**4.2 IZRADA PLANA IZVRŠENJA RADOVA i-j METODOM MREŽNOG PLANIRANJA – CPM**

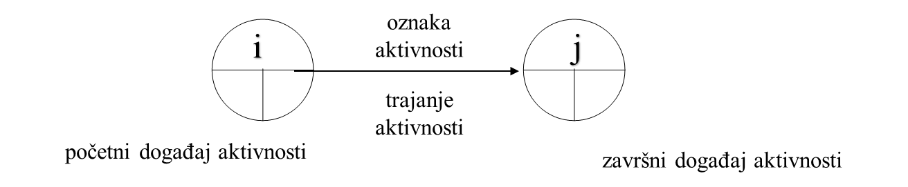
*Detaljnije u objavljenim predavanjima „P01-Planiranje procesa u gradjevinarstvu” i u literaturi.*

Mrežni plan – dinamički (vremenski) plan izvršavanja radova urađen primjenom tehnike mrežnog planiranja, a zasniva se na matematičkoj teoriji grafova. Postoji više vrsta (metoda), a u elaboratu će se primijeniti mrežni dijagram orijentisan aktivnostima: CPM – (eng. Critical Path Method) metod kritičnog puta, odnosno i-j metoda.

Mrežni plan se sastoji od aktivnosti. **Aktivnosti** predstavljaju dio zadatka, cjelinu, određenu vrstu i količinu posla za čije se izvršenje troše resursi, i koje se realizuju na određenom zahvatu- dijelu objekta.

U ovoj metodi se koriste i **fiktivne aktivnosti** (dummy activities) čije je trajanje po pravilu =0 i za koje se ne troše nikakvi resursi. Namjena ovih aktivnosti je da se preciznije definišu zavisnosti između aktivnosti. U nekim slučajevima trajanje fiktivnih aktivnosti može biti i veće od 0, kako bi se definisale eventualna odlaganja (pauze) između dvije aktivnosti, kao što je odležavanje betona. Sve fiktivne aktivnosti se crtaju isprekidanom linijom, a ako je njihovo trajanje >0, onda se ispod linije upisuje njihovo trajanje.

U CPM, odnosno i-j metodi se aktivnost prikazuje uređenim parom događaja (početnim i završnim događajem) i strelicom koja ih povezuje. Svaka aktivnost je jednoznačno određena početnim i završnim događajem. Početni događaj je trenutak početka neke aktivnosti. Završni događaj je trenutak završetka neke aktivnosti. Početni događaj može biti istovremeno i završni događaj neke druge aktivnosti i obrnuto.



**Događaj** – vremenski trenutak početka ili završetka neke aktivnosti, ali i projekta (mrežni plan ima samo jedan početni i jedan završni događaj projekta).

Put je neprekinuti tehnološki redosled obavljanja aktivnosti (u smjeru strelica); pun put – od početka do kraja projekta; kritičan put –**najduži** (po vremenskom trajanju) put na mreži kojim se stiže od početka do kraja projekta i koji određuje trajanje projekta.

Postoje pravila konstrukcije (vidjeti u literaturi P. Đuranović: Projektovanje organizacije gradjenja, GF i Kulturno prosvjetna zajednica CG, Podgorica, 1995)

Faze izrade mrežnog plana:

* **ANALIZA STRUKTURE**
* **određivanje aktivnosti u okviru projekta** – inicijalna lista aktivnosti, radi se na osnovu detaljne analize zadatka (proučavanje investiciono tehničke dokumentacije) i obuhvata izradu spiska pozicija radova na bazi predmjera radova (u zadatku će ovo biti na osnovu tabele „podjela na faze i podfaze“)
* **određivanje tehnološkog redosleda aktivnosti i međuzavisnosti** – vrši se na osnovu poznavanje tehnologije (djelimično na osnovu karte tehnološkog procesa) i precizno se zapisuje na odgovarajuci način (najčešće u tabeli) koje je aktivnosti potrebno završiti prije kojih, a koje nakon kojih aktivnosti. Dovoljno je za potrebe konstrukcije mrežnog plana definisati samo prethodne, odnosno samo naredne aktivnosti (jer iz jednih zavisnosti slijede druge)
* **crtanje mrežnog dijagrama, numerisanje događaja i kontrola-** na osnovu definisane inicijalne liste i međuzavisnosti crta se mrežni plan, numerišu događaji i kontroliše da li su zavisnosti dobro definisane, odnosno da li je plan dobro nacrtan. Za najjednostavnije crtanje mrežnog plana treba:
* inicijalnu listu urediti tako da aktivnosti u njoj budu poređane po tehnološkom redosledu (da najprije budu navedene aktivnosti koje nemaju prethodnih aktivnosti), zato je poželjno usvojiti i šemu napredovanja radova,
* nacrtati grubu šemu – raster po kojem će se raspoređivati aktivnosti, tako da se na primjer na jednoj horizontalnoj liniji nađu sve aktivnosti koje pripadaju jednoj lameli, ili jednoj etaži, a na vertikalnim ili kosim linijama nađu aktivnosti koje pripadaju istoj vrsti rada.
* **ANALIZA VREMENA**
* proračun trajanja aktivnosti
* proračun vremena (početaka i završetaka) aktivnosti
* proračun vremenskih rezervi
* utvrđivanje kritičnih puteva
* terminiranje mrežnih dijagrama
* **ANALIZA SREDSTAVA**
* optimizacija odnosa vrijeme – troškovi
* optimizacija odnosa vrijeme resursi

**4.2.1. IZRADA INICIJALNE LISTE AKTIVNOSTI I UTVRĐIVANJE MEĐUZAVISNOSTI**

**PRIMJER:**

Na stambeno-poslovnom objektu P+2 (na kojem je već završeno prizemlje) treba uraditi preostale grube građevinske radove. Karakteristike objekta i tehnologije gradnje su sljedeće:

* objekat ima 3 istovjetne lamele projektovane u sistemu podužnih i poprečnih monolitnih AB zidova i monolitnih AB tavanica, pri čemu se AB elementi rade u klasičnoj oplati;
* klasična oplata zidova se skida 3 dana nakon njihovog betoniranja, a klasična oplata ploča se skida 20 dana poslije betoniranja ploča;
* za izradu i pokrivanje krova zaposlena je jedna radna brigada.

*U ovom primjeru su aktivnosti koncipirane nešto drugačije, odnosno detaljnije je izvršena podjela aktivnosti, pa je pretpostavljeno da umjesto jedne aktivnosti koja bi se odnosila na armiarnje, oplatu i betoniranje zidova imamo dvije aktivnosti (armiranje zidova + oplata i betoniranje zidova). U elaboratu aktivnosti treba definisati saglasno tabeli “Podjela na faze i podfaze”!*

**4.2.1.1 Šema napredovanja radova (za zadati primjer)**

Iz ove šeme se vidi da se radovi obavljaju najprije na etaži 1, lamele L1, zatim na istoj etaži sljedeće lamele itd., odnosno da sve lamele paralelno “rastu”. Ova je šema uobičajena za napredovanje grubih građevinskih radova. (Više o ovome u knjizi prof. Djuranovića i knjizi B. Trbojevića u dijelu koji se odnosi na ciklogramsko planiranje i u predavanjima “P06-Ciklogrami 2019-20-” koja su objavljena na internet stranici predmeta)

Lamele sa smjerom napredovanja radova

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| KROV | KROV | KROV |
| E2 | E2 | E2 |
| E1 | E1 | E1 |
| P(završeno) | P(završeno) | P(završeno) |
| L1 | L2 | L3 |

**4.2.1.2. Inicijalna lista (sa medjuzavisnostima aktivnosti)**

Koraci izrada inicijalne liste i utvrđivanje međuzavisnosti aktivnosti su prikazani u istoj tabeli, što je dozvoljeno.

