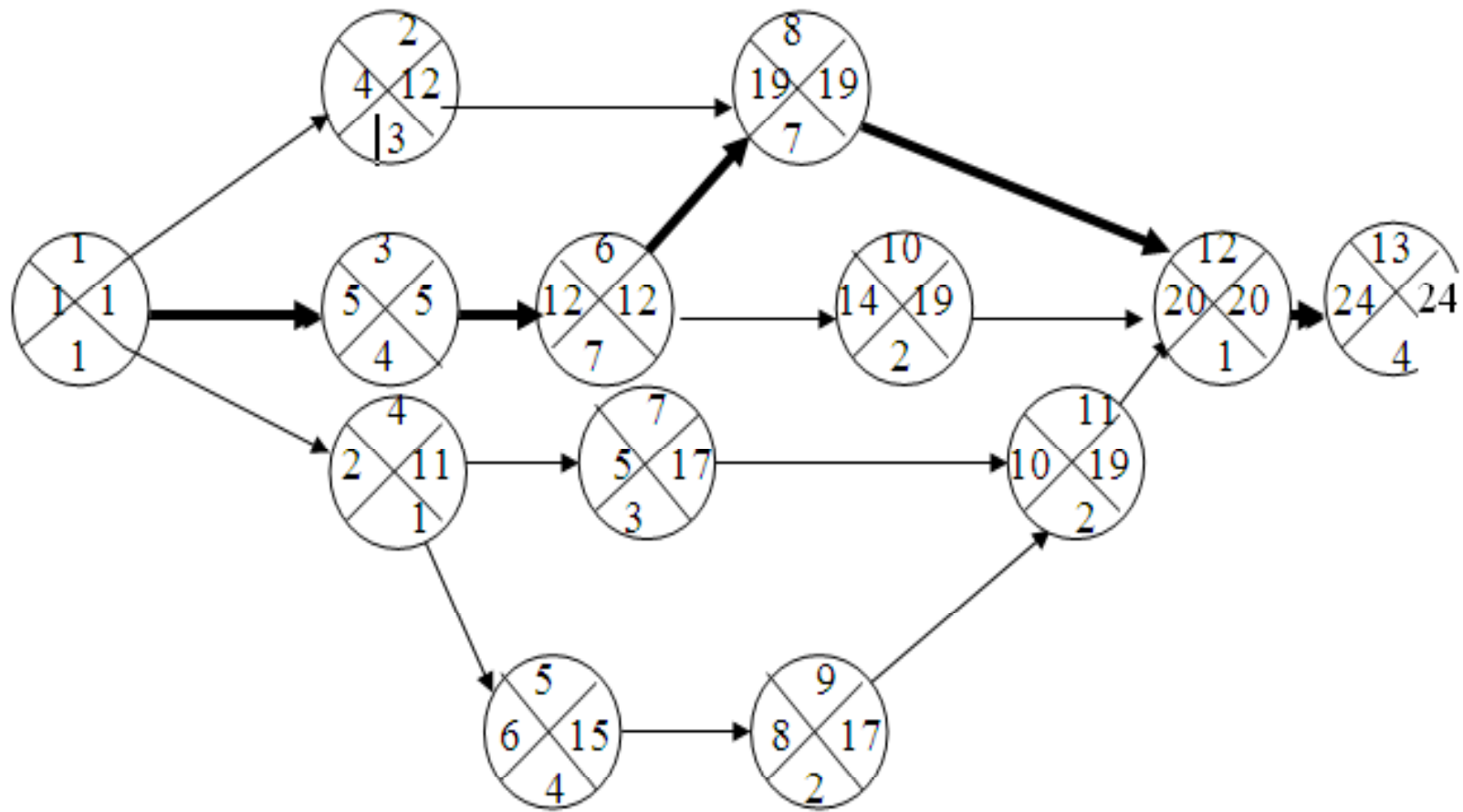


- 
- Lanac aktivnosti koje imaju najduže vreme završetka određuju najranije vreme završetka projekta. Ovo vreme se često naziva vreme projekta (project time) ili trajanje projekta (project duration), ili najčešće **kritični put** (critical path). Kritični put započinje prvim čvorom (događajem) i nastavlja se mrežom do završnog čvora. Svaka aktivnost na kritičnom putu se naziva kritična aktivnost. Kritična aktivnost zadovoljava sledeća tri kriterijuma:

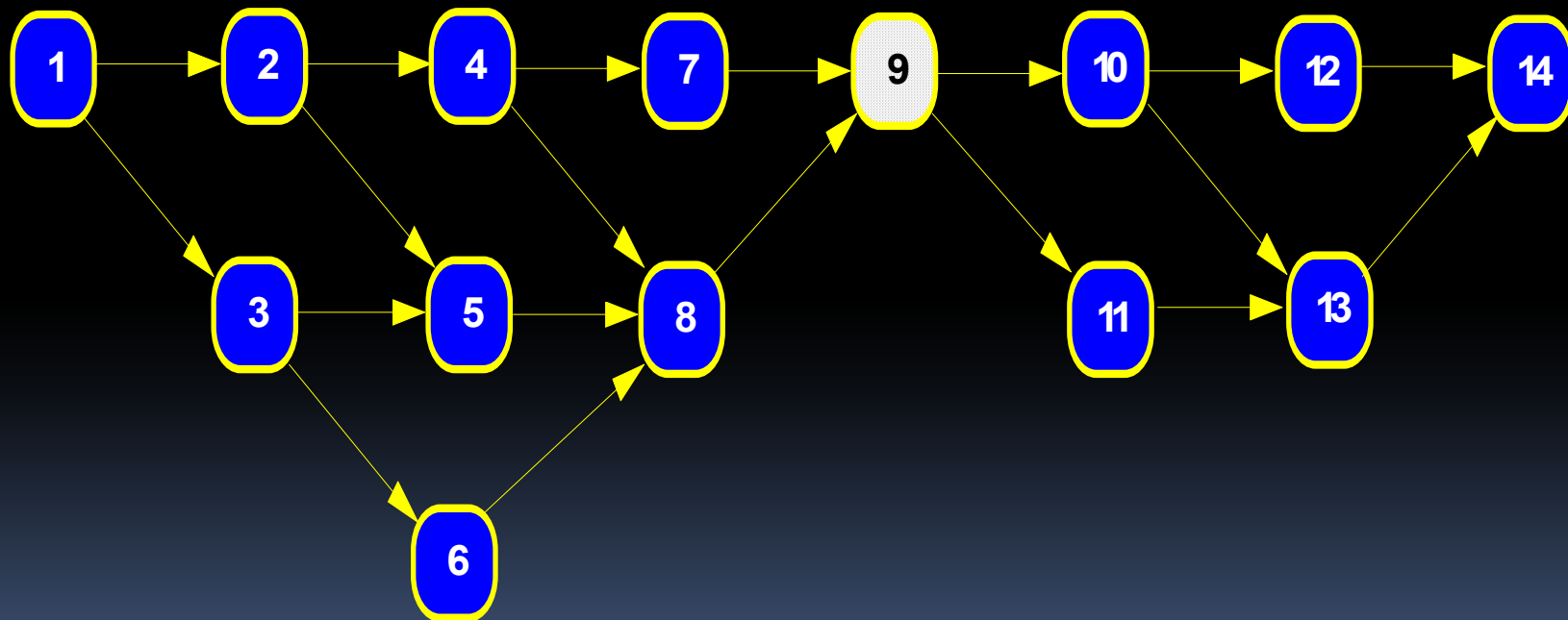
- ES i LS u čvoru i mora biti jednako.
- ES i LS u čvoru j mora takođe biti jednako.
- Trajanje aktivnosti mora biti jednako razlici između LF u čvoru j, i ES na čvoru i:
 $LF_j - ES_i - D = 0$.
- Može postojati više kritičnih puteva.



