

2.3 DINAMIČKO PLANIRANJE

Dinamički planovi prikazuju raspored izvršenja radova po pozicijama ili aktivnostima u funkciji vremena, kao i raspodelu angažovanih resursa. Prema tome dinamički planovi se dele na:

- Dinamičke planove izvršenja radova;
- Dinamičke planove uključenja resursa.

Najviše primenjivani dinamički planovi izvršenja radova su:

- Ortogonalni dinamički planovi;
- Ciklogramski dinamički planovi;
- Paralelni dinamički planovi (gantogram);
- Mrežni dinamički planovi.

Ovde su obrađeni samo paralelni i mrežni dinamički planovi izvršenja radova.

Dinamički planovi uključenja resursa mogu biti:

- Dinamički planovi uključenaja radne snage;
- Dinamički planovi uključenaja mehanizacije;
- Dinamički planovi uključenaja materijala;
- Dinamički planovi uključenaja finansijskih sredstava.

Mrežni dinamički planovi prikazuju odvijanje radova u vidu grafa (mreže), po čemu su i dobili naziv. Obrađene su sledeće metode mrežnog planiranja:

- Mrežni planovi sa strelicama;
- Mrežni planovi sa krugovima;
- Mrežni planovi sa kutijama.

U tehnici mrežnog planiranja postoje tri faze rada:

- Analiza strukture;
- Analiza vremena;
- Optimizacija.

Elementi koji čine mrežni dijagram su:

- Aktivnosti - vremenski intervali;
- Događaji – vremenski trenuci.

Postoji nekoliko vrsta **aktivnosti** koje mogu da se definišu kao:

- Radni proces koji se odvija u vremenu i zahteva određene resurse;
- Čekanje, proces koji ne zahteva stvaran rad, ali zahteva izvestan utrošak vremena (npr. tehnološka pauza posle betoniranja);

- Fiktivni (prividni) rad koji ne zahteva ni utrošak vremena niti utrošak resursa, već ukazuje na logičnu vezu između dveju ili više aktivnosti.

Događaj predstavlja trenutak početka ili završetka jedne ili većeg broja aktivnosti, ili celog projekta. Odigrava se trenutno i zahteva utrošak vremena i resursa. Početni događaj predstavlja stanje u kome neka aktivnost ili aktivnosti mogu početi sa realizacijom. Završni događaj predstavlja trenutak kada se neka aktivnost/aktivnosti mogu završiti. Poseban slučaj je početni i završni događaj projekta koji pokazuju njegov početak, odnosno završetak, pri čemu početni događaj nema prethodnih, a završni događaj nema narednih aktivnosti. Primeri događaja: započeto armiranje temelja, završeno armiranje temelja, donešena odluka, isporučen beton, itd.

Analiza strukture, bilo da je reč o ma kojoj metodi mrežnog planiranja, podrazumeva uspostavljanje logičnog redosleda i međusobnih zavisnosti pojedinih aktivnosti koje treba završiti u toku trajanja jednog projekta.

Analiza strukture u tehnicu mrežnog planiranja sadrži sledeće etape:

- Izrada spiska aktivnosti;
- Utvrđivanje odnosa i međuzavisnosti aktivnosti;
- Formiranje nizova aktivnosti;
- Konstruisanje mrežnog dijagrama;
- Numerisanje mrežnog dijagrama;
- Kontrola mrežnog dijagrama.

Analiza strukture i analiza vremena objašnjene su na jednostavnom primeru od četiri aktivnosti: A, B; C i D.

Tabela 2.3.1– Tabela za utvrđivanje međuzavisnosti aktivnosti

R.br.	Naziv aktivnosti	Odnos u mreži		
		Prethodna aktivnost (PA)	Jednovremena aktivnost (JA)	Naredna aktivnost (NA)
1	A Prva aktivnost nema prethodnu Onda je za aktivnost B prethodna A	/	/	B, C
2	B I za aktivnost C prethodna je A	A	C	D
3	C Onda je i C jednovremena sa B	A	B	D
4	D	B, C	/	/