Međuzavisnosti su utvrđene prema tehnološkom redosljedu koji je definisan:

* tehnologijom (na etaži-zahvatu se najprije radi armatura vertikalnih elemenata, zatim njihova oplata sa betoniranjem; nakon toga se izvodi aktivnost koja obuhvata postavljanje oplate, armature i betoniranje ploče, a kad se stigne do poslednje etaže, nakon ploče se radi krov);
* uslovima zadatka (u vezi vremenskih pauza za skidanje oplate: oplata zidova se skida 3 dana nakon njihovog betoniranja, a klasična oplata ploča se skida 20 dana poslije betoniranja ploča, pa su uspostavljeni tipovi zavisnosti FS+3, odnosno FS+20);
* **pretpostavljenim broje kompleta oplate za zidove i ploče (pretpostavljen je 1 komplet oplate za zidove i 3 kompleta za ploče)**
* **pretpostavljenim brojem radnih brigada: 3 za mont. arm. zidova, 1 za oplatu i betoniranje zidova, 3 za medjuspratnu konstrukciju, 1 za krov**

Ova inicijalna lista je organizovana prema etažama, a zatim prema lamelama, a iste vrste radova su djelimično grupisane jedna za drugom u tabeli. Sasvim jasno se uočava odabrani smjer napredovanja radova: napisane su prvo sve aktivnosti koje se po tehnološkom redosledu obavljaju na etaži 1, zatim na etaži 2 i konačno na krovu).

*Napomena: za pravilnu konstrukciju i definisanje medjuzavisnosti, često je potrebno koristiti fiktivne aktivnosti (dummy activities). To su aktivnosti koje ne troše resurse i čije je trajanje po pravilu =0. Međutim mogu se primijeniti i fiktivne aktivnosti kod kojih je trajanje >0, ako na taj način definišemo da između kraja jedne aktivnosti i početka sljedeće aktivnosti mora proći određeno vrijeme. To smo u ovom spisku u koloni Prethodne aktivnosti zapisali kao FS+3, odnosno FS+20.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ID** | **Naziv aktivnosti** | **Skraćenice** | **j. mj** | **kolicina** | **pocetni dogadjaj**  ***i*** | **zavrsni dogadjaj**  ***j*** | **Duration** | **lamela etaza** | **Broj radnika** | **Prethodne aktvnosti** |
|  |  |  |  |  | ovi podaci se upisuju tek nakon što se konstruiše mrežni plan i numerišu događaji | |  |  |  |  |
| 1 | montaža armature zidova | MAZ I | kg | 1638 |  |  | 4 | L1  E1 | 2 |  |
| 2 | montaža armature zidova | MAZ I | kg | 1638 |  |  | 4 | L2  E1 | 2 |  |
| 3 | montaža armature zidova | MAZ I | kg | 1638 |  |  | 4 | L3  E1 | 2 |  |
| 4 | montaža oplate sa betoniranjem zidova | MOBZ I | m3bet. zid. | 47 |  |  | 9 | L1  E1 | 5 | 1 |
| 5 | montaža oplate sa betoniranjem zidova | MOBZ I | m3bet. zid. | 47 |  |  | 9 | L2  E1 | 5 | 2; 4FS+3 |
| 6 | montaža oplate sa betoniranjem zidova | MOBZ I | m3bet. zid. | 47 |  |  | 9 | L3  E1 | 5 | 3; 5FS+3 |
| 7 | montaža oplate, armature sa betoniranjem ploča | MOABP I | m3 bet. ploča | 61 |  |  | 7 | L1  E1 | 10 | 4FS+3 |
| 8 | montaža oplate, armature sa betoniranjem ploča | MOABP I | m3 bet. ploča | 61 |  |  | 7 | L2  E1 | 10 | 5FS+3 |
| 9 | montaža oplate, armature sa betoniranjem ploča | MOABP I | m3 bet. ploča | 61 |  |  | 7 | L3  E1 | 10 | 6FS+3 |
| 10 | montaža armature zidova | MAZ II | kg | 1638 |  |  | 4 | L1  E2 | 2 | 7 |
| 11 | montaža armature zidova | MAZ II | kg | 1638 |  |  | 4 | L2  E2 | 2 | 8 |
| 12 | montaža armature zidova | MAZ II | kg | 1638 |  |  | 4 | L3  E2 | 2 | 9 |
| 13 | montaža oplate sa betoniranjem zidova | MOBZ II | m3bet. zid. | 47 |  |  | 9 | L1  E2 | 5 | 10;6FS+3 |
| 14 | montaža oplate sa betoniranjem zidova | MOBZ II | m3bet. zid. | 47 |  |  | 9 | L2  E2 | 5 | 11;13FS+3 |
| 15 | montaža oplate sa betoniranjem zidova | MOBZ II | m3bet. zid. | 47 |  |  | 9 | L3  E2 | 5 | 12;14FS+3 |
| 16 | montaža oplate, armature sa betoniranjem ploča | MOABP II | m3 bet. ploča | 61 |  |  | 7 | L1  E2 | 10 | 13FS+3 ;7FS+20 |
| 17 | montaža oplate, armature sa betoniranjem ploča | MOABP II | m3 bet. ploča | 61 |  |  | 7 | L2  E2 | 10 | 14FS+3 ;8FS+20 |
| 18 | montaža oplate, armature sa betoniranjem ploča | MOABP II | m3 bet. ploča | 61 |  |  | 7 | L3  E2 | 10 | 15FS+3 ;9FS+20 |
| 19 | izrada i pokrivanje krova | KK | m2 horiz. projekcije | 360 |  |  | 12 | L1  E2 | 5 | 16 |
| 20 | izrada i pokrivanje krova | KK | m2 horiz. projekcije | 360 |  |  | 12 | L2  E3 | 5 | 17;19 |
| 21 | izrada i pokrivanje krova | KK | m2 horiz. projekcije | 360 |  |  | 12 | L3  E2 | 5 | 18;20 |