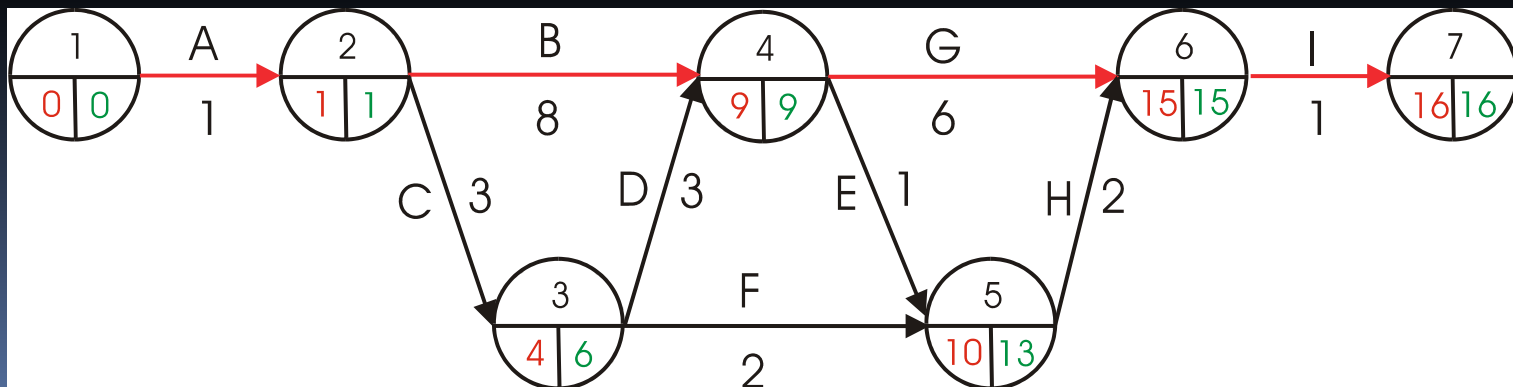
→ kritični put



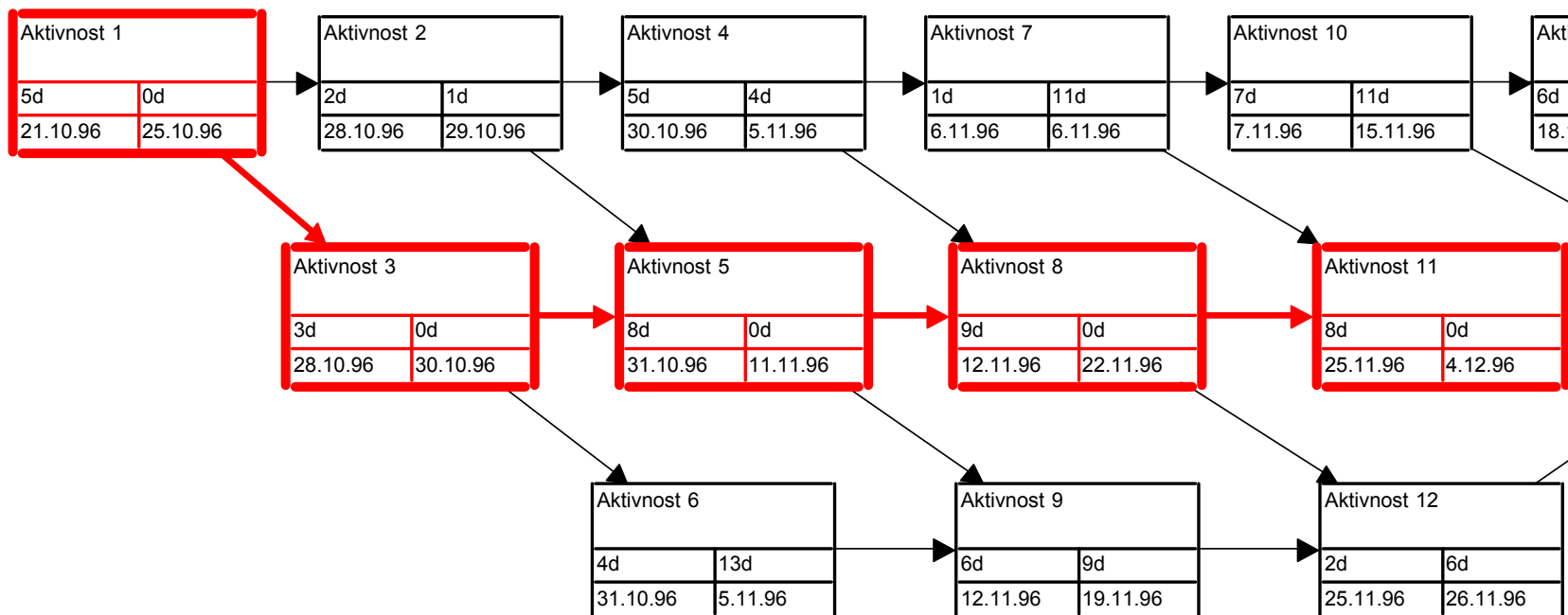
Usko grlo



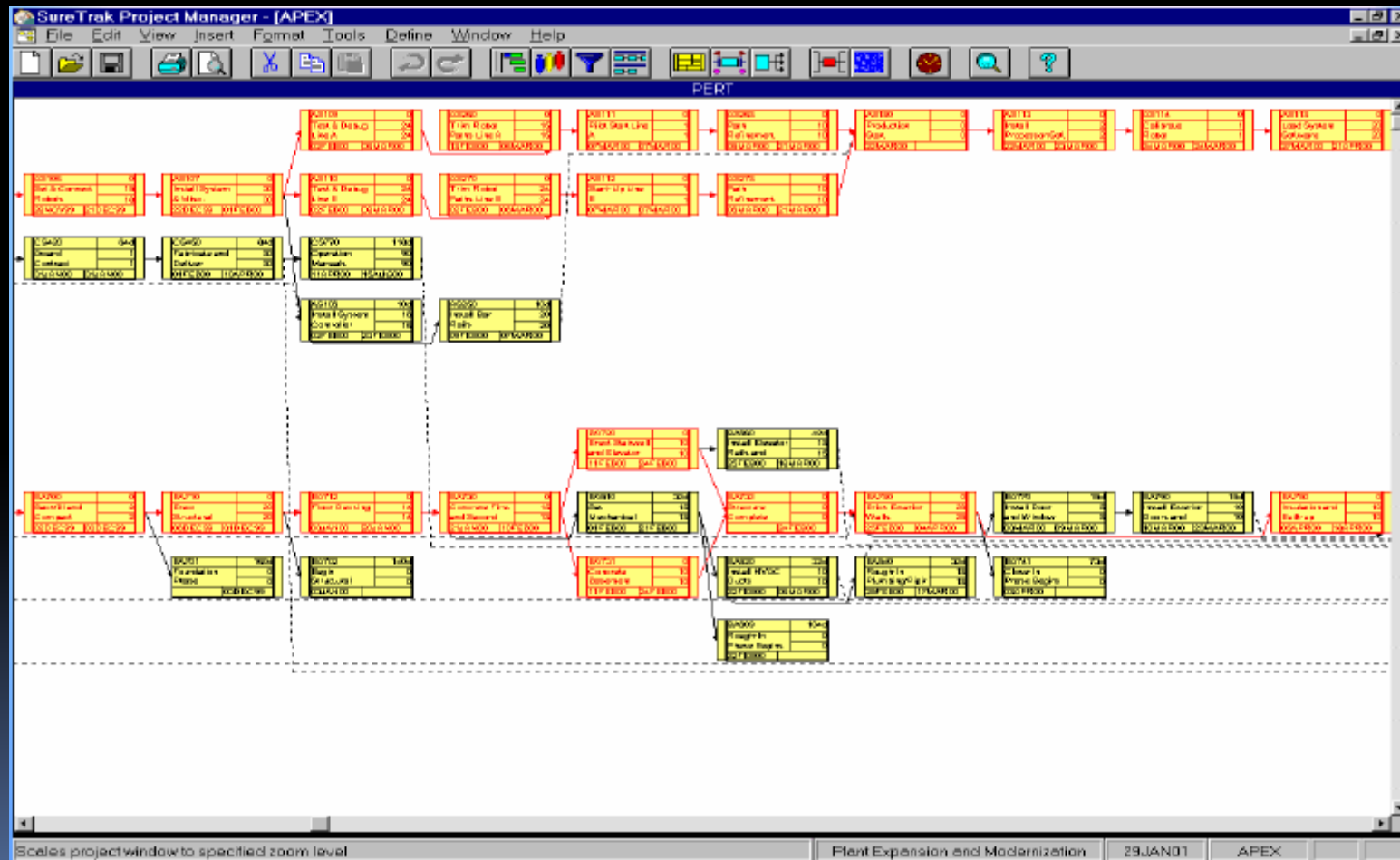
	i	j	Dij	EETi	LETi	EETj	LETj	ESij	EFij	LSij	LFij	TF	FF	IF
A	1	2	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0
B	2	4	8	1	1	9	9	1	9	1	9	0	0	0
C	4	5	3	1	1	4	11	1	4	8	11	7	0	0
D	3	4	3	4	6	9	9	4	7	6	9	2	2	0
E	4	5	1	9	9	10	13	9	10	11	13	3	0	0
F	3	5	2	4	6	10	13	4	6	11	13	7	4	2
G	4	6	6	9	9	15	15	9	15	9	15	0	0	0
H	5	6	2	10	13	15	15	10	12	13	15	3	3	0
I	6	7	1	15	15	16	16	15	16	15	16	0	0	0



Proračun NAPRED – NAZAD u programskom paketu MS Project



Proračun NAPRED – NAZAD u programskom paketu SURE TRACK



Proračun pomoću matrice (Fondahl)

- za razliku od proračuna napred/ nazad daje uvid i u ukupnu vremensku rezervu.

NAREDNA AKTIVNOST

RZ	N ⁰	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1		3	4	1									
4	2								7					
5	3						7							
2	4					4		3						
6	5									2				
12	6								7		2			
5	7											2		
19	8												1	
8	9											2		
14	10												1	
10	11												1	
20	12													4
24	13													
KZ		1	12	5	11	15	12	17	19	17	19	19	20	24
RU=KZ-RZ		0	8	0	9	9	0	12	0	9	5	9	0	0
Krit.akt.		X		X			X		X				X	X

za svaku prethodnu aktivnost u tom redu unose se vremena trajanja narednih aktivnosti u poljima tih aktivnosti.

Proračun pomoću tablice

N ⁰	t _i	Odnos		Pocetak		Zavrsetak		Vr. rezerva		Kriticno	
		PA	NA	RP	KP	RZ	KZ	RU	RS	Put	Vrem e
1	1	-	2,3,4	0	0	1	1	0	0	X	1
2	3	1	8	1	9	4	12	8	12-4=8		
3	4	1	6	1	1	5	5	0	0	X	4
4	1	1	5,7	1	10	2	11	9	2-2=0		
5	4	4	9	2	11	6	15	9	6-6=0		
6	7	3	8,10	5	5	12	12	0	0	X	7
7	3	4	11	2	14	5	17	12	8-5=3		
8	7	2,6	12	12	12	19	19	0	0	X	7
9	2	5	11	6	15	8	17	9	8-8=0		
10	2	6	12	12	17	14	19	5	19-19=0		
11	2	7,9	12	8	17	10	19	9	19-19=0		
12	1	8,10,1 1	13	19	19	20	20	0	0	X	1
13	4	12	-	20	20	24	24	0	0	X	4

Detaljna analiza vremena

- Određivanje radnog vremena i kalendara
 - dnevno radno vreme (letnje, zimsko)
 - broj smena, praznici, godišnji odmori
- Specifikacija potreba u resursima
 - Materijal i oprema
 - Mehanizacija i alati
 - Radna snaga

Specifikacija potreba u resursima

MATERIJAL I OPREMA

	RESURSI	Jedinica mere	Ukupna količina	Cena po jedinici mere	Ukupna cena	Tehnički opis
1	Armatura	kg	20.000,00	50,00	1.000.000	ČBR Φ 14
2	Beton	m ³	5.000,00	3.000,00	15.000.000	MB 30 Franko gradilište
3	Fasadni elementi	kom	1.000,00	1.000,00	1.000.000	120 x 120 cm
4	Cevi za kanalizaciju	m	100,00	300,00	30.000	
5	Cevi za vodovod	m	200,00	400,00	80.000	
6	Malter	m ²	500,00	100,00	50.000	
8	Keramičke pločice	m ²	100,00	100,00	10.000	
9	Vrata	kom	50,00	5.000,00	250.000	
10	Prozori	kom	100,00	4.000,00	400.000	
11	Zid od opeke	m ²	150,00	300,00	45.000	
Ukupna cena materijala					17.865.000	

Specifikacija potreba u resursima, mehanizaciji i radnoj snazi

MEHANIZACIJA

	RESURSI	Fiksni troškovi	Jedinica vremena	Max broj	Cena po jedinici vremena	Tehnički opis
12	Toranjski kran	12.000,00	d	1	35.000,00	
13	Kamion	2.000,00	d	5	15.000,00	
14	Mikser	2.100,00	d	3	18.000,00	
15	Bager	3.000,00	d	3	20.000,00	

RADNA SNAGA

	RESURSI	Jedinica vremena	Max broj	Cena po jedinici vremena	Napomena
16	Armirači	R/D	12	400,00	
17	Betonirci	R/D	6	400,00	
18	Bravari	R/D	6	400,00	
19	Električari	R/D	6	400,00	
20	Instalateri	R/D	4	400,00	
21	Moleri	R/D	20	350,00	
22	Monteri	R/D	10	400,00	
23	Stolari	R/D	10	400,00	
24	Tesari	R/D	12	350,00	
25	Zidari	R/D	30	420,00	
26	Pomoćni radnici	R/D	50	150,00	

Pravljenje unakrsnih tabela aktivnosti - resursi

- ZA MATERIJALE

- po količinama za svaki materijal posebno
- po % u odnosu na ukupnu količinu (cenu) posmatranog materijala
- po cenama svih materijala za svaku aktivnost
- po % u odnosu na ukupnu cenu projekta



• ZA MEHANIZACIJU

- Učinke za jednu mašinu za svaku aktivnost posebno.
- Za usvojena vremena aktivnosti i učinke (ako je to moguće) sračunati broj (ili % rada) mašine u tabeli. Ista mašina se može pojaviti više puta ako može da se upotrebi za različite radove.
- po cenama svake mašine za svaku aktivnost
- po % u odnosu na ukupnu cenu angažovanja svake mašine
- po % u odnosu na ukupnu cenu projekta.




- ZA RADNU SNAGU

- Učinke za jednu brigadu (radnika) za svaku aktivnost posebno.
- Za usvojena vremena aktivnosti i učinke (ako je to moguće) sračunati broj (ili % rada) brigada (radnika) u tabeli.
- po broju ili % učešća za svaku aktivnost
- po cenama svake brigade (radnika) za svaku aktivnost
- po % u odnosu na ukupnu cenu angažovanja brigade (radnika)
- po % u odnosu na ukupnu cenu projekta

Proračun mrežnog plana

- Proračun vremena trajanja svake aktivnosti
- Potrebna sredstva (materijal, oprema, mašine, uređaji, instalacije, inventar...)
- Potreban rad (broj radnika po kvalifikaciji i zanimanjima-strukturama)
- Proračun koštanja svake aktivnosti
- Postavljanje funkcije troškovi-vreme
- Termin plan celog projekta
- Cash flow control (kontrola protoka novca)
- Histogrami korišćenja glavnih resursa

- 
- Planiranje sredstava, radne snage i troškova vrši se na osnovu usvojene tehnologije rada, kao i na bazi vremena trajanja aktivnosti koja su izračunata u fazi analize vremena.
 - Više vrsta optimizacije odnosa, prioritetno:
 1. optimizacija odnosa VREME-RADNA SNAGA
 2. optimizacija VREMENA TRAJANJA
 3. optimizacija VREME-TROŠKOVI
 4. optimizacija SREDSTAVA
 5. optimizacija KVALITETA


Optimizacija mrežnog plana

- po korišćenju glavnih resursa
 - izdvojiti najskuplje (kritične) aktivnosti i resurse
 - uočiti koji su resursi neiskorišćeni
 - izvršiti nivelaciju resursa u okviru vremenskih rezervi
- po vremenu
 - skraćivati aktivnosti na kritičnom putu
 - uvođenje prekovremenog rada
 - uvođenje više smena sa istim brojem mašina
 - primena visokoproduktivnih materijala i mašina
 - primena efikasnijih metoda rada (povećanje fronta rada)
 - povećanje broja mašina (najskuplja mera)