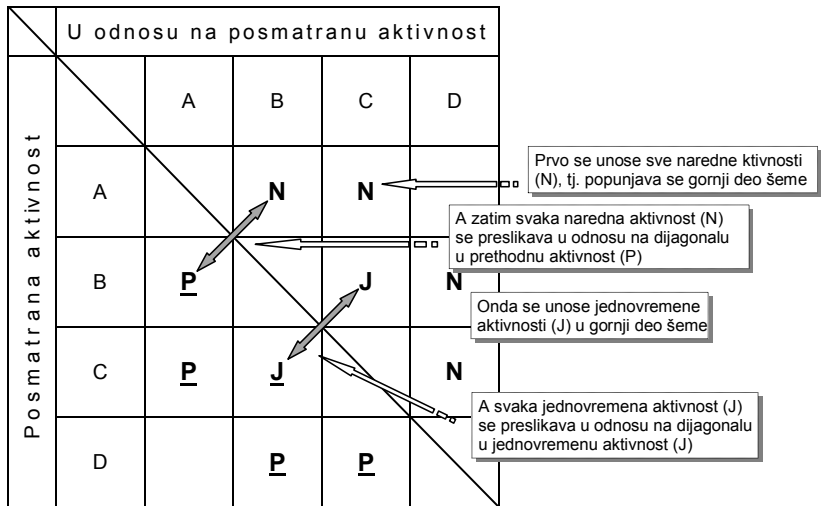
Ako su za aktivnost A naredne B i C

Ako je B jednovremena sa C

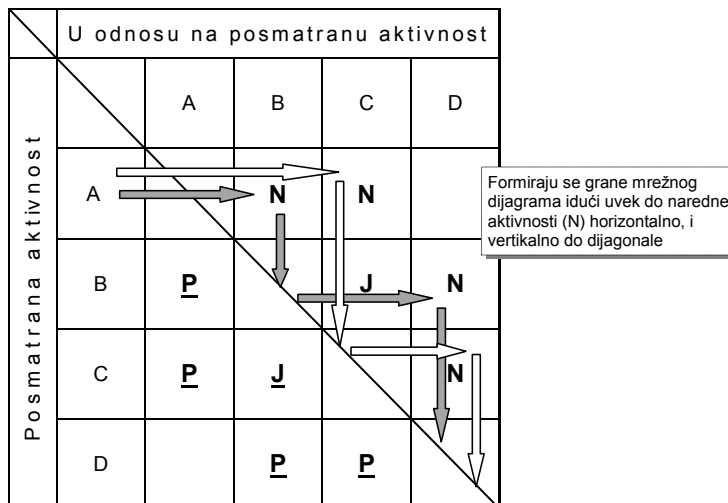
Poslednja aktivnost nema narednu

U okviru faze analiza strukture, najpre se sastavlja spisak aktivnosti i analizira njihova međusobna zavisnost i uslovljenost u redosledu izvođenja. Spisak aktivnosti obično se daje u vidu tabele, koja se naziva *tabela za utvrđivanje međuzavisnosti aktivnosti* (tabela 2.3.1). Utvrđivanje međuzavisnosti aktivnosti vrši se tehnikom pitanja, kada se za svaku aktivnost određuju njene prethodne (PA), naredne (NA) i jednovremene (JA) aktivnosti.

Na bazi ove tabele radi se *šema odnosa sa dve polovine* (slike 2.3.2 i 2.3.3), ili sa *jednom polovinom* (slike 2.3.4 i 2.3.5), koja služi za formiranje nizova aktivnosti i *oblikovanje i konstruisanje mrežnog plana* (slike 2.3.9-2.3.11).



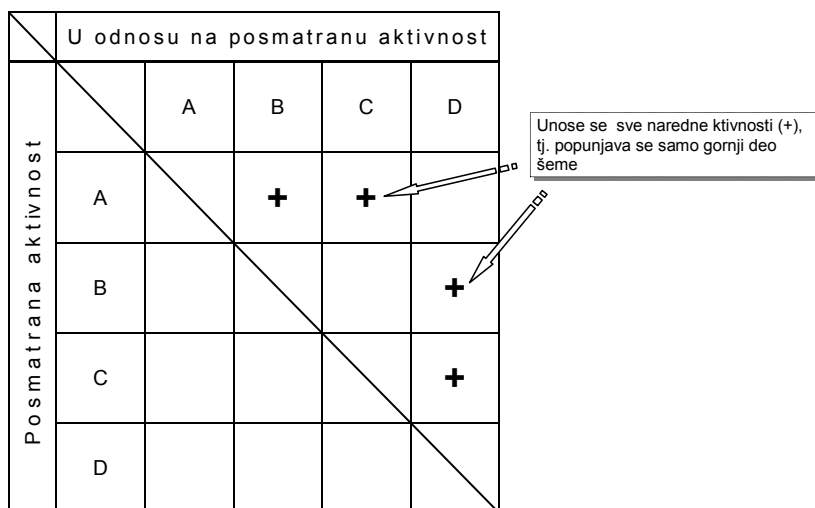
Slika 2.3.2 – Popunjavanje šeme odnosa sa dve polovine