*Napomena: može se uočiti šablon za upis u koloni prethodnih aktivnosti*

**4.2.2.KONSTRUKCIJA MREŽNOG PLANA**

Na crtežu su naznačene tri lamele jedna ispod druge (L1,L2 i L3). U nastavku svake od oznaka za lamele a u horizontalnom pravcu, upisani su svi radovi koji pripadaju svakoj od lamela. Npr. za lamelu L1 a iz inicijalne liste aktivnosti vidimo da je potrebno izvršiti:

*MONTAŽU ARMATURE ZIDOVA PRVE ETAŽE* *(MAZ I),*

*MONTAŽU OPLATE SA BETONIRANJEM ZIDOVA PRVE ETAŽE (MOBZ I),*

*MONTAŽU OPLATE, ARMATURE SA BETONIRANJEM PLOČA PRVE ETAŽE (MOABP I ETAŽE),*

*MONTAŽU ARMATURE ZIDOVA DRUGE ETAŽE* *(MAZ II),*

*MONTAŽU OPLATE SA BETONIRANJEM ZIDOVA DRUGE ETAŽE (MOBZ II),*

*MONTAŽU OPLATE, ARMATURE SA BETONIRANJEM PLOČA DRUGE ETAŽE (MOABP II ETAŽE) i*

*IZRADA I POKRIVANJE KROVA (KK).*

Iste ove aktivnosti je potrebno izvršiti kako bi se izgradile i naredne dvije lamele L2 i L3.

U ovoj varijanti konstrukcije slovom F su označene fiktivne aktivnosti čije je trajanje veće od 0, a zelenim brojem je upisano kod svake takve aktivnosti njeno trajanje. Svaka takva fiktivna aktivnost može se zamijeniti pravom aktivnošću (koja onda mora biti navedena u inicijalnoj listi aktivnosti), a koja bi bila „odležavanje betona”.

Plavim brojevima su naznačena trajanja aktivnosti iz inicijalne liste, a crnim brojevima su date oznake aktivnosti iz inicijalne liste.