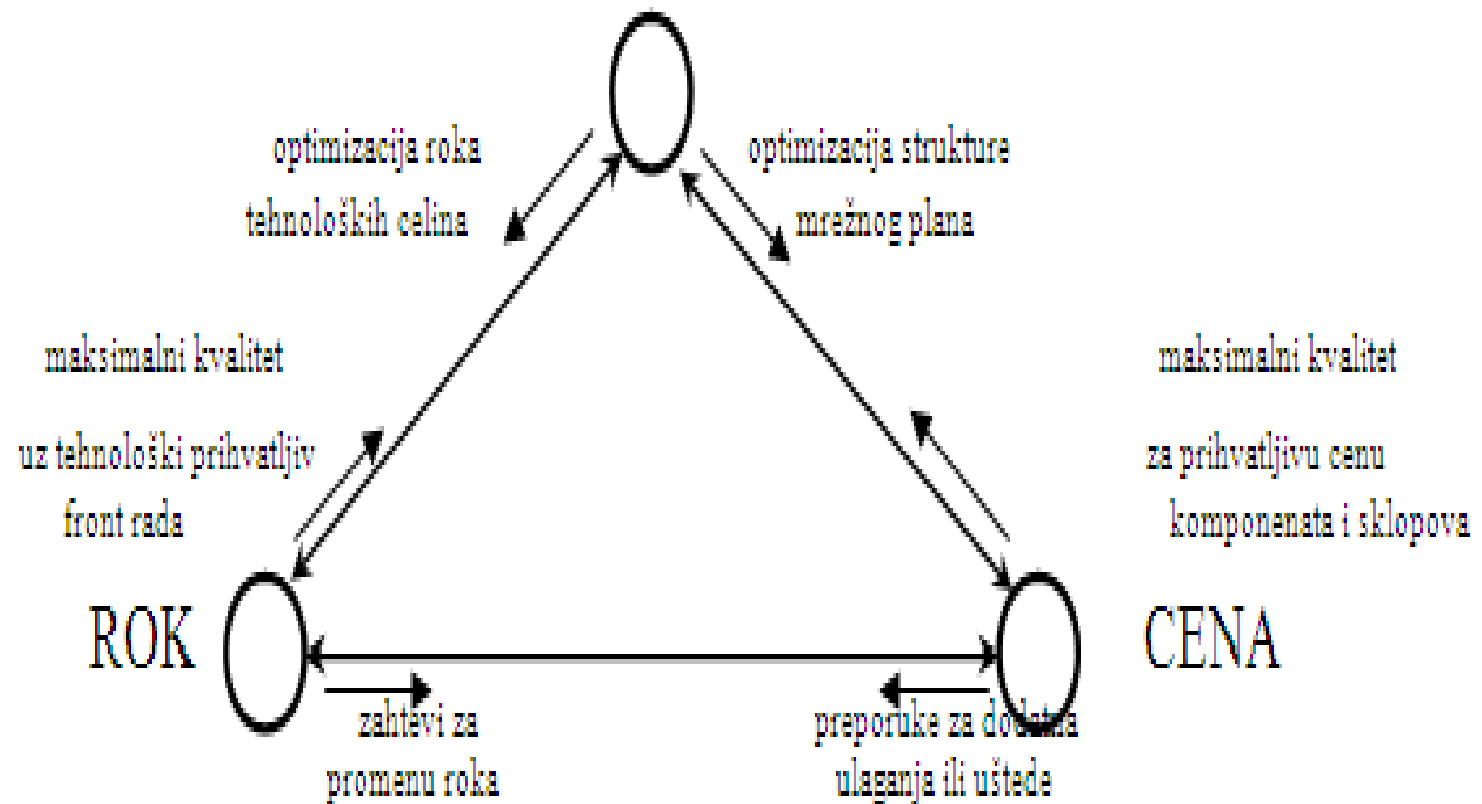
Optimizacija mrežnog plana

- po finansijskim sredstvima
- po kriterijumu kvaliteta

Treba utvrditi konkretan način na koji će doći do skraćenja vremena trajanja pojedinih aktivnosti, uz što manji priraštaj troškova i adekvatan kvalitet gradnje.


- 
- Zahtevi investitora, a to su određeni rok, cena i kvalitet radova, predstavljaju, praktično i osnovne odredbe ugovora.
 - Upravljačke akcije su usmerene ka težnji da ove zahteve učine fiksnim, da se ostvare planirani **troškovi**, da bude održan planirani **rok** i da **kvalitet** odgovara zahtevanom.
 - Nemoguće je istovremeno ostvariti maksimalne rezultate po sva tri zahteva - za najnižu cenu ostvariti maksimalni kvalitet u najkraćem roku, zbog njihove međusobne uslovljenosti i povezanosti.


KVALITET





1. Optimizacija odnosa VREME-RADNA SNAGA

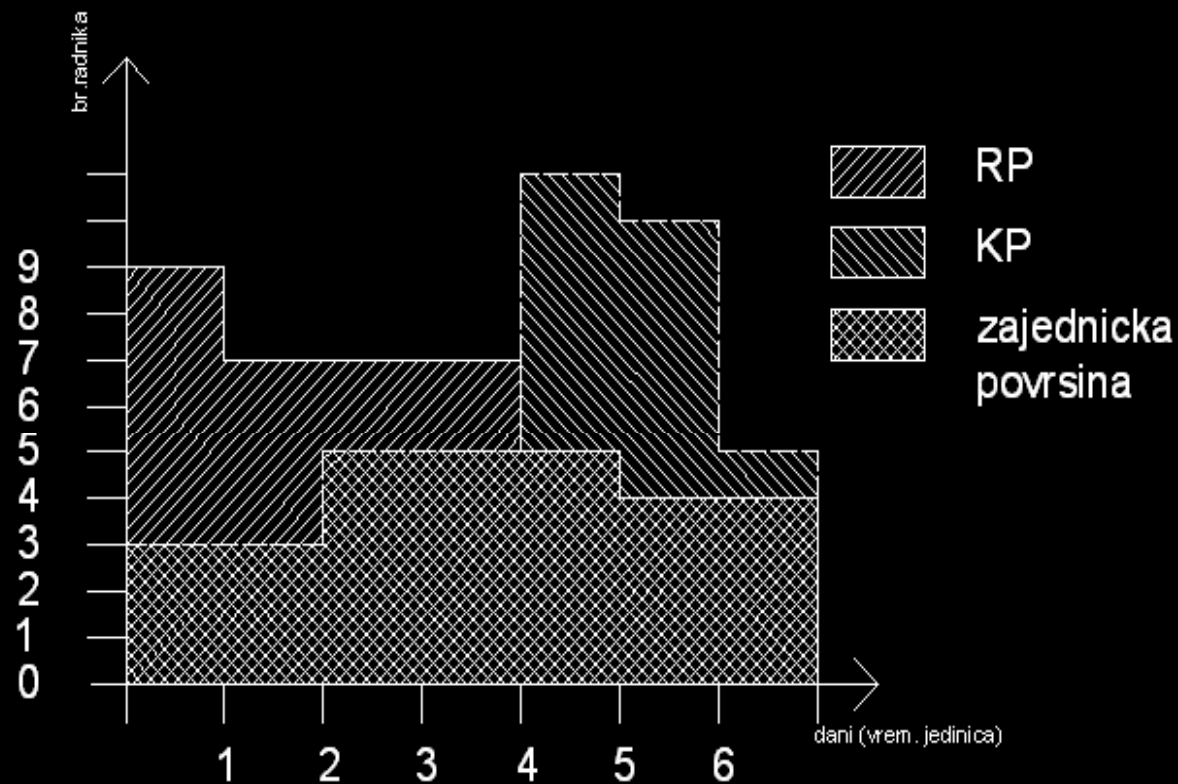
- postizanje što ravnomjernijeg angažovanja ljudskih kapaciteta u toku realizacije projekta.
- Neravnomerno angažovanje radne snage u pojedinim periodima realizacije projekta često dovodi i do direktnih materijalnih gubitaka.
- Svako planiranje koje ne uzima u obzir raspoloživost resursa može se smatrati nerealnim.

- 
- Optimizacija resursa ima za cilj i da se izbegnu veće oscilacije u broju radnika i sredstava.
 - Manuelni metodi, pomeranje nekritičnih aktivnosti duž kritičnog puta, sprovode se u zavisnosti od sledećih kriterijuma:
 1. Poznat je obim radova na projektu, resursi su limitirani, pa je potrebno radove izvesti u što kraće mogućem roku
 2. Poznat je obim radova i fiksiran rok, pa se zahteva optimalan plan angažovanja resursa

- 
- Angažovanje radne snage na kritičnim aktivnostima ne može se menjati, vrši se pomeranje samo nekritičnih aktivnosti što izaziva povoljniju dinamiku opterećenja radne snage.
 - Ovo pomeranje uslovljava promenu prvobitno izračunatih vremenskih rezervi, ali i više nego pozitivne efekte optimizacije .
 - Ceo postupak se sprovodi kroz nekoliko faza:

- 
1. Sve nekritične aktivnosti se postavе u najraniji početak. Izradi se dijagram angažovanja radne snage po vremenima. Mrežni dijagram se predstavi u koordinatnom sistemu (apcisa-vreme).
 2. Pretpostavi se nakon toga da se sve nekritične aktivnosti postavе u najkasnijem početku. Ponovo se izradi se dijagram angažovanja radne snage po vremenima. Mrežni dijagram se predstavi u koordinatnom sistemu .
 - U prvom slučaju dijagram radne snage pokazuje potrebu većeg angažovanja radne snage na početku projekta, a u drugom slučaju pri kraju.


- 
3. Dva dobijena dijagrama potreba u radnoj snazi se preklope. Zajednička površina ostaje nepromenjena, a kombinuju se kapaciteti izraženi drugim površinama, kako bi se dobio optimalan raspored angažovanja radnika.
 4. Nekritične aktivnosti se pomeraju u intervalima od najranijih do najkasnijih početaka i vrši se njihovo kombinovanje.
 5. Po potrebi, nekritične aktivnosti se dele na dve ili više podaktivnosti.

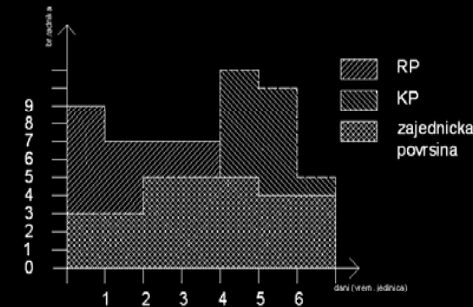


- u 4. fazi, za konačno određivanje položaja nekritičnih aktivnosti primenjuje se Gray-Kidd-ov algoritam.

Gray-Kidd algoritam

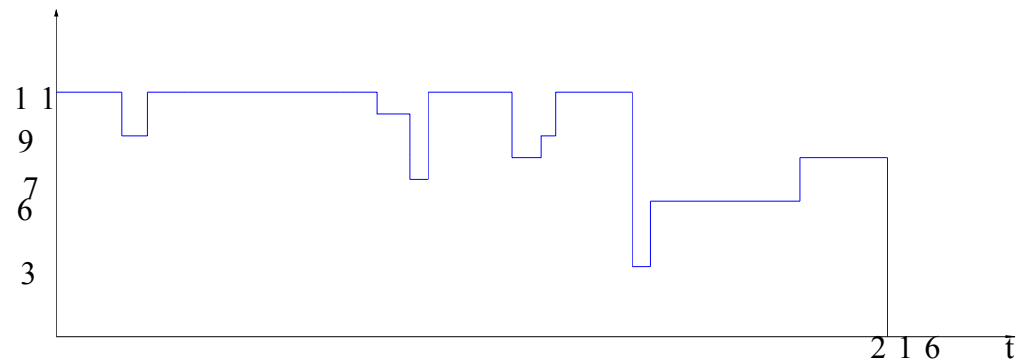
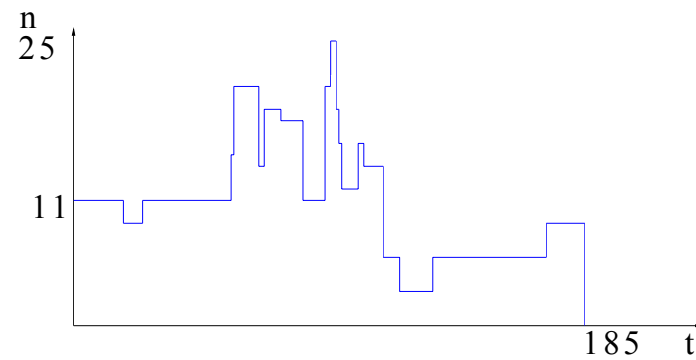
- za već urađen mrežni plan datog projekta, prikaže se dijagram svakodnevnih potreba u odgovarajućem resursu (histogram)
- za jasno određen prvi vremenski interval numerišu se aktivnosti iz tog intervala prema veličini vremenske rezerve, čime je određen prioritet njihovog pomeranja
- za svaku od aktivnosti iz izabranog vremenskog intervala proceniti neophodne resurse za njeno izvršenje, gde su i sami resursi numerisani i poređaju se po važnosti

- 
- kada je zahtev za pojedinim resursom veći od resursnih mogućnosti, selektuje se aktivnost sa maksimalnom slobodnom vremenskom rezervom, što dalje dovodi do pomeranja početaka te (tih) aktivnosti sa gledišta ograničenosti resursa na sledeći vremenski interval.
 - kraj prvog vremenskog intervala označava početak narednog, proces se ponavlja, sve dok nije postignuto da zbir svih vremenskih intervala ne bude jednak dužini trajanja projekta.



- Na primeru se usvoji prvi konstantni interval u trajanju od 1 vremenske jedinice. Potreban broj za realizaciji je 9 radnika (Aktivnost A sa 4, aktivnost B sa 2 i aktivnost C sa 3 radnika).
- Npr, aktivnost C može da se odloži za neki od sledećih intervala u granicama svoje vremenske rezerve.
- Crta se novi dijagram gde se u ovom vremenskom intervalu označava potreba za 6 radnika...

Primer potrebe u resursima pre i posle nivelacije za trajanje projekta od 185 dana



2. Optimizacija VREMENA TRAJANJA

- Kako se skraćuju trajanja pojedinih aktivnosti?
- uvođenje višesmernog rada
- primena produktivnijih materijala
- primena skupljih tehnoloških metoda
- primena većeg broja osnovnih sredstava i mehanizacije
- davanje premija radnicima od strane investitora
- preraspodela radne snage ili sredstava rada sa nekritičnih na kritične aktivnosti.