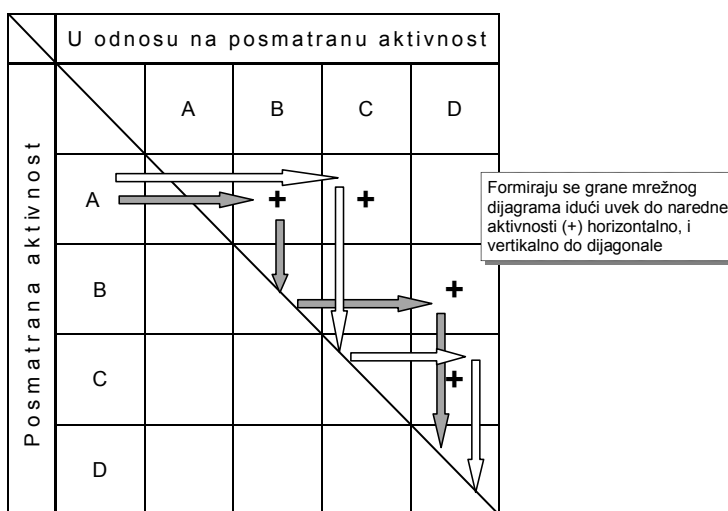
Slika 2.3.3 – Formiranje grana mrežnog plana u šemi odnosa sa dve polovine

Nizovi aktivnosti (grane mrežnog plana):

1. grana mrežnog plana: A-B-D
2. grana mrežnog plana: A-C-D



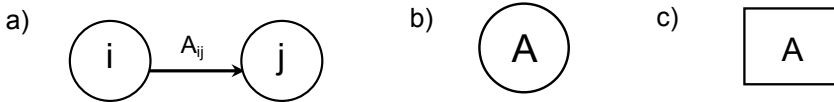
Slika 2.3.4 – Popunjavanje šeme odnosa sa jednom polovinom



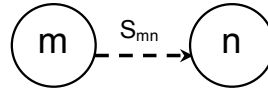
Slika 2.3.5 – Formiranje grana mrežnog plana u šemi odnosa sa jednom polovinom

Nizovi aktivnosti (grane mrežnog plana):

1. grana mrežnog plana: A-B-D
2. grana mrežnog plana: A-C-D



Slika 2.3.6 – Aktivnost A_{ij} mrežnog plana sa:
a) strelicama; b) krugovima; c) kutijama



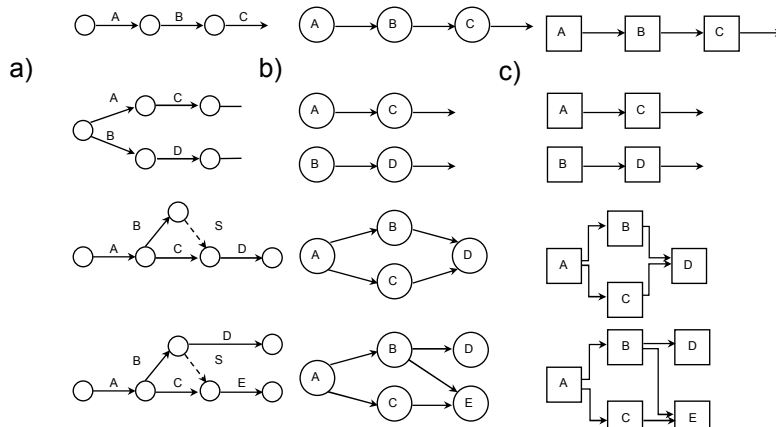
Slika 2.3.7 – Fiktivna aktivnost mrežnog plana sa strelicama

Na slici 2.3.6a u slučaju mrežnog dijagrama sa strelicama, aktivnost je predstavljena punom linijom i orjentisanom strelicom, a događaj krugom. Uopšteno, posmatrani događaj označava se sa i , a naredni sa j . Aktivnost kojom je obeležen početni i završni događaj označava se sa $i-j$, odnosno, vreme realizacije aktivnosti sa t_{ij} . Kod ovakvog označavanja uvek mora važiti pravilo, da je $i < j$. Fiktivna aktivnost predstavlja se isprekidanom linijom sa orjentisanom strelicom (slika 2.3.7).

Tokovi aktivnosti u mrežnom dijagramu ne mogu biti zatvorenih kontura, tj. ne mogu imati puteve koji spajaju bilo koji događaj sa njim samim, formirajući zatvorenu petlju. Skup komponentata u mreži kod kojih se završni događaj svake aktivnosti poklapa sa početnim događajem neke naredne aktivnosti naziva se put ili tok (to je niz aktivnosti koje se sukcesivno nadovezuju jedna na drugu). Svaki mrežni dijagram ima samo jedan početni i jedan završni događaj.