Crtanje počinje od početnog događaja aktivnosti koja nema prethodnih aktivnosti (aktivnosti 1, 2 i 3 nemaju prethodnih aktivnosti). Jedno od pravila kaže da postoji samo jedan početni događaj projekta, pa sve aktivnosti koje nemaju prethodnih aktivnosti moraju imati isti početni događaj. U principu, možemo iza svake aktivnosti umetati fiktivnu aktivnost čije je trajanje=0 i to ne bi uticalo na ukupno trajanje projekta, a korisno je kako bismo sto preciznije mogli definisati zavisnosti aktivnosti. Kad iscrtamo svu mrežu, možemo fiktivne aktivnosti čije je trajanje =0 izbrisati pod uslovom da u njihov početni događaj ulazi samo po jedna strelica! (to je urađeno u drugoj varijanti)

**VARIJANTA 1**

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

**1**

**4**

**2**

**4**

**3**

**4**

**4**

**9**

**5**

**9**

**6**

**9**

**F**

**33**

**F**

**33**

**7**

**7**

**8**

**7**

**9**

**7**

**F**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**10**

**4**

**11**

**4**

**12**

**4**

**F**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**13**

**9**

**14**

**9**

**15**

**9**

**F**

**33**

**F**

**33**

**F**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**16**

**7**

**17**

**7**

**18**

**7**

**20**

**12**

**21**

**12**

**19**

**12**

**F**

**20**

**F**

**20**

**F**

**20**

**F**

**3**

**VARIJANTA 2**

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

**1**

**4**

**2**

**4**

**3**

**4**

**4**

**9**

**5**

**9**

**6**

**9**

**F**

**33**

**F**

**33**

**7**

**7**

**8**

**7**

**9**

**7**

**F**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**10**

**4**

**11**

**4**

**12**

**4**

**F**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**13**

**9**

**14**

**9**

**15**

**9**

**F**

**33**

**F**

**33**

**F**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**16**

**7**

**17**

**7**

**18**

**7**

**20**

**12**

**21**

**12**

**19**

**12**

**F**

**20**

**F**

**20**

**F**

**20**

**F**

**3**

**4.2.2.NUMERISANJE DOGAĐAJA U MREŽNOM PLANU**

Može se izvršiti na više načina, biće prikazano Fulkersonovo pravilo numerisanja u kontinuitetu odozgo naniže i slijeva u desno.

Počinje se od početnog događaja projekta (numeriše se nulom ili jedinicom, kako se opredijelimo) i prekriže se sve strelice koje iz numerisanog događaja izlaze (ovdje je to urađeno crvenim linijama). Zatim se u sledećem koraku numerišu događaji u koje ulaze samo prekrižene strelice (numerišu se sljedećim brojem)- ovdje smo mogli da numerišemo događaj br. 2. Može se desiti da se istovremeno može numerisati više događaja, pa se numerišu u rastućem broju slijeva udesno. U sljedećem koraku se iz sljedećeg numerisanog događaja (br. 2) križaju sve strelice koje iz njega izlaze (ovdje je to urađeno žutim crticama) i ponovo se numerišu sljedećim brojevima događaji u koje ulaze samo prekrižene strelice (ovdje je to događaj 3). Postupak je iterativan i završava se kada se numeriše i završni događaj projekta (Primjer numerisanja nije završen)