Optimizacija po Beasley-u

- Sve aktivnosti se inicijalno postavljaju sa svojim normalnim trajanjima.
- Prvo se analiziraju promene za smanjenje od jedne vremenske jedinice.
- Nastavlja se sa daljim skraćanjem za po jednu vremensku jedinicu, po istom principu i posmatraju se promene, do formiranja novog kritičnog puta, odnosno dok sve aktivnosti ne dostignu svoje usiljene vrednosti trajanja.

3. Optimizacija VREME- TROŠKOVI (Odnos TROŠKOVI/VREME)


- LINEARNA FUNKCIJA

za praksu dovoljno prihvatljiv

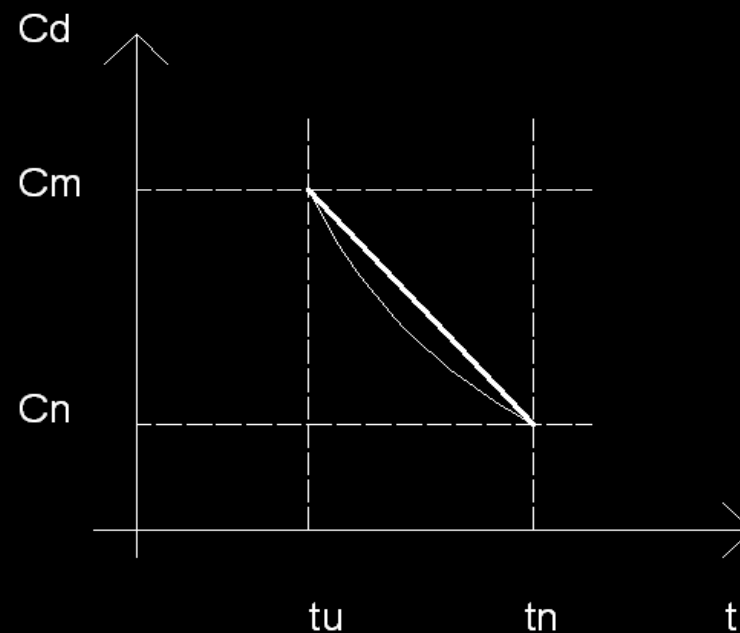
najniži troškovi (direktni) su za normalno
vreme trajanja

najviši troškovi su za usiljeno vreme trajanja –
all crash cost

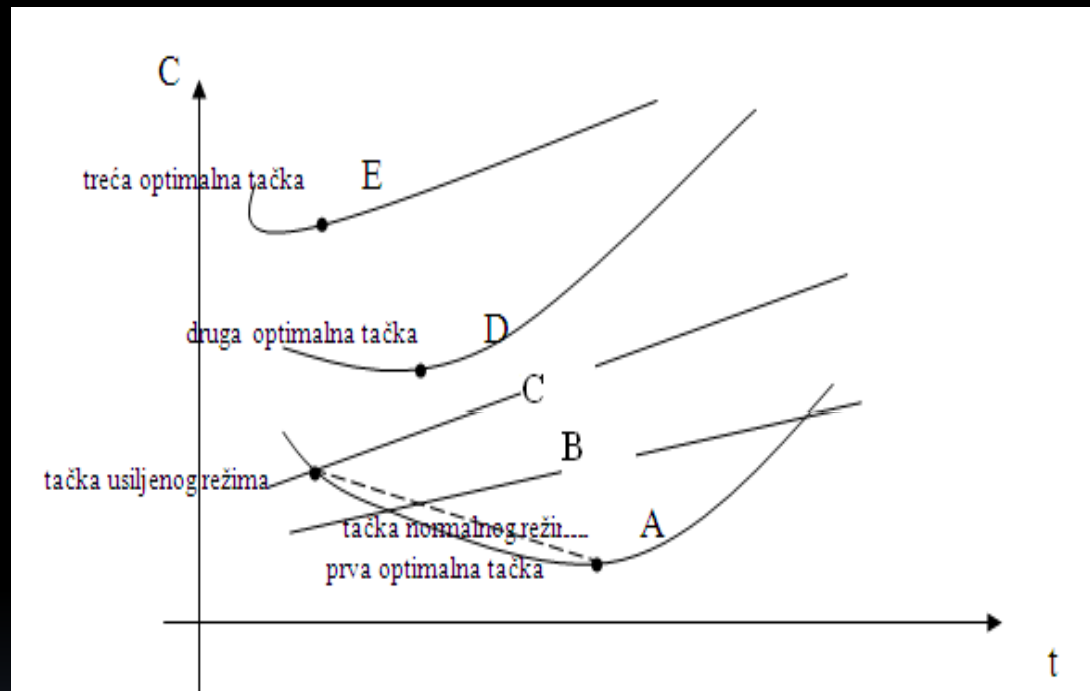
- KONVEKSNA ILI STEPENASTA FUNKCIJA

- 
- Skraćenje vremena trajanja projekta uz minimalno (optimalno povećanje troškova).
 - Skraćenje normalnog vremena trajanja aktivnosti – t_n - može da se vrši do jedne određene granice, tzv. usiljenog trajanja aktivnosti – t_u . Ovo vreme je istovremeno i minimalno vreme trajanja aktivnosti koje se može postići raznim organizacionim i tehničko-tehnološkim merama i napređenjima.
 - Troškovi koji nastaju pri usiljenom trajanju si maksimalni - C_m .

- Skraćenje vremena trajanja kritičnih aktivnosti može da dovede do pojave novih kritičnih puteva.
- Priraštaj troškova $\Delta C = (C_m - C_n) / (t_n - t_u)$
- Kretanje direktnih troškova u zavisnosti od vremena trajanja aktivnosti:



- U strogim analizama troškova treba uzimati u obzir, pored direktnih, i indirektne troškove i penale



- A - direktni troškovi
- B - indirektni troškovi
- C - penali
- D - suma direktnih i indirektnih troškova
- E - suma direktnih i indirektnih troškova i penala

Optimizacija po Fondahl-u

- Optimizacija se sprovodi samo do trenutka kada dolazi do povećanja ukupnih troškova na projektu.
- Na ovaj način se nalazi ono vreme izvođenja (ne mora biti najkraće) za koje će troškovi biti minimalni, što istovremeno predstavlja optimizaciju po kriterijumu cene.
- Skraćivanjem kritične aktivnosti, sve naredne kritične aktivnosti na kritičnom putu se pomeraju translatorno prema aktivnosti koja se skraćuje.
- Ako postoji neka nekritična aktivnost koja je vezana za neku od kritičnih aktivnosti vezanih za onu koja se skraćuje, to će se veličina slobodne vremenske rezerve sa jedne strane povećati, a sa druge smanjiti, za onoliko koliko se skрати kritična aktivnost.


- Suština metode je u utvrđivanju sledećih parametara:
 1. Izbor kritičnih aktivnosti za sve kritične puteve koji imaju najmanji priraštaj direktnih troškova u pojedinačnom koraku. Pri tome treba birati aktivnosti koje su zajedničke za veći broj kritičnih puteva.
 2. Utvrđivanje efekata međusobnih zavisnosti.
 3. Utvrđivanje mogućeg vremena skraćenja u tom koraku u zavisnosti od: merodavne minimalne vrednosti smanjenja vremenske rezerve nekritičnih aktivnosti, ili najvećeg mogućeg vremena skraćenja kritičnih aktivnosti, odnosno moguće vreme skraćenja je manja od ove dve veličine.


4. Utvrđivanje veličine priraštaja troškova za ceo projekat.
5. Utvrđivanje veličine smanjenja troškova za ceo projekat.
6. Utvrđivanje cene projekta i roka građenja
7. Ocena da li je postigut optimum ili ne.

- Pre analize po ovoj metodi, treba odvojiti troškove na direktne i indirektne, tako da promena indirektnih troškova usledi samo onda ako dođe do promene ukupnog vremena građenja. Prodajna cena:

$$C_p = (E_{\text{mat}} + E_{\text{br. plate}} + E_{\text{os}}) (1 + F) \text{ (din./jed. proizvodnje)}$$

- Prof. Trbojević predlaže linearni odnos troškovi-vreme. Linearizacija se vrši u granicama od $0,3 t_s$, pa sve do ukupnog smanjenja vremena aktivnosti do $t \subseteq 0,5 t_s$. Ukoliko je moguće i dalje skraćivanje vremena trajanja pojedinih aktivnosti, prelazi se na kraće intervale $0,2 t_s$, zatim $0,1 t_s$.
- Na svim vezama $PA_i - NA_j$, gde je $PA_i = PA_{ik}$, tj. aktivnost na kritičnom putu sa $i > ik$, povećava se vremenska rezerva kada se vrši skraćivanje neke od aktivnosti na kritičnom putu. To povećanje slobodne vremenske rezerve jednako je vremenu skraćivanja kritične aktivnosti.

- 
- Na svim vezama $NA_i - NA_j$, gde je $NA_i = NA_{jk}$, tj. aktivnost na kritičnom putu sa $j > j_k$, smanjuje se vremenska rezerva kada se vrši skraćivanje neke od aktivnosti na kritičnom putu. To smanjenje slobodne vremenske rezerve jednako je vremenu skraćivanja kritične aktivnosti.
 - Obzirom da je skraćivanje vremena trajanja kritičnih aktivnosti vezano za promenu slobodnih vremenskih rezervi nekritičnih aktivnosti, rad se sprovodi po koracima, a na osnovu sledećih parametara:

- 
- vrši se izbor kritičnih aktivnosti za sve kritične puteve koji imaju najmanji priraštaj
 - utvrđuje se efekat međusobnih zavisnosti, promena veličine T_s ,
 - utvrđuje se moguće vreme skraćanja u tom koraku
 - utvrđuje se veličina priraštaja troškova za ceo projekat
 - utvrđuje se veličina smanjenja troškova za ceo projekat
 - utvrđuju se cena projekta i rok građenja u posmatranom koraku
 - ocenjuje se da li je ostvaren optimum ili ne.

■ Troškovi se označavaju:

- C_N - normalni troškovi projekta
- C_t - troškovi u koraku (t)
- c_i - priraštaj troškova aktivnosti i za skraćenje vremena za jedan dan
- E_{ct} - povećanje troškova projekta usled skraćanja roka izgradnje u koraku (t)
- E_{rt} - smanjenje troškova usled skraćanja roka izgradnje (usled režije, interkalarne kamate, usled inflacije, dobiti usled ranijeg završetka)
- q - efekat indirektnih troškova (režije, interkalarne kamate, usled inflacije, dobiti usled ranijeg završetka za jedan dan)

■ Oznake za vremenske parametre:

- T_N - normalni rok izvođenja projekta
- T_t - rok izgradnje u koraku (t)
- T_z - rok izgradnje za završni korak z
- T_{opt} - optimalno vreme izvođenja projekta

- U prethodnoj tabeli je prikazan prvi korak optimizacije za mrežni dijagram sa 55 aktivnosti.
- Optimizacioni proces je sproveden kroz 13 koraka. Ukupno vreme trajanja u 13. koraku je sa 269 dana smanjeno na 214 dana:

POVECANJE TROSKOVA	$(\sum c \times d)$	+26.208,00
PROMENA ROKA GRADJENJA		-8
NOVI ROK GRADJENJA ($T_n=222$)		214
SMANJENJE TROSKOVA		-24.541,00
NOVA CENA ($C_n=1.439.619,00$) b-normalno trajanje aktivnosti, s-usiljeno trajanje aktivnosti q- efekat indirektnih troškova (režije, interkalarne kamate, inflacija, dobit zbog ranijeg završetka za jedan dan...)	$C_i = C_p + \sum cd - qd$	1.441.286,00

Linearna i konveksna optimizacija vremena trajanja pri zadatim troškovima

- Matematička formulacija zadatka je sledeća:

$Z = LFn$, pri ograničenjima

$$\left. \begin{array}{l} LF_i - LS_i - t_i \geq 0 \\ 0 \leq (tu)_i \leq t_i \leq (tn)_i \end{array} \right\}$$
$$LS_1 = 0$$

- Linearna varijanta glasi:

$$\sum_i (-a_i t_i + b_i) \leq C$$

- Konveksna varijanta glasi:

$$\sum_i \frac{a_i}{t_i} \leq C$$

- Kada su vremena trajanja aktivnosti projekta $t_i = (tn)_i$ nalaze se odgovarajući troškovi na projektu C_M . Za bilo koje $C > C_M$ zadatak nije rešiv.
- Kada je $LF_n = m$, i ako se nađe odgovarajuće C_m koje odgovara usiljenom trajanju projekta, za $C \geq C_m$, $T = m = LF_n$ će biti minimalno vreme.
- Algoritmi za rešavanje oba ova problema su zasnovana na metodi Kelley.
- Ako se za neko vreme $T = LF_n$, minimalni troškovi projekta dobijeni na bazi λ -parametarske minimalizacije, poklapaju sa zadatim troškovima S , onda to vreme predstavlja rešenje prethodno pomenutog zadatka.