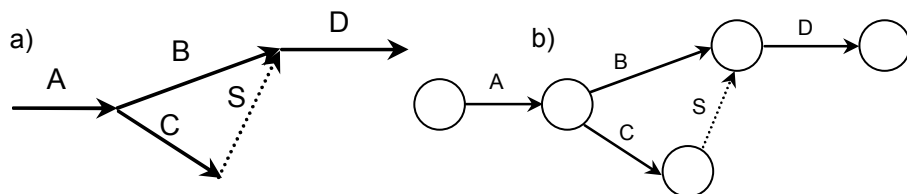
Za slučaj mrežnog dijagrama sa krugovima ili kutijama aktivnost je predstavljena krugom ili pravougaonikom, a linijama sa strelicama ili bez njih samo je označena njena povezanost sa ostalim aktivnostima (slika 2.3.6b i 2.3.6c)

Prikaz različitih međusobnih veza između aktivnosti, u slučaju mrežnog plana sa strelicama, krugovima i kutijama, dat je na slici 2.3.8

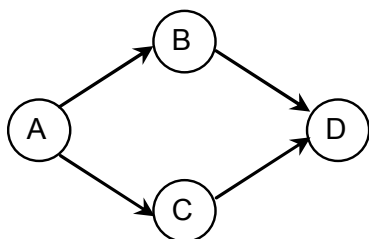


Slika 2.3.8 – Veze između aktivnosti mrežnog plana sa:
a) strelicama; b) krugovima; c) kutijama

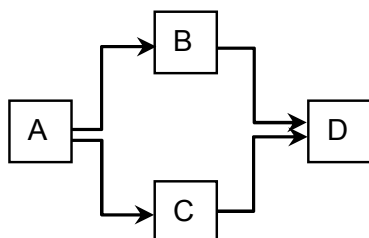
Na sledećim slikama prikazan je jednostavan primer na kome se vrši objašnjenje postupka izrade mrežnog plana.



Slika 2.3.9 – Mrežni plan sa strelicama:
a) radni dijagram; b) mrežni plan sa događajima

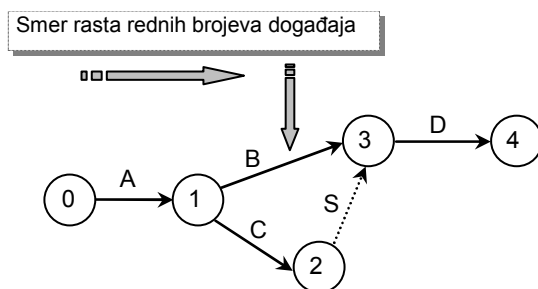


Slika 2.3.10 – Mrežni plan sa krugovima

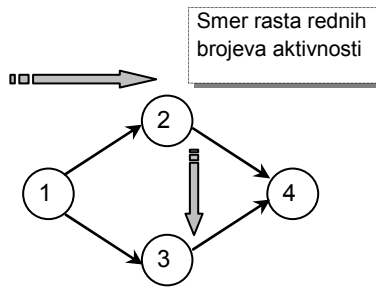


Slika 2.3.11 – Mrežni plan sa kutijama

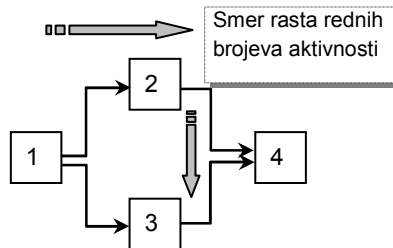
Na konstruisanom planu vrši se *numerisanje događaja i aktivnosti* najčešće rastućom numeracijom gde redni brojevi događaja ili aktivnosti rastu s leva na desno i odozgo na dole (slike 2.3.12-2.3.14).



Slika 2.3.12 – Numerisanje događaja mrežnog plana sa strelicama



Slika 2.3.13 – Numerisanje aktivnosti mrežnog plana sa krugovima



Slika 2.3.14 – Numerisanje aktivnosti mrežnog plana sa kutijama

Analiza vremena aktivnostima definisanim u okviru analize strukture daje vremensku dimenziju. U okviru analize vremena vrši se utvrđivanje trajanja svake aktivnosti u mrežnom planu, proračun vremenskih parametara i definisanje ukupnog vremena trajanja projekta.

Neke od metoda za analizu vremena su:

- Metoda kritičnog puta (*Critical path method-CPM*);
- Metoda ocene i revizije programa (*Programme Evaluation and Review Technique-PERT*).

Ovde će biti reči samo o metodi kritičnog puta, kao najpogodnijoj za primenu i najviše korišćenoj.

U opštem slučaju vreme trajanja aktivnosti je funkcija usvojene tehnologije izvršenja radova i angažovanih kapaciteta. U analizi vremena po metodi *CPM* operiše se sa tačno izračunatim (procenjenim) trajanjem aktivnosti (na bazi normativa i standarda u građevinarstvu). Sama analiza vremena po ovoj metodi sastoji se od sledećih postupaka:

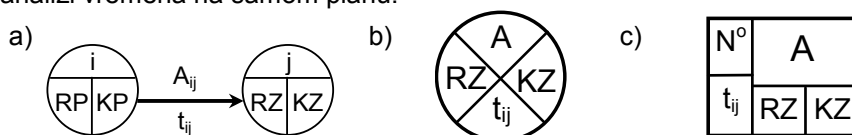
- Određivanje vremena trajanja svake aktivnosti definisane u analizi strukture;
- Proračun vremenskih parametara početaka i završetaka aktivnosti, odnosno vremena odigravanja događaja, kao i vremenskih rezervi;
- Definisanje ukupnog vremena trajanja projekta.