1

i

i

2

i

i

i

5

i

i

i

i

i

i

3

i

i

4

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

i

**1**

**4**

**2**

**4**

**3**

**4**

**4**

**9**

**5**

**9**

**6**

**9**

**F**

**3**

**F**

**3**

**7**

**7**

**8**

**7**

**9**

**7**

**F**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**10**

**4**

**11**

**4**

**12**

**4**

**F**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**13**

**9**

**14**

**9**

**15**

**9**

**F**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**16**

**7**

**17**

**7**

**18**

**7**

**20**

**12**

**21**

**12**

**19**

**12**

**F**

**20**

**F**

**20**

**F**

**20**

**F**

**3**

**4.2.3. PRORAČUN VREMENA U MREŽI**

* **ANALIZA VREMENA-** (nakon konstrukcije mrežnog dijagrama)- cilj je utvrđivanje trajanja projekta,
* proračun trajanja aktivnosti –proračun trajanja svake pojedinačne aktivnosti (na osnovu količina radova i potrebnih i raspoloživih resursa)- sračunato u tabeli „Sastav radnih brigada i proračun trajanja aktivnosti”), *Napomena: za potrebe elaborata računati sa izračunatim (očekivanim) trajanjem aktivnosti IT (vidi objašnjenje za tačku 5.1. elaborata*
* proračun vremena (početaka i završetaka) aktivnosti- odnosi se na proračun vremenskih parametara za svaku aktivnost pojedinačno i za projekat u cjelini
* proračun vremenskih rezervi – kao pokazatelja koji nam ukazuju na kritične aktivnosti- *nećemo ih računati za elaborat*
* utvrđivanje kritičnih puteva- odnosno najdužeg puta u mreži koji određuje ukupno trajanje projekta
* terminiranje mrežnih dijagrama- prevođenje terminskih jedinica (radnih dana, ili radnih smjena) na kalendarske dane – ovo nećemo raditi

**4.2.3.1. Proračun trajanja aktivnosti**

Trajanje projekta utvrđuje se nakon što smo sračunali trajanje svih aktivnosti (obračunato u tabeli „Sastav radnih brigada i proracun trajanja aktivnosti”), napravili inicijalnu listu i utvrdili međuzavisnosti aktivnosti.

**4.2.3.2. Proračun vremena**

Nakon konstrukcije mrežnog plana pristupa se proračunu vremena za realizaciju projekta

i- početni događaj aktivnosti

j

KZ

RZ

i

KP

RP

j- završni događaj aktivnosti

oznaka aktivnosti

trajanje aktivnosti

Za potrebe proracuna trajanja projekta, treba za svaku aktivnost (uključujući i fiktivne) utvrditi sljedeća vremena:

* **RP- najraniji početak** i RZ- najraniji završetak
* KP- najkasniji početak i **KZ- najkasniji završetak**

**RP i KZ su primarna vremena (jer se na osnovu njih računaju ostala vremena). Aktivnosti se ne mogu početi prije RP i moraju se završiti do KZ.**

**Ako posmatramo događaje onda se za svaki događaj mogu definisati RT (rana kasna odigravanja događaja) i KT(kasna tačka odigravanja događaja)**

**a) Formule za proračun vremenskih parametara aktivnosti**

TA i – trajanje aktivnosti i

RPi - rani početak aktivnosti i, = najraniji trenutak kad neka aktivnost može otpoceti (kada su se zavrsile sve aktivnosti koje su njoj prethodile)

**RPi=KRZ(PA) gdje je KRZ (PA) – najkasniji od svih najranijih završetaka prethodnih aktivnosti**

RZ j – rani završetak aktivnosti j, RZ j = RP i + TA ij

KZ j – kasni završetak aktivnosti j, =najkasniji trenutak do kojeg se mora zavrsiti aktivnost, kako se ne bi ugrozilo odvijanje njoj narednih aktivnosti

**KZ j=RKP(NA), gdje je RKP (NA) – najraniji od svih najkasnijih početaka narednih aktivnosti.**

KP i – kasni početak aktivnosti i, KP i = KZj – TAij

**b) Proračun vremenskih parametara na mreži**

Postoji nekoliko načina proračuna vremenskih parametara za aktivnosti (prema gore navedenim formulama):

* postupak naprijed – nazad (na konstruisanoj mreži) – ovaj će biti primijenjen za elaborat, ostale treba naučiti iz dostupne literature i predavanja
* matrični - Fondalov postupak,
* tabelarni postupak (za proračun rezervi)

Proračun ranih i kasnih završetaka predstavlja proračun vremena u mreži. Jedan od postupaka za proračun vremena u mreži je postupak naprijed-nazad, koji je i prikazan u primjeru.