Kelley-eva metoda

- Trajanje bilo koje aktivnosti može imati samo jednu od sledećih vrednosti:
- $t_i = (tn)_i = LF_i - LS_i$, kada aktivnost ima normalno trajanje i ne raspolaže vremenskom rezervom
- $t_i = LF_i - LS_i < (tn)_i$, kada aktivnost ima trajanje manje od njenog normalnog trajanja i ne raspolaže vremenskom rezervom
- $t_i = (tn)_i < LF_i - LS_i$, kada aktivnost ima normalno trajanje i kada raspolaže vremenskom rezervom koja ne može biti iskorišćena.

- A_1 - skup aktivnosti koje u optimalnom planu ne raspolažu vremenskom rezervom, A_2 - skup onih aktivnosti koje raspolažu vremenskom rezervom, V_1 - skup aktivnosti kod kojih je $t_i = (tn)_i > (tu)_i$, V_2 - skup aktivnosti kod kojih je $t_i = (tn)_i = (tu)_i$, V_3 - skup aktivnosti kod kojih je $t_i = (tn)_i < (tu)_i$, za optimalnu analizu se mogu razmatrati različite kombinacije skupova A i V .
- Rešavajući problem λ -parametarske minimalizacije, Kelley-eva metoda rešava zadati matematički problem, pri čemu su nađene vrednosti:

- $\{\tilde{t}_i, \tilde{L} F_i\}$ za koje je $Z_{\min} = \sum_i (-a_i \tilde{t}_i + b_i) = C$

- Naredni korak predstavlja usavršavanje dobijenog optimalnog plana, u kome je $LF_n = \lambda$, u novi optimalni plan projekta:

$$\{t_i, LF_i\} = \{\tilde{t}_i, \tilde{L} F_i\} - \Theta \{\xi_i, \eta_{LF_i}\} = \{t_i - \Theta \xi_i, LF_i - \Theta \eta_{LF_i}\}$$

čije je trajanje $LF_n' = \lambda - \Theta > 0$.


- Problem svodi na iznalaženje minimuma funkcija $\sum_i a_i \xi_i$ i određivanje vrednosti $\{\xi_i, \eta_{LF_i}\}$ jer se pri korišćenju datih pretpostavki funkcija kriterijuma svodi na oblik

$$Z = \sum_i (-a_i t_i + b_i) = \sum_i (-a_i \tilde{t}_i + b_i) + \Theta \sum_i a_i \xi_i = C + \Theta \sum_i a_i \xi_i$$

- Rešenje ovog zadatka izvodi se uz ograničenja za ξ_i i η_i koja se formulišu u zavisnosti od toga kojem od pomenutih skupova pripada data aktivnost.
- Na bazi rezultata Kelley-a problem određivanja optimalnog plana svodi se na zadatak linearnog programiranja:
 - Određivanje minimuma funkcije
 - pri ograničenjima



$$\sum_i a_i \xi_i$$

$$\begin{aligned} \sigma_i &= \xi_i + \mu_{LSi} - \eta_{LFi} \geq 0, i \in A_1 \\ \xi_i &\begin{cases} \geq 0, i \in A_1 \cap B_1 \\ = 0, i \in A_2 \cup (A_1 \cap B_2) \\ \leq 0, i \in A_1 \cap B_3 \end{cases} \\ \eta_{LS1} &= 0, \eta_{LF_n} = 1 \end{aligned}$$

- 
- Rešenje ovog zadatka, u slučaju da je rešiv, određuje se Θ , odnosno optimalni plan za projekat trajanja $LF_n' = \lambda - \Theta < \lambda$.

Analiza troškova pomoću linearnog i konveksnog programiranja

- minimizacija troškova na projektu sa zadatim vremenom trajanja projekta, a na račun povećanja vremena trajanja nekih nekritičnih aktivnosti
- minimizacija vremena trajanja projekta sa zadatim troškovima
- parametarska minimizacija troškova uz ograničenja vremena trajanja aktivnosti od usiljenih do normalnih, ali i ukupnog vremena trajanja projekta od usiljenog do normalnog.

- 
- Analizi troškova pristupa se kada je za dati projekat izvršena vremenska analiza odgovarajućeg mrežnog dijagrama: određeno vreme trajanja svake aktivnosti, najranije i najkasnije vreme nastupanja svih događaja, određen kritični put i sve kritične i nekritične aktivnosti.
- 

- minimizacija troškova projekta, sa trajanjima aktivnosti i njihovim početnim i završnim događajima kao uslovima ograničenja u zadatku linearnog programiranja
- za svaku aktivnost projekta odredi se minimalno, usiljeno vreme trajanja
- ukupno *dopušteno* vreme trajanja projekta T nije manje od minimalno mogućeg vremena, ni veće od maksimalno mogućeg vremena trajanja
- iznalaze se vremena nastupanja svih događaja, odnosno rešenje linearnog programa sa minimalnim troškovima, ili matematički izraženo:

$$Z = \min \sum [-a_i(t_i) + b_i], \quad a_i \geq 0, \quad b_i > 0,$$

pri ograničenjima

$$(t_u)_i \leq t_i \leq (t_n)_i,$$

$$(T_j - T_i) - t_i \geq 0,$$

$$T_1 = 0,$$

$$T_n \leq \Lambda$$

$$a_i = \frac{(C_{du})_i - (C_{dn})_i}{(t_n)_i - (t_u)_i} \quad b_i = \frac{(C_{du})_i \times (t_n)_i - (C_{dn})_i \times (t_u)_i}{(t_n)_i - (t_u)_i}$$



Nedostaci:

- Odnosi među aktivnostima su predstavljeni kao idealni
- Trajanja aktivnosti su nezavisna među sobom
- Trajanja aktivnosti su nezavisna od spoljnih uticaja
- Pretpostavlja se da su resursi-radnici sa istim sposobnostima i iste efikasnosti

Parametarska minimizacija troškova

- Analogno normalnom i usiljenom trajanju aktivnosti, definiše se i normalno M i usiljeno m vreme trajanja projekta, odnosno normalno i usiljeno vreme odigravanja završnog događaja aktivnosti n . Na osnovu toga sledi:

$$m \leq LFn \leq M$$

tako da se bilo koja vrednost LFn iz $[m, M]$ naziva dopuštenim vremenom trajanja projekta i za svaku od ovih vrednosti postoje odgovarajući optimalni troškovi.

- Parametarska optimizacija troškova se sastoji u određivanju optimalnih troškova za bilo koje $\lambda \in [m, M]$ dopušteno vreme trajanja projekta posredstvom traženja minimuma funkcije

$$Z = \sum_i (-a_i t_i + b_i)$$

pri ograničenjima za svaku aktivnost



$$\left. \begin{array}{l} LF_i - LS_i - t_i \geq 0 \\ (tu)_i \leq t_i \leq (tn)_i \end{array} \right\}$$

$$LS_1 = 0, LF_n = \lambda$$

- Ovako formulisan zadatak analize linearne zavisnosti troškova od vremena trajanja pojedinih aktivnosti je ***λ -parametarska minimizacija troškova projekta.***
- Matematički zadatak formulisan na ovaj način - dvostruko ograničen zadatak linearnog programiranja.

4. optimizacija SREDSTAVA

- U praksi se pojavljuje problem najracionalnijeg iskorišćenja materijala, mašina, opreme, kao i radne kapacitete na projektima koji teku paralelno, a angažuju ista sredstva ili iste radne kapacitete.
- Optimalan raspored nekritičnih aktivnosti:
 - ni jedna nekritična aktivnost ne počinje u najranijem početku, niti se završava u najkasnijem završetku,
 - svaka nekritična aktivnost može da kasni, ali da ukupan rok na projektu ne bude ugrožen


- 
- 
- oblik dijagrama potrebnog kritičnog materijala sledi oblik jedne od pravilnih geometrijskih krivih, količine se na početku povećavaju, dosegnu jedan racionalan maksimum, a pri kraju opadaju (Gausova ili zvonasta kriva),
 - ordinate dijagrama materijala (količine) treba da budu bez izrazitih ekstrema.


Interaktivno planiranje

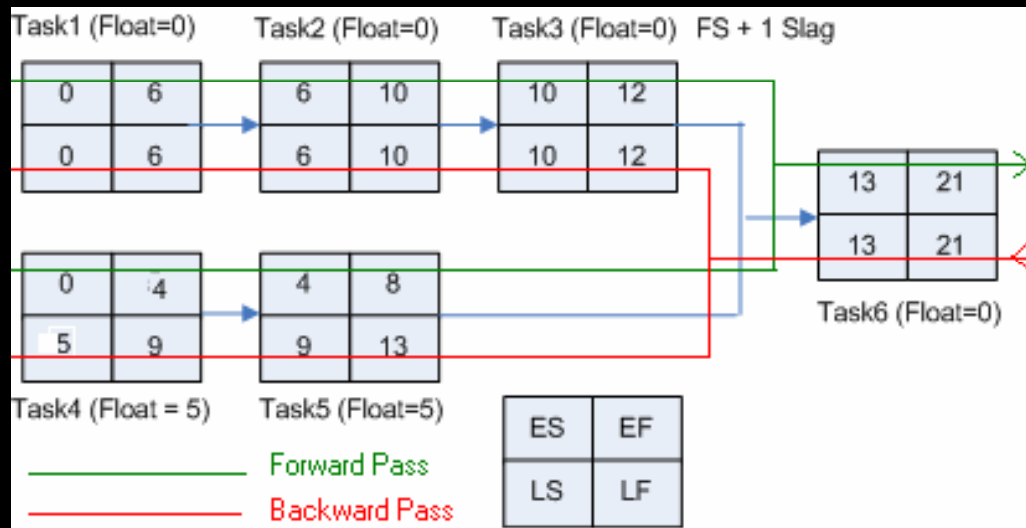
- Pokušaj prevazilaženja nedostataka prethodno opisanih metoda.
- "Stvori i testiraj" kružni tok informacija.
- Pretpostavi se raspored aktivnosti u mrežnom planu koji se testira za uticaj različitih ograničenja. U toku testiranja utvrđuju se "tačke spoticanja", a rezultati usmeravaju u pravcu novog testiranja.

Critical Chain scheduling

- Smanji se verovatnoća trajanje aktivnosti za 50%. Trajanje aktivnosti je normalno procenjeno da u sebi sadrži neko dodatno vreme radi sigurnosti.
- Zaštita od skraćanja individualnih aktivnosti se strateški grupiše i umeće kao "gurač" u projektu.
- Eliminiše se zavisnost od resursa njihovom preraspodelom. Kritični lanac se definiše kao najduži lanac u putu koji zavisi od dostupnosti pojedinačnih resursa nakon preraspodele.
- Ubaci se "gurač" (**Project Buffer**) na kraju projekta da bi se postiglo ukupno planirano vreme.

- 
- Zaštititi se kritični lanac od dostupnosti resursa sa **Resource buffers**, da bi se obezbedio priliv resursa u kritični lanac.
 - Postave se **Feeding Buffers** na svim putevima koji ulaze u kritični lanac, štiteći ga od gubitka vremena.
 - Postavi se izvršavanje početnog zadatka *što je kasnije moguće*.
 - Resursi treba da rade što je moguće brže na svojim aktivnostima. Broj resursa ne treba da zavisi od milestone aktivnosti.
 - Koristi se buffer management za kontrolu plana. Na ovaj način se obezbeđuju informacije o tome kada treba izvršiti neku korekciju.

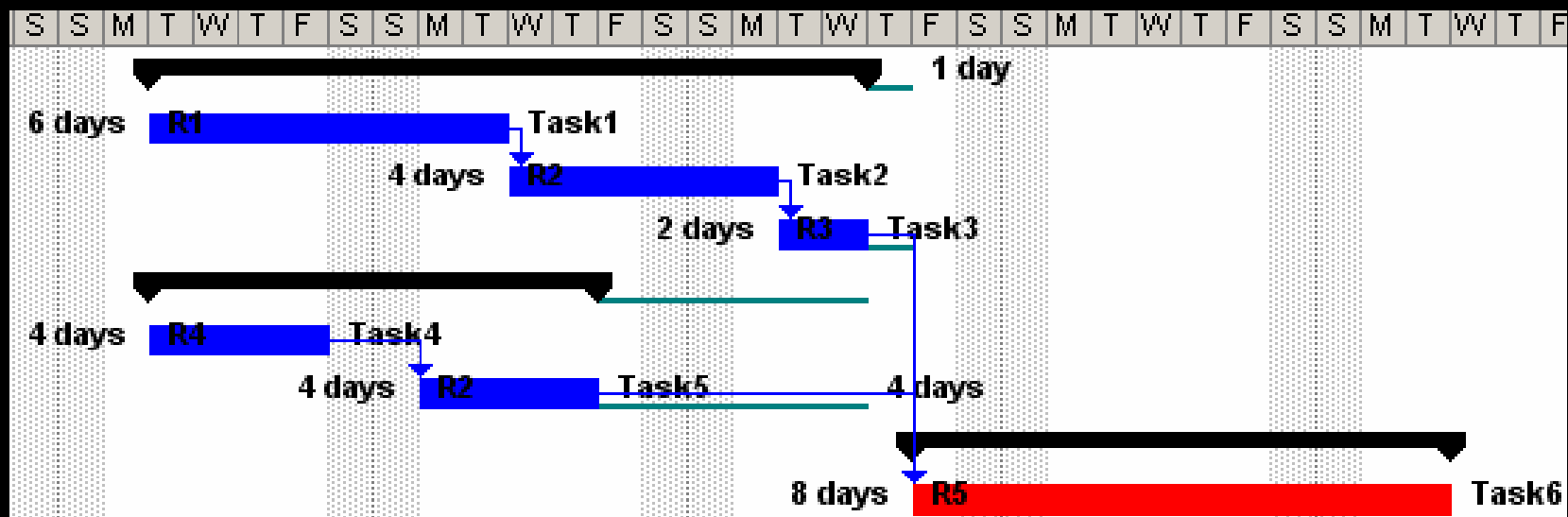
- 
- Critical Chain metoda zahtev od resursa da budu fleksibilni sa svojim vremenima početaka i da ih brzo izmeni među aktivnostima koje nisu i koje jesu u kritičnim lancu, da bi se ceo projekat izvršio na vreme.