Postupak izračunavanja trajanja aktivnosti je sledeći:

- Normiranje svake radne operacije, tj. nalaženje norme vremena za jedinicu mere na osnovu opisa njenog izvršenja;
- Na osnovu određene norme vremena, količine radova, sastava radnih brigada, broja mašina, načina rada, itd, vrši se proračun trajanja aktivnosti u tabeli radnika (mašina)-dana.

Analiza vremena može da se sprovedi: postupkom "napred-natrag" (na samom planu), pomoću matrice *Fondahl*-a bez neposrednog uvida u plan, pomoću tablice čime se predstavlja potpun uvid u veličinu i vrstu pojedinih vremenskih rezervi i korišćenjem gotovih programskih paketa.

Na sledećoj slici prikazani su vremenski parametri koji se izračunavaju u analizi vremena na samom planu.



Slika 2.3.15 – Vremenski parametri mrežnog plana sa:
a) strelicama; b) krugovima; c) kutijama

Najraniji početak (RP) aktivnosti (i - j) označen je najranijim događajem i po metodologiji CPM, i on je jednak najranijem vremenu zbivanja i -tog događaja. Pošto se ovde radi o postupku određivanja trenutka u smeru rastućeg numerisanja, polazi se od nultog početnog događaja, a završava se sa n -tim kao završnim događajem mrežnog dijagrama. Za određivanje RP važe relacije:

$$RP = \max[RZ(PA)] \quad (2.3.1)$$

a za početni događaj:

$$RP_0 = 0 \quad (2.3.2)$$

Najraniji završetak (RZ) (tzv. „rano vreme“) proizvoljne aktivnosti (i - j), dobija se kao:

$$RZ = RP + t_{ij} \quad (2.3.3)$$

ili

$$RZ = \max[RZ(PA) + t_i] \quad (2.3.4)$$

RZ prve aktivnosti jednak je njenom trajanju:

$$RZ_1 = t_1 \quad (2.3.5)$$

Proračun RP i RZ vrši se korakom „napred“, od početnog događaja/aktivnosti do završnog događaja/aktivnosti.

Najkasniji završetak (KZ) aktivnosti izračunava se od završnog događaja projekta prema početnom, korakom „natrag“, pri čemu se obično usvaja:

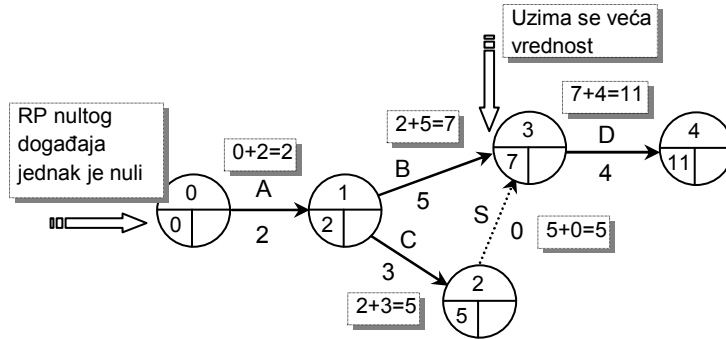
$$KZ_n = RZ_n \quad (2.3.6)$$

Tada formula za proračun „kasnih“ završetaka aktivnosti uopšteno glasi:

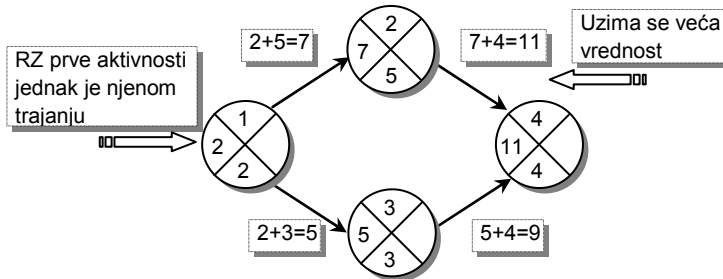
$$KZ = \min[KP(NA)] \quad (2.3.7)$$

ili:

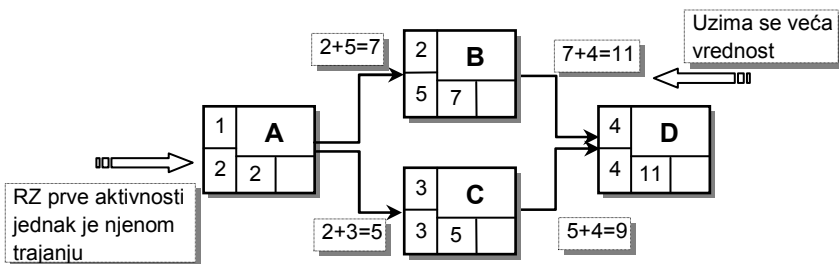
$$KZ = \min[KZ(NA) + t_{NA}] \quad (2.3.8)$$