U NASTAVKU JE ISCRTAN MREŽNI PLAN SA PRORAČUNOM „NAPRIJED” u kojem se određuju RP aktivnosti. (ovjde nije izvrseno numerisanje događaja, ali u elaboratu i to treba uraditi.

Počinje se od početnog događaja projekta koji je ujedno početni događaj za aktivnosti 1,2,3. Kako ove aktivnosti nemaju prethodnih onda mogu početi nultog dana, tj. RP(1, 2,3)=0, pa se upisuje nula u njihov početni događaj (u lijevu četvrtinu). U sljedećem koraku treba sračunati RP za aktivnosti koje su naredne u odnosu na ove aktivnosti: numerisani događaji po Fulkersonovom pravilu će pokazati za koju sljedeću aktivnost možemo sračunati RP. (Rani počeci su upisani crvenom bojom u lijevu četvrtinu početnog događaja aktivnosti)

* aktivnost 4: Kako je aktivnost 1 prethodna za aktivnost 4, to je završni događaj aktivnosti 1 ujedno i početni događaj aktivnosti 4. U početni događaj aktivnosti 4 ulazi samo jedna aktivnost, pa je rani završetak prethodne aktivnosti (1) ujedno i rani početak aktivnosti 4, odnosno RP(4)= RZ(1)=RP(1)+TA(1)=0+4=4. U početni događaj aktivnosti 4 upisujemo njen RP (u lijevu četvrtinu početnog događaja aktivnosti 4).
* fiktivne aktivnosti F1 i F2: Aktivnost 4 je prethodna za obje fiktivne aktivnosti čije je trajanje 3 dana, pa je završni događaj aktivnosti 4 ujedno početni događaj obje fiktivne aktivnosti. Otuda slijedi da je RP obje fiktivne aktivnosti jednak RZ njoj prethodne aktivosti, odnosno RP(F1)=RP(F2)=RZ(4)=RP(4)+TA(4)=4+9=13. U početni događaj fiktivnih aktivnosti F1 i F2, upisujemo njen RP (u lijevu četvrtinu početnog događaja aktivnosti F1, odnosno F2).
* aktivnost 5: Kako su aktivnosti F2 i 2 prethodne za aktivnost 5, to je završni događaj aktivnosti F2 i 2 ujedno i početni događaj aktivnosti 5. U početni događaj aktivnosti 5 ulaze dvije aktivnosti, pa je kasniji od ranih završetaka obje prethodne aktivnosti (F2 i 2) ujedno i rani početak aktivnosti 5, odnosno

**RP(5)= KRZ(F2, 2)=max(RP(F2)+TA(F2); RP(2)+TA(2))=max(13+3; 0+4)=16**

U slučaju da posmatrana aktivnost ima dvije prethodne aktivnosti onda se RP odredjuje tako što se za obje prethodne aktivnosti sračunaju RZ, a kasniji od njih onda predstavlja RP posmatrane aktivnost: kada aktivnost ima više prethodnih, za rani završetak se uzima vrijednost koja je najveća i ta se vrijednost upisuje u lijevu četvrtinu početnog događaja posmatrane aktivnosti

Postupak se nastavlja do završnog događaja projekta. Na taj način smo za sve aktivnosti na projektu utvrdili i upisali njihove RP a u završnom događaju projekta je to rana tačka odigravanja završnog događaja projekta (rani trenutak završetka projekta). To ujedno treba da bude i kasni završetak projekta, odnosno ne treba odlagati kraj projekta, pa taj broj treba prepisati i u desnu četvrtinu završnog događaja projekta. TIME SE ZAPOČINJE POSTUPAK „NAZAD”.