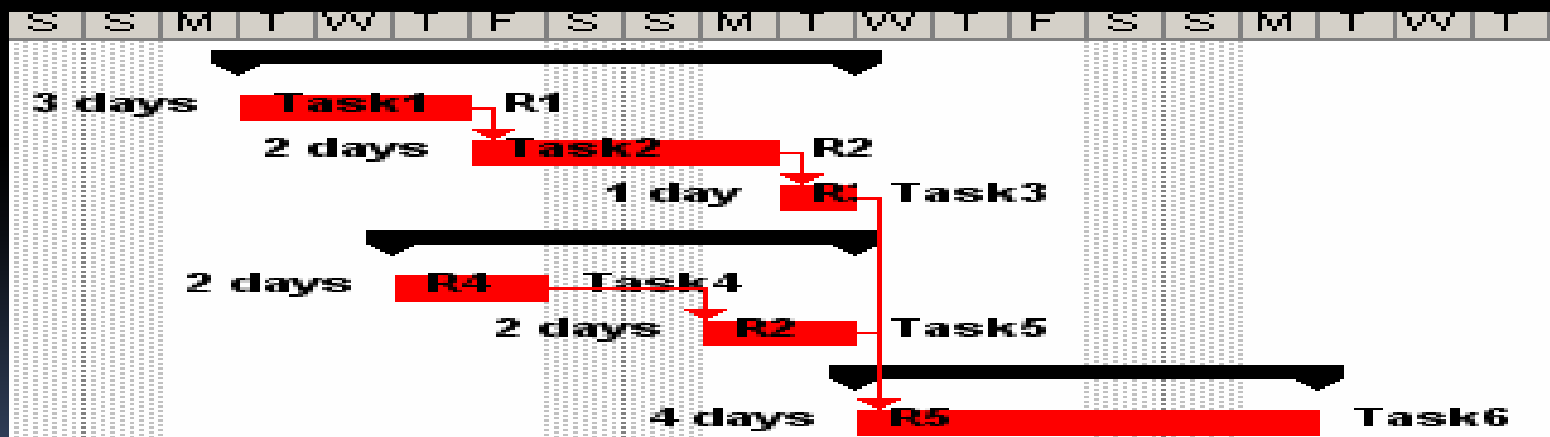
Numerički primer

Task	Successor	Duration	Resource	Lag
Task1	Task2	6	R1	0
Task2	Task3	4	R2	0
Task3	Task6	2	R3	FS+1
Task4	Task5	4	R4	0
Task5	Task6	4	R2	0
Task6	-	8	R5	0

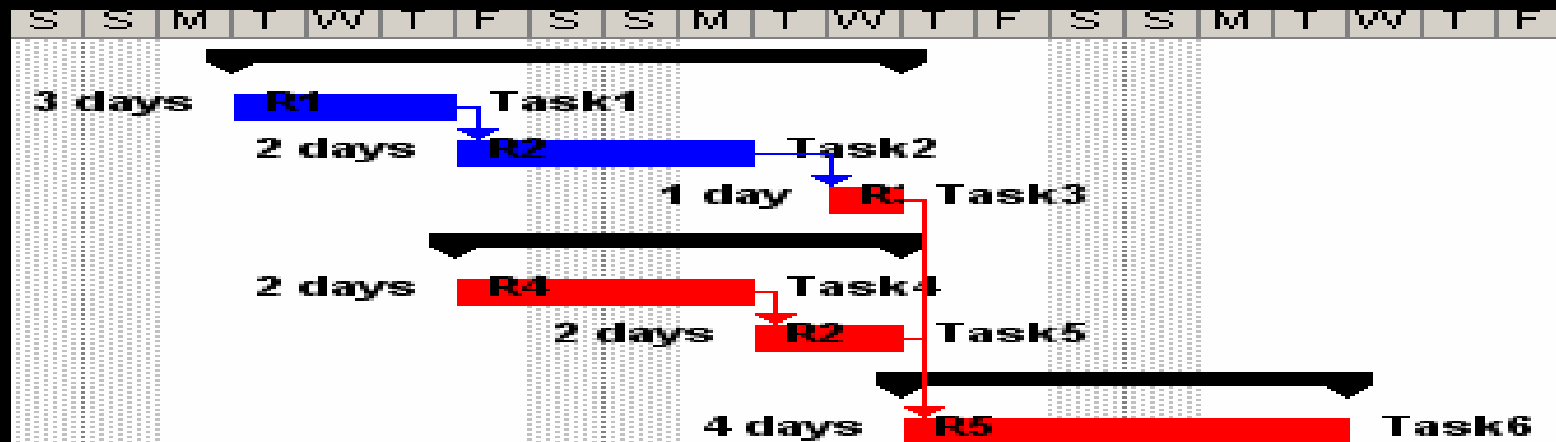
FS = Finish to Start



Trajanje projekta (CPM) = Task1+Task2+Task3+ Lag+ Task6 = 5+4+2+1+8 = 21 dan.



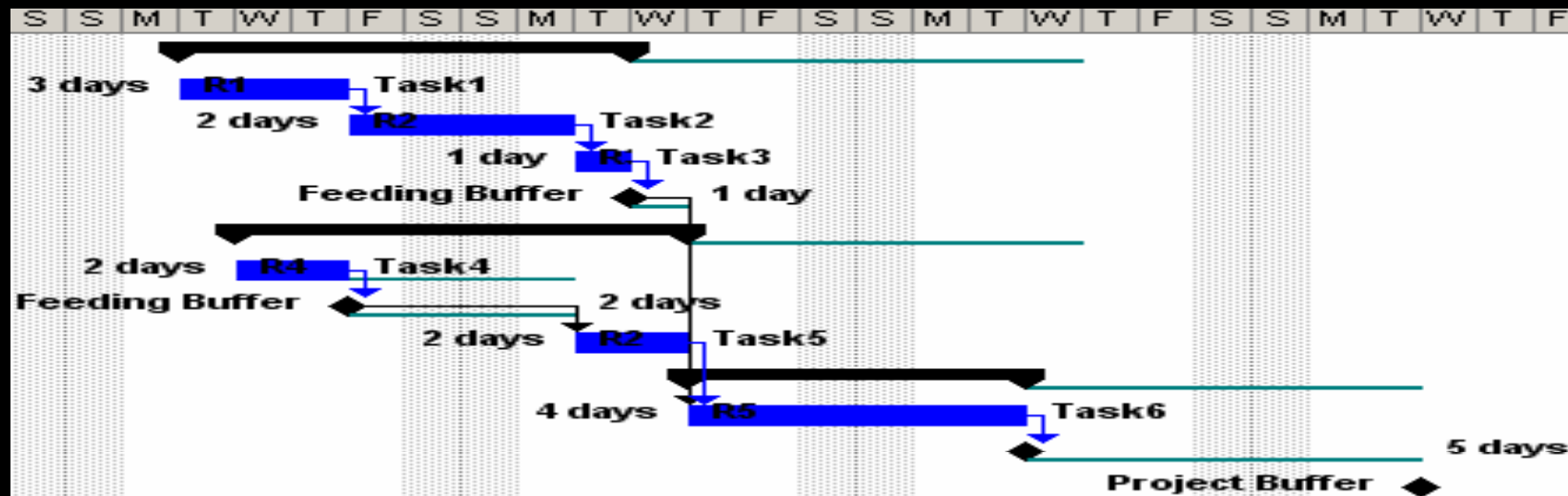
Trajanje projekta (CCM) = Task1+Task2+Task3+ Task6 = 3+2+1+4 = 10 dana.



Napravi se plan sa Late Finish vremenima završetka, uklone se ograničenja u resursima i identifikuje kritični lanac.

Trajanje projekta = Task1+Task2+Task5+ Task6 = 3+2+2+4 = 11 dana.

1. Task3, Task4 i Task 5 su pomereni da počnu od Late Finish datuma.
2. Task2 i Task5 treba da budu izvršeni od strane resursa R2 da bi se uklonilo ograničenje u resursima.
3. Doda se Project Buffer od 50% trajanja aktivnosti i Feeder buffer nekritičnom lancu.



Trajanje projekta = Task1 + Task2 + Task5 + Task6 + PB = 3 + 2 + 2 + 4 + 5 = 16 dana.

1. Project Buffer (PB) = 50% Trajanja projekta (11 dana) = 5.5 dana = 5 dana (zaokruženo).
2. Feeder Buffer (FB) za nekritične aktivnosti na lancu. Na primer, aktivnosti Task 4 je dodato 2 dana za FB.
3. Buffer kalkulacija se vrši uzimanjem 50% trajanja projekta za prost slučaj ili kvadratnog korena od sume dobijene kvadratnom metodom (SSQ) za složen slučaj.

Deterministička simulacija


- Testiranje budućeg projekta pod spektrom različitih okolnosti. Simulacioni algoritam se sastoji u sledećem:
 1. Lista svih projektnih aktivnosti koje se nisu odigrale i moguće je da odmah otpočnu
 2. Baza(e) podataka sa resursima
 3. Utvrđuje se mogućnost da se jednoj ili više aktivnosti pridruži određeni resurs i resurs se pridružuje aktivnosti
 4. Aktivnosti koje imaju isti početak moraju da čekaju da se oslobode neophodni resursi. Aktivnosti koje su otpočele sklanjaju se sa **liste čekanja** i prebacuju se na **listu koja sadrži aktivnosti u procesu**. Pridruženi resursi se smatraju **aktivnim**, i trenutno nedostupnim.
 5. Kada se aktivnost završi, resurs se oslobađa i može se pridružiti novoj aktivnosti sa liste čekanja.

Model Wall-a

- Više istovremenih kriterijuma optimizacije
- Pojedinačne aktivnosti nisu nedeljive
- Trajanje aktivnosti je uvek vezano za raspoložive resurse
- Aktivnosti se mogu preklapati, deliti i prekidati u izvođenju
- Resursi su detaljno određeni
- Uslovljenost između kriterijuma optimizacije i ograničenja data je rasplinutom funkcijom
- Optimalna rešenja se nalaze iterativnom modifikacijom

5. Optimizacija projekata po kriterijumu kvaliteta

1. Prilagođavanje redosleda izvođenja aktivnosti kriterijumu kvaliteta.
2. Ne uvođenje paralelizacije ako se ugrožava kvalitet gradnje (parametar P_1)
3. Prilagođavanje vremena trajanja aktivnosti kriterijumu kvaliteta (parametar P_2)
skraćenje vremena trajanja se postiže povećanjem broja izvršioaca
povećanje vremena trajanja aktivnosti dovodi do paralelizacije
4. Prilagođavanje tehnologije izvođenja vremenskim uslovima

- 
- P₁- mogućnost da će pojedini radovi biti ugroženi kašnjenjem, paralelizacijom i slično. Osetljivost komponenata ili materijala je ekspertski određena i predstavljena nedimenzionalnim rasplinutim brojevima iz intervala [0,1]. I pozicija aktivnosti u mrežnom dijagramu je takođe predstavljena nedimenzionalnim rasplinutim brojevima iz intervala [0,1].
 - P₂ - mogućnost da će se radovi kvalitetnije izvesti od strane pojedinih radnika na tačno određenom radnom frontu.

Ostale metode optimizacije po bilo kojim kriterijumima

Linearno programiranje, ostalo:

- Simplex metod
- Revidovan Simplex metod
- Primal-Dual Simplex metod
- Dual Simplex metod
- Metod unutrašnje tačke
- Dekompozicioni metod
- Analiza osetljivosti
- Parametarsko programiranje
- Kvadratno programiranje, -kvadratna funkcija nekoliko promenljivih sa linearnim ograničenjima nad tim promenljivim.