Slika 2.3.16 – Postupak »napred« izračunavanja RZ na samom mrežnom planu sa strelicama



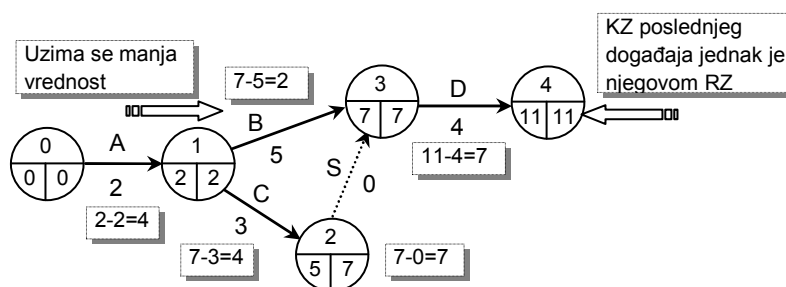
Slika 2.3.17 – Postupak »napred« izračunavanja RZ na samom mrežnom planu sa krugovima



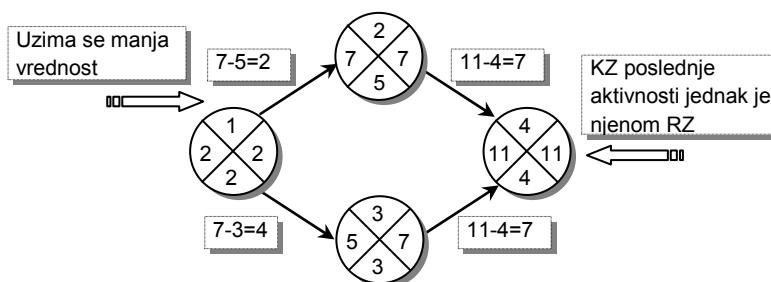
Slika 2.3.18 – Postupak »napred« izračunavanja RZ na samom mrežnom planu sa kutijama

Najkasniji početak (KP) aktivnosti se izračunava kao poslednji od ova četiri parametra, u koraku od poslednje aktivnosti prema prvoj:

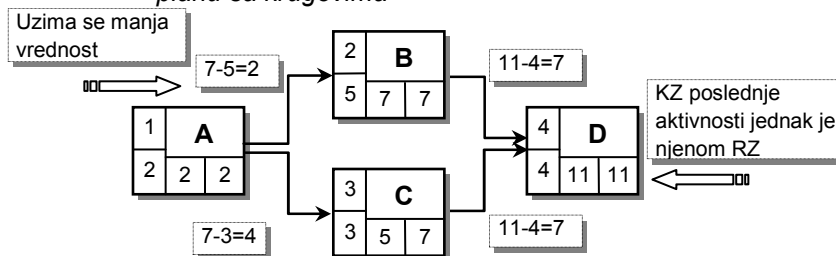
$$KP = KZ - t_{ij} \quad (2.3.9)$$



Slika 2.3.19 – Postupak »natrag« izračunavanja KZ na samom mrežnom planu sa strelicama



Slika 2.3.20 – Postupak »natrag« izračunavanja KZ na samom mrežnom planu sa krugovima



Slika 2.3.21 – Postupak »natrag« izračunavanja KZ na samom mrežnom planu sa kutijama

Kritični put je tok koji se proteže od nultog događaja/prve aktivnosti do poslednjeg, n -tog događaja/poslednje aktivnosti, sa najdužim vremenom trajanja i sadrži samo kritične aktivnosti. Za aktivnosti (i-j) kažemo da su kritične ako važe sledeće relacije:

$$KZ = RZ \quad (2.3.10)$$

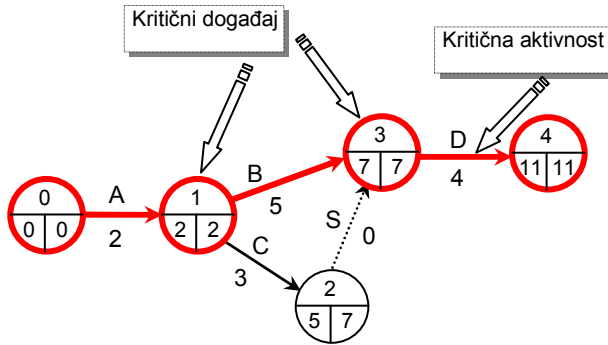
ili:

$$KP = RP \quad (2.3.11)$$

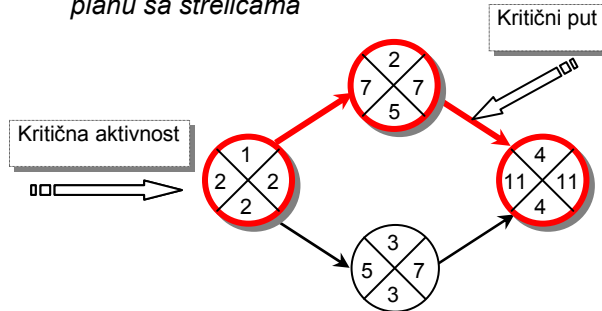
Ukupna vremenska rezerva (RU) predstavlja vreme za koje se može odložiti ili produžiti izvršenje nekritične aktivnosti, bez ikakvih posledica po dalji tok realizacije radova. Odgovara slučaju kada su sve prethodne

aktivnosti u svom najranijem položaju, a sve naredne aktivnosti u svom najkasnijem položaju. Izračunava se kao razlika vremena najkasnijeg početka (završetka) i najranijeg početka (završetka), što je definisano izrazom:

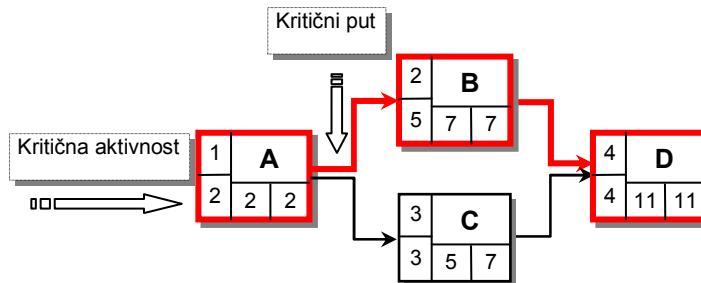
$$RU = KZ - RZ = KP - RP \quad (2.3.12)$$



Slika 2.3.22 – Kritični događaji, kritične aktivnosti i kritični put na mrežnom planu sa strelicama



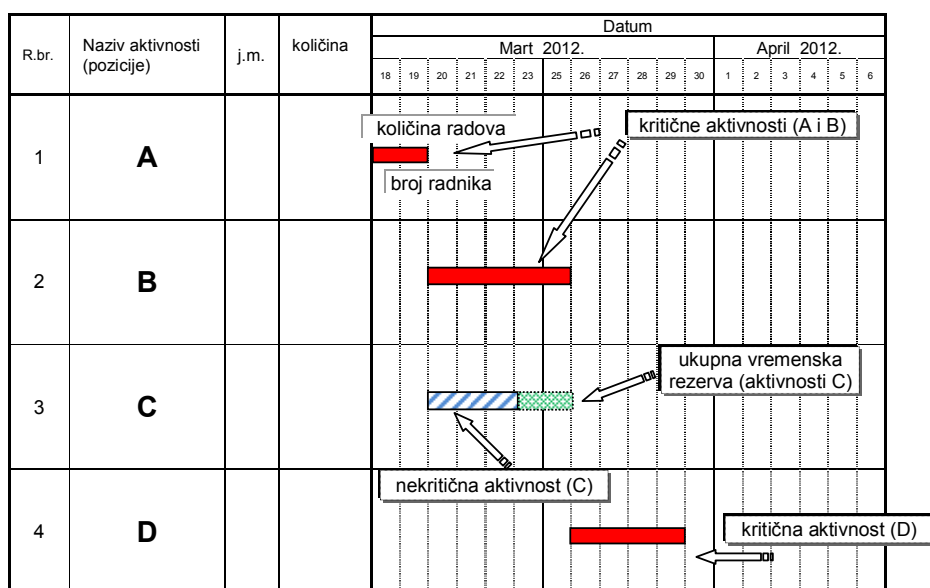
Slika 2.3.23 – Kritičneaktivnosti i kritični put mrežnom planu sa krugovima



Slika 2.3.24 – Kritične aktivnosti i kritični put mrežnom planu sa kutijama

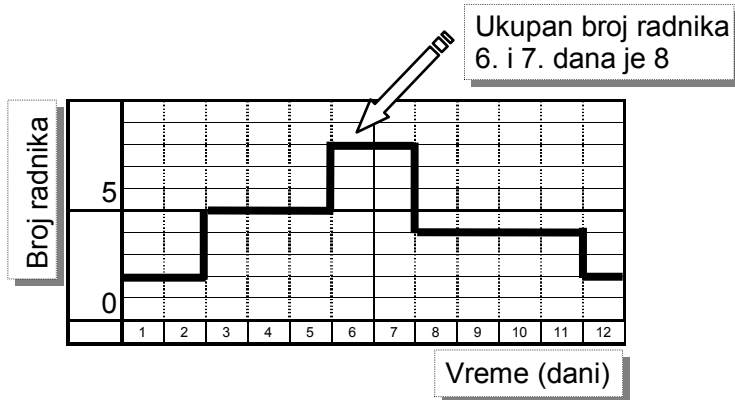
Paralelni dinamički plan – gantogram predstavlja grafički prikaz odvijanja radova, gde se pozicije (aktivnosti) prikazuju u vidu paralelnih horizontalnih linija ili pravougaonika čija je dužina jednaka njihovom trajanju. Početak linije (pravougaonika) predstavlja početak, a kraj linije, završetak rada. Debljina linije, odnosno širina pravougaonika može da predstavlja količinu radova, ili ta količina može biti uneta brojačno iznad linije (pravougaonika). Ispod linije se, najčešće ispisuje broj resursa (radnika, mašina) angažovanih na izvršenju rada (slika 2.3.25).

Paralelni dinamički plan sastoji se od tabele i grafičkog prikaza sa vremenskom skalom. U tabelu se najčešće unosi: redni broj pozicije, naziv i opis pozicije, jedinica mere i količina radova, a grafički prikaz sadrži aktivnosti predstavljene linijama napredovanja radova u funkciji vremena. Klasičan paralelni plan ne prikazuje kritične aktivnosti, ali ako je izrađen na bazi mrežnog plana, kao terminirani mrežni plan, onda se prikazuju i kritične aktivnosti.

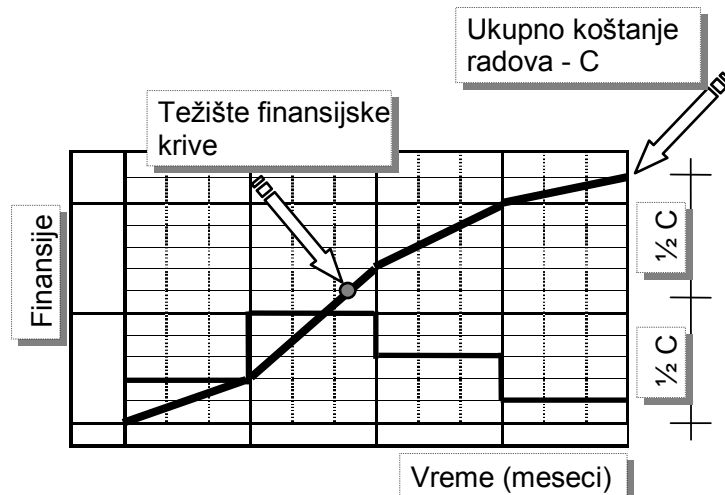


Slika 2.3.25 – Prikaz aktivnosti u paralelnom planu-gantogramu (terminiranom mrežnom planu)

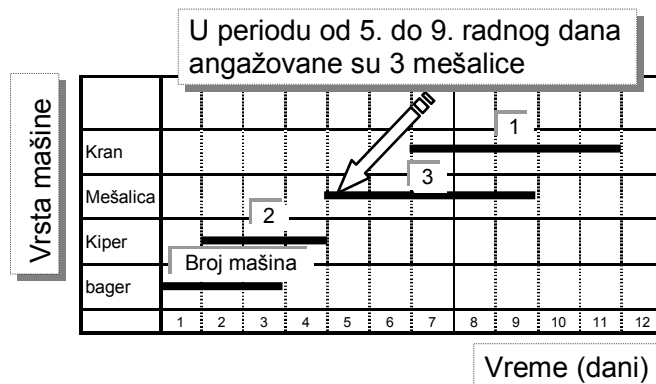
Dinamički planovi uključenja resursa se rade posle izrade dinamičkih planova izvođenja radova. Kao podloga za izradu ovih planova najčešće služi paralelni dinamički plan izvođenja radova – gantogram. Dinamički plan radne snage i uključenja finansijskih sredstava (slike 2.3.26 i 2.3.27) najčešće se prikazuju u vidu histograma, dok dinamički planovi uključenja mehanizacije (slika 2.3.28) i materijala (slika 2.3.29) imaju prikaz u vidu paralelnog plana.



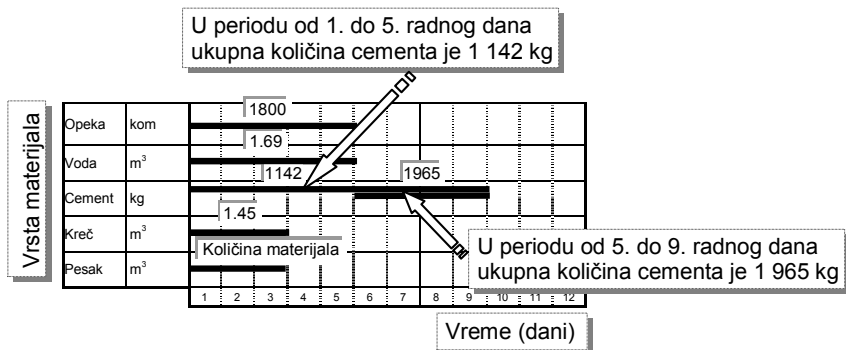
Slika 2.3.26 – Dinamički plan uključenja radne snage



Slika 2.3.27 – Dinamički plan uključenja finansija



Slika 2.3.28 – Dinamički plan uključenja mehanizacije



Slika 2.3.29 – Dinamički plan uključanja mehanizacije