Nelinearno programiranje

- Analitičke metode
 - Jednakost ograničenja
 - Lagranževov metod uvećanja
 - Nejednakost ograničenja
 - Uslovi Kuna-Takera
- Jednodimenzione metode minimizacije
 - Metode eliminacije
 - Neograničeno istraživanje
 - Simultano istraživanje
 - Dihotomno istraživanje
 - Metod Fibonačija
 - Metod zlatnog preseka
- Metode interpolacije
 - Kvadratna interpolacija
 - Kubna interpolacija
 - Njutnov metod
 - Kvazi Njutnov metod
 - Metod sekante

- Optimizacione metode bez ograničenja
 - Direktni metod
 - Metod slučajnog uzorka
 - Metod mreže
 - Metod varijacije
 - Metod uzorkovanja
 - Powelov metod
 - Metod Huk-Dživs
 - Metod Rozenbrok
 - Simplex (Polytop) metod
 - Rastući metodi
 - Stepvasti rastući (Koši) metod
 - Metod Flečer-Riv
 - Metod Njutna
 - Metod Markvarda
 - Kvazi-Njutn metodi
 - Metod Davidon-Flečer-Pauel
 - Metod Brojden-Flečer-Goldfarb (BFGS)

- Optimizacione metode sa ograničenjima
 - Direktne metode
 - Metoda slučajne promenljive
 - Heuristička metoda
 - Metod sekvencijalnog linearnog programiranja
 - Metod sekvencijalnog kvadratnog programiranja
 - Metod vidljivih uputstava
 - Metod Zountendijka
 - Rozenov metod gradijenata
 - Opšti redukovani metod gradijenata
 - Indirektne metode
 - Transformacija promenljivih
 - Sekvencijana minimizacija bez ograničenja
 - Metod unutrašnje kaznene funkcije
 - Metod spoljne kaznene funkcije
 - Metod unutrašnje i spoljne kaznene funkcije
 - Metod kaznene funkcije za parametarska ograničenja
 - Metod uvećanja Lagranžeovih multiplikatora




Geometrijsko programiranje

Dinamičko programiranje

Integralno programiranje

- Metod isecanja ravni
- Metod grananja i ogradaivanja
- Metod balansa
- Generalizovani metod kaznene funkcije
- Sekvencijalni metod linearnog diskretnog programiranja



Stohastičko programiranje


Izdvojeno programiranje

Višekriterijumska optimizacija


- Pareto optimum
 - Sekvencijalni optimizacioni metod
 - Linear ni težinski metod
 - Min-max procedure
 - Metod ograničenja
 - Kompromisno programiranje
 - Ciljno programiranje
 - Ciljna namera
 - Metodξ-ograničenja
 - Metodvišekriterijumske koristi
 - Teorema kontakta
- Metod korisne funkcije
- Metod globalnog keriterijuma
- Leksikografski metod
- Metod ciljnog programiranja

Globalna optimizacija

- Tačni metodi
 - Naivni pristupi
 - Nenumeričke strategije istraživanja
 - Metod trajektorije i sl.
 - Algoritmi ograđivanja
 - Bajesov algoritam
 - Adaptivni stohastički istraživački algoritmi
 - Metod intervalne analize
- Heuristički metodi
 - Metod globalnih ekstenzija
 - Genetski algoritmi
 - GA sa metodom kaznene funkcije
 - GA sa Lagranževim metodom uvećanja
 - Vektor ski GA (VEGA)
 - Neusmereni GA
 - Slučajno usmereni GA
 - Nedominirajući GA
 - Niche Pareto GA
 - Gray kodiranje...


- 
- Simultano kaljenje
 - Neuralne mreže
 - Grubi skupovi
 - Rasplinuti sistemi
 - Tabu istraživanja
 - Skater istraživanja
 - Aproksimativni konvekso globalni metod
 - Metod nastavljanja
- Sekvencijalno poboljšanje lokalnog optimuma

Metaheurističke metode

- Mravlje kolonije
 - Druge metode veštačke inteligencije...
- 

Zaključak o optimizacionim procesima:

1. Izbor jedne od ponuđenih metoda vrši se u zavisnosti od samog projekta i njegove složenosti.
2. Optimizacija se ne može vršiti po svim kriterijumima simultano, ali treba stalno imati u vidu spregu između njih.
3. Konačan kvalitet plana jednak je kvalitetu definisanih veza između aktivnosti u analizi strukture.
4. Svako planiranje koje ne uzima u obzir raspoloživost resursa može se smatrati nerealnim.

- 
5. Realniji prikaz planiranju podrazumeva da se u proces optimizacije uključi više kriterijuma istovremeno, kao i da se aktivnosti mogu deliti, preklapati i da su njihova trajanja vezana za raspoložive resurse
 6. Treba pravilno prognozirati uticajne faktore neizvesnosti
 7. Svaki konkretni problem mora se posebno razmatrati, ne postoji univerzalni algoritam.
 8. Za velike projekte nemoguće je izvršiti proces optimizacije po ma kom od ovih kriterijuma. Globalni mrežni planovi imaju veliki značaj za upravljačke strukture, a nastaju grupisanjem srodnih aktivnosti u jednu.

Formiranje baznog projekta

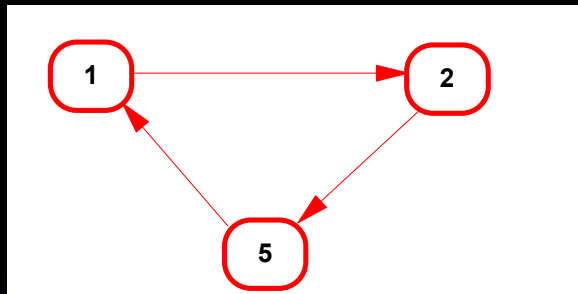
- Ispunjeni svi granični uslovi
 - rok
 - budžet
 - raspoloživi resursi
- Izvršena optimizacija plana
 - po vremenu
 - po troškovima
 - po važnijim resursima
 - po kvalitetu

Upravljanje investicionim projektom

- Tri tipa podataka
 - Baseline Planirane vrednosti
 - Acuel Stvarne vrednosti
 - Current Tekuće vrednosti
 - Datumi, količine, cene

Konflikti u mrežnom planu

- Cirkularne veze aktivnosti



Konflikti u mrežnom planu

- Konfliktni uslovi za početak i kraj aktivnosti
 - As Late as possible
 - As Soon as possible
 - Finish No Earlier Than
 - Finish No Later Than
 - Must Finish On
 - Must Start On
 - Start No Earlier Than
 - Start No Later Than

Konflikti u mrežnom planu

- Preopterećenja resursa
 - Dozvoljeno preopterećenje
 - Nivelisanje kašnjenjem aktivnosti
 - Plan sa otvorenim krajem

Teorija pouzdanosti

- Procene tačnosti podataka
- Procene uticaja tačnosti podataka na ceo projekat
- Uvođenje rezervi
 - Rezerve glavnih materijala
 - Rezerve mašina i ljudi
- Prikazivanje vremenskih rezervi kooperantima

Definisanje standardnih serija izveštaja

- za svakog učesnika u projektu :
 - Investitor
 - Direktori
 - šefovi gradilišta, odgovorni izvođači radova
 - podizvođači
 - nabavna služba
 - služba transporta
 - pomoćne službe (smeštaj i ishrana radnika)

Definisanje standardnih serija izveštaja

- Periodični izveštaji :
 - dnevni, nedeljni, mesečni, tromesečni
- Tabela pregled i gantogram svih aktivnosti sa vremenima trajanja, datumima ES, LS, EF, LF i ukupnim i slobodnim vremenskim rezervama, predhodnim aktivnostima, upotrebljenim resursima i cenom.
- Tabela pregled i gantogram kritičnih aktivnosti
- Gantogrami za podizvođače
- Plan nabavke i transporta za sve važnije materijale i opremu
- Plan montaže specifične opreme
- Plan angažovanja (histogrami) radne snage i mehanizacije
- Plan angažovanja finansijskih sredstava (S kriva)

Sistem evidencije i kontrole (povratne informacije sa gradilišta)

- Propisati forme izveštaja za svaku fazu realizacije
 - Napredovanje radova (dnevno, nedeljno)
 - Utrošak sredstava
 - Glavni resursi
 - Broj ljudi na gradilištu
 - Ključne mašine
 - Glavni materijali i oprema

Uticaj na ostale projekte

- Projekat organizacije građenja
 - Proračun skladišta
- Projekat tehnologije građenja
- Plan ulaganja finansijskih sredstava
- Plan nabavke
- Plan transporta
- Plan angažovanja i raspodele resursa

Praćenje realizacije

- Izveštaji sa gradilišta
 - Napredovanje radova (dnevno, nedeljno)
 - u količinama ili %
 - za zadati period (ne kumulativno)
 - Utrošak sredstava
 - Glavni resursi
 - Broj ljudi na gradilištu
 - Ključne mašine
 - Glavni materijali i oprema
- Ispostavljanje mesečnih situacija

Praćenje realizacije

- Sistematizacija i poređenje sa planom radi koordinacioni tim
- Sistem nagrađivanja radnika (stimulacije i kazne)

Ažuriranje mrežnog plana

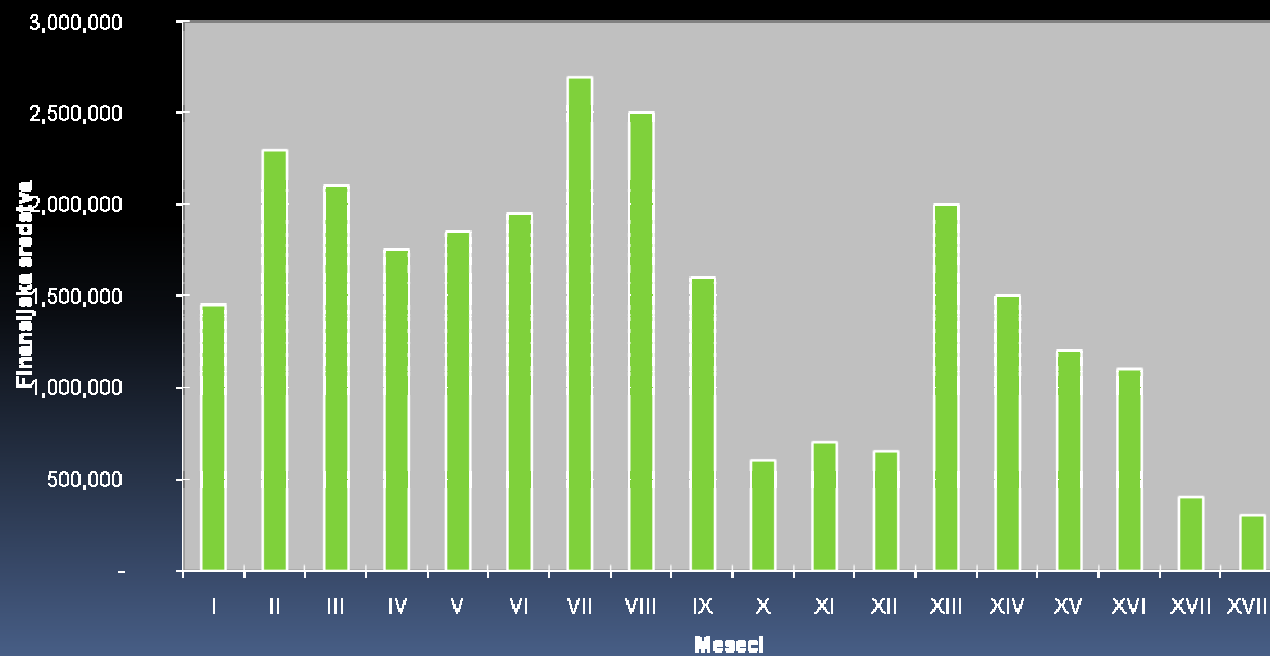
- Dinamika ažuriranja
 - zavisno od detaljnosti plana (dnevna, nedeljna, mesečna)
- Provera kontrolnih tačaka u projektu
- Intervencije na mrežnom planu
 - Alternative pri izvođenju (izmena tehnologije)
 - Unošenje sada poznatih podataka
- Formiranje novog baznog plana

Upoređenje sa baznim planom

- Po utrošku resursa
 - Količina ugrađenog materijala
 - Planirane/ostvarene
 - Prisustvo mašina i ljudi na gradilištu

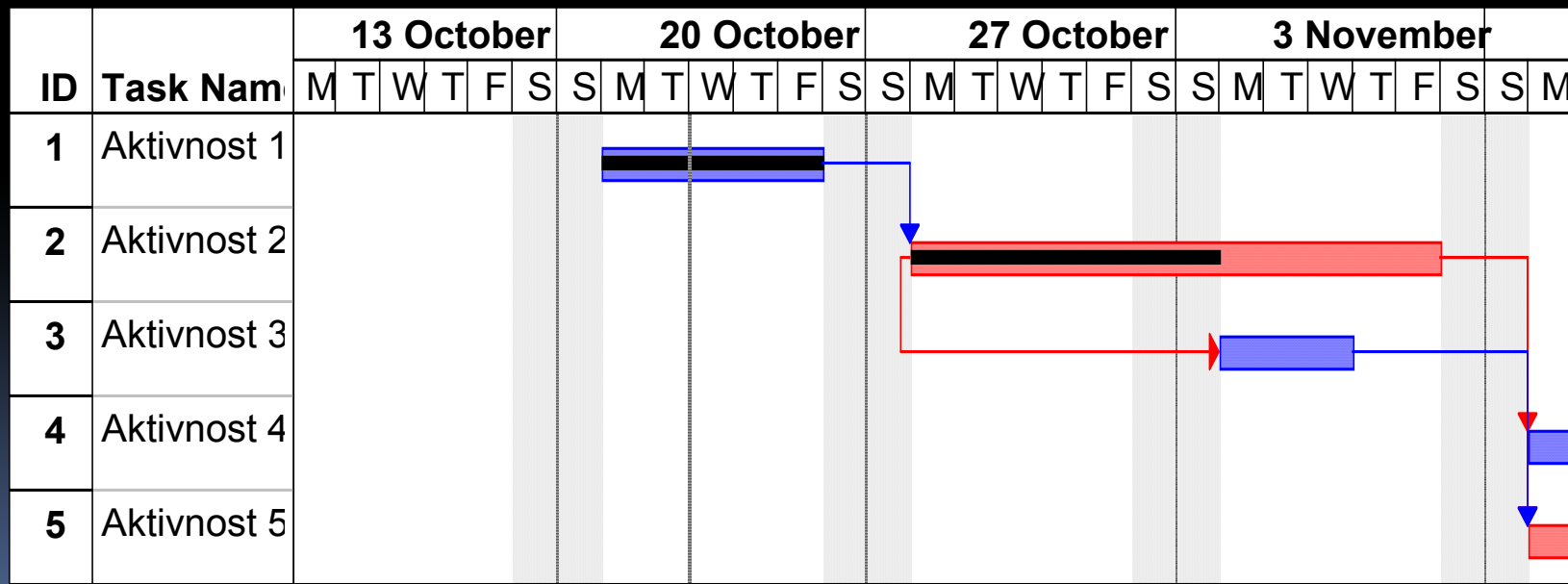
Upoređenje sa baznim planom

- Po utrošku finansijskih sredstava



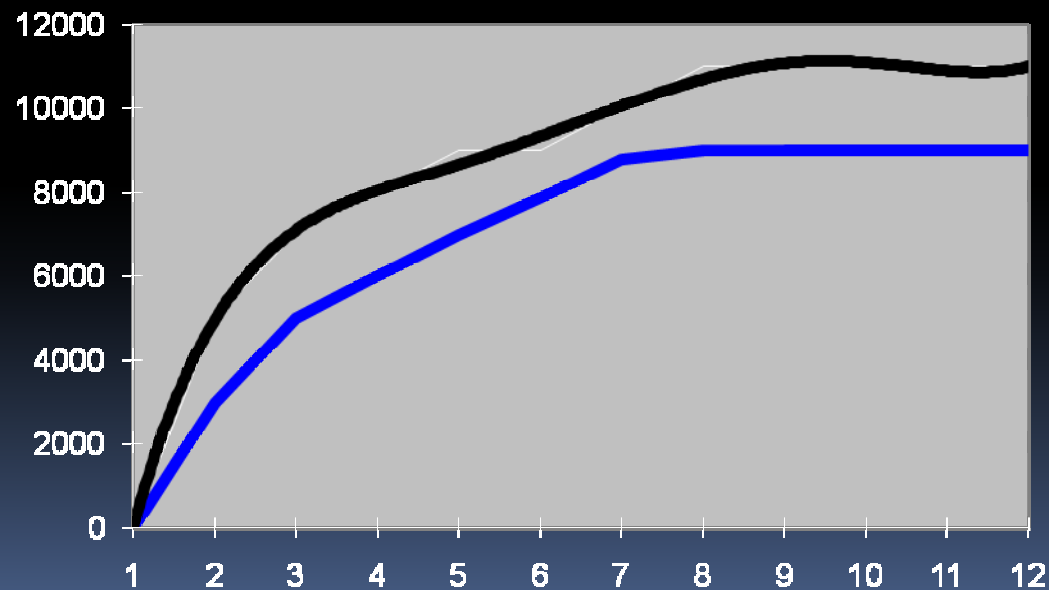
Zamke pri poredenju sa baznim planom

- Zavisnost vremena signalizacije problema od tipa veze



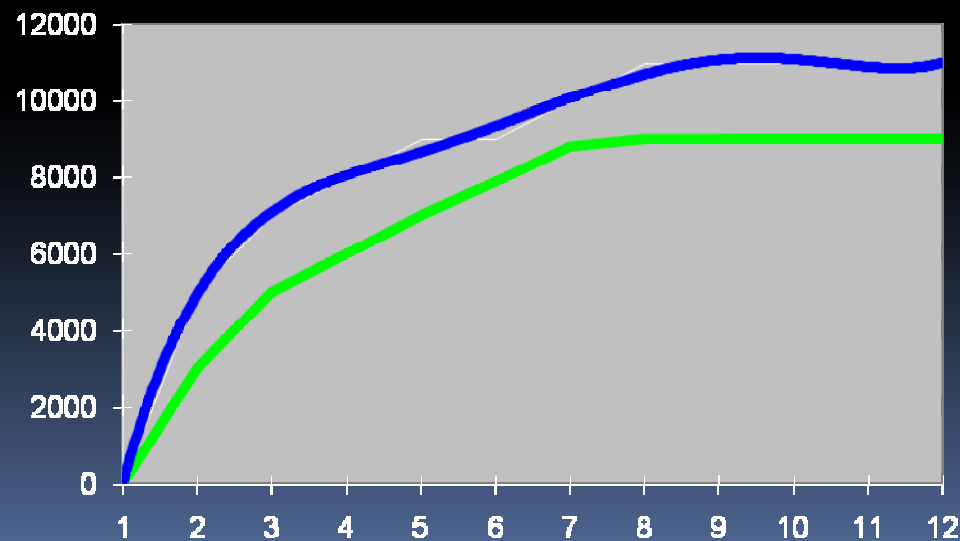
Cash flow control (kontrola protoka novca)

- Kontrola troškova kroz vreme
 - Planirani i stvarni troškovi bez analize izvršenih radova



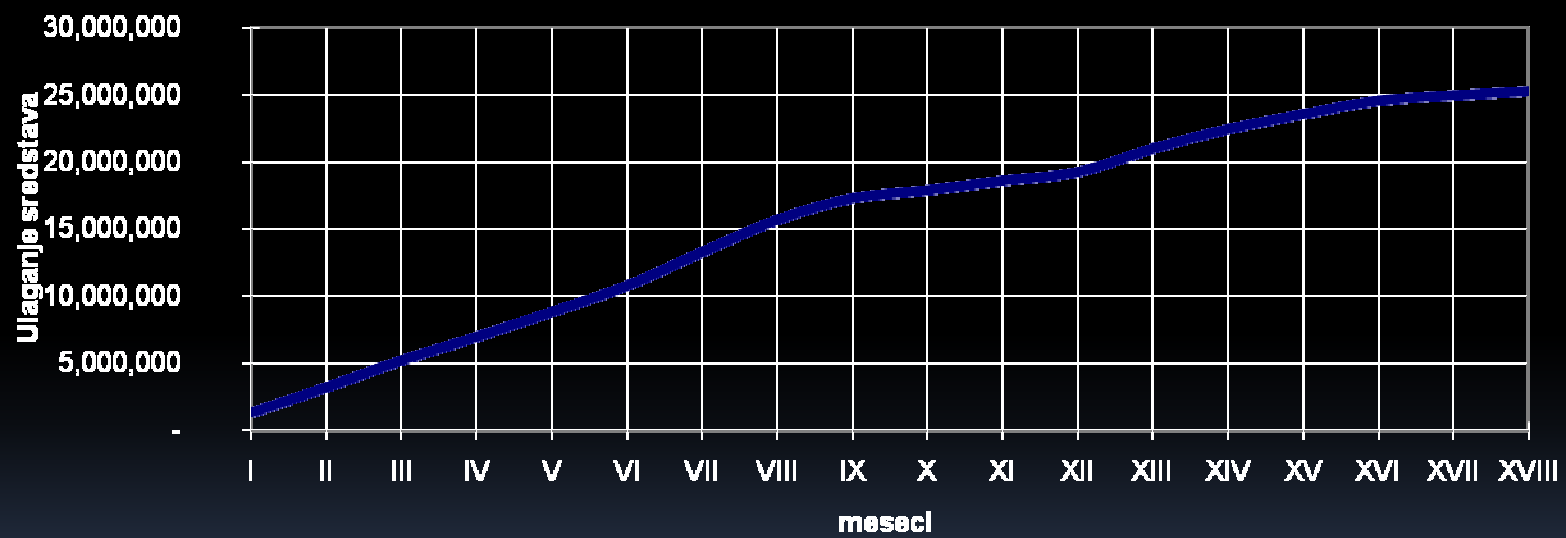
Cash flow control (kontrola protoka novca)

- Uključivanje učinka u analizu troškova
 - Troškovni učinak



S kriva

S kriva



Programi za mrežno planiranje

- Primavera systems
 - Primavera
 - Parada
 - Expedition
 - Monte Carlo
- SureTrack

Programi za mrežno planiranje

- Microsoft office
 - Microsoft Word
 - Microsoft Excel
 - Microsoft Access
 - Microsoft PowerPoint
 - Microsoft Project

Informacioni sistem kompanije

- Formiranje baza podataka
 - baza aktivnosti za određene tehnološke procese
 - iskustvene norme za specifične poslove
 - aktuelne cene (materijala, radova,...)
 - baza znanja za sledeće projekte
- Sistem za podršku odlučivanju

Analiza vremena po metodi PERT

- uvodi se u račun nesigurnost vezana za vremensku procenu trajanja pojedinih aktivnosti
- istraživački i razvojni projekti, gde se trajanje pojedinih događaja predviđa
- za trajanje svake pojedinačne aktivnosti određuju se
 - optimističko vreme, najkraće moguće vreme izvršenja neke aktivnosti, a_i
 - najverovatnije vreme, m_i
 - pesimističko vreme, najduže moguće vreme izvršenja neke aktivnosti, b_i

$$a_i \leq m_i \leq b_i$$

- očekivano vreme i varijansa za svaku vrednost sa mrežnog dijagrama. Trajanja aktivnosti se ponašaju po zakonima β -raspodele, a odigravanje pojedinih događaja po zakonu normalne raspodele.

- očekivano vreme trajanja aktivnosti:
$$te_{ij} = (a_{ij} + 4m_{ij} + b_{ij})/6$$

- varijansa:

$$\sigma^2_{ij} = ((b_{ij}-a_{ij})/6)^2$$


- procena verovatnoće ispunjavanja planiranih rokova:

$$Z = (ES - EF) / \sqrt{\sum \sigma^2}$$

- verovatnoća ispunjenja planiranih rokova

$$P(z) = (1/\sqrt{2\pi}) \int_{-\infty}^z e^{(-x^2/2)} dx$$

- Nakon izračunavanja pomenutih veličina, ili paralelno sa njihovim izračunavanjem, izvodi se logička kontrola vezana za analizu mere nedefinisanosti pojedinih aktivnosti.
- Ta se kontrola sastoji u identifikovanju aktivnosti kod kojih su optimističko i pesimističko vreme u znatnoj meri neprecizno određeni, jer je kod njih veličina b_i mnogo veća od veličine a_i . Posledica takvog izbora polaznih podataka a_i i b_i je veliko sniženje tačnosti svih ocena koje se dobijaju kao rezultat obrade odgovarajućih mrežnih dijagrama.
- Treba težiti da varijanca bude relativno mala, kako bi se smanjila rasturanja i nepreciznosti, odnosno da bude ograničena nekom konačnom vrednošću i predstavlja *meru grubosti definisanosti polaznih podataka* za svaku aktivnost određenog mrežnog dijagrama .

- 
- Primena mrežnog dijagrama u analizi vremena podrazumeva primenu kružića dijagonalno podeljenih na tri, odnosno četiri jednaka sektora.
 - Podaci u sektorima analogni su sa podacima u metodi CPM, s tim što se umesto egzaktnih unose procenjena vremena odigravanja najranijih odnosno najkasnijih završnih događaja za svaku pojedinačnu aktivnost kao i trajanje aktivnost te.

Obeležje	CPM	PERT
Procena vremena	Jedna procena	Tri procene a,b,m Trajanje te na osnovu β -raspodele
Izračunavanje vremena	Najraniji i najkasniji termin početka i završetka aktivnosti (ES,EF,LS,LF)	Termini događaja izračunavaju se na isti način Raspodela verovatnoće za $(T_L)_i$ i $(T_E)_i$
Vremenska rezerva	Tri vremenska zazora za svaku aktivnost	Raspodela verovatnoće vremenskog zazora
Kritični elementi	Kritične aktivnosti Kritičan put	Kritične aktivnosti Kritičan put