27+3

37+3

25+3

13+3

0+4

0+4

1

0

i

2

4

i

i

5

16

i

i

i

28

i

3

13

i

4

16

i

i

25

i

i

28

i

i

37

i

i

40

i

i

23

i

i

27

i

i

35

i

i

39

i

i

47

i

i

51

i

i

40

i

i

49

i

i

52

i

i

61

i

i

64

i

i

73

i

i

52

i

i

59

i

i

64

i

i

71

i

i

76

i

i

83

i

i

95

i

**1**

**4**

**2**

**4**

**3**

**4**

**4**

**9**

**5**

**9**

**6**

**9**

**F2**

**3**

**F**

**3**

**7**

**7**

**8**

**7**

**9**

**7**

**F1**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**10**

**4**

**11**

**4**

**12**

**4**

**F**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**13**

**9**

**14**

**9**

**15**

**9**

**F**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**16**

**7**

**17**

**7**

**18**

**7**

**20**

**12**

**21**

**12**

**19**

**12**

**F**

**20**

**F**

**20**

**F**

**20**

**F**

**3**

Postupak unazad: Počinje se od završnog događaja projekta koji je ujedno završni događaj za aktivnost 21, tako da se za aktivnost 21 prepiše kasni završetak projekta , odnosno upisuje se br. 95 u njen završni događaj (u desnu četvrtinu). U sljedećem koraku treba sračunati KZ za aktivnosti koje su prethodne u odnosu na ovu aktivnost: numerisani događaji po Fulkersonovom pravilu će pokazati za koju sljedeću aktivnost možemo sračunati KZ. (Kasni završeci su upisani plavom bojom u desnu četvrtinu završnog događaja aktivnosti).

* aktivnosti 20 i 18: za ove dvije aktivnosti je naredna aktivnost 21, odnosno završni događaj ove dvije aktivnosti je ujedno i početni događaj za aktivnost 21. Da aktivnost 21 ne bi kasnila u svom kasnom položaju, ove dvije njoj prethodne aktivnosti (18 i 20) se moraju završiti do KP aktivnosti 21, odnosno KZ(18 i 20)=KP(21)=KZ(21)-TA(21)=95-12=83.
* aktivnosti 17 i 19: za ove dvije aktivnosti je naredna aktivnost 20, odnosno završni događaj ove dvije aktivnosti je ujedno i početni događaj za aktivnost 20. Da aktivnost 20 ne bi kasnila u svom kasnom položaju, ove dvije njoj prethodne aktivnosti (17 i 19) se moraju završiti do KP aktivnosti 20, odnosno KZ(17 i 19)=KP(20)=KZ(20)-TA(20)=83-12=71.
* postupak se nastavlja unazad po istom principu, vodeći računa da se aktivnosti koje prethode aktivnostima čije smo KZ već sračunali, moraju završiti do KP aktivnosti kojoj prethode...Ako završni događaj posmatrane aktivnosti predstavlja početni događaj za dvije ili više aktivnosti (na primjer završni događaj aktivnosti 13 je istovremeno početni događaj za dvije fiktivne aktivnosti F5 i F6), onda KZ aktivnosti 13 treba da bude tako određen da ne budu ugroženi KP aktivnosti F5 i F6, odnosno

**KZ(13)= RKP(F5, F6)=min(KZ(F5)-TA(F5); KZ(F6)-TA(F6))=min(52-3;52-3)=49**

U slučaju da posmatrana aktivnost ima dvije naredne aktivnosti onda se KZ posmatrane odredjuje tako što se za obje naredne aktivnosti sračunaju KP, a raniji od njih onda predstavlja KZ posmatrane aktivnost: kada aktivnost ima više narednih, za kasni završetak se uzima vrijednost koja je najmanja i ta se vrijednost upisuje u desnu četvrtinu početnog događaja posmatrane aktivnosti.

52-3

64-3

64-3

52-3

1

0

0

2

4

4

i

5

16

16

i

i

28

28

3

13

13

4

16

21

i

25

25

i

28

33

i

37

37

i

40

45

i

23

28

i

27

32

i

35

40

i

39

44

i

47

52

i

51

56

i

40

40

i

49

49

i

52

52

i

61

61

i

64

64

i

73

73

i

52

52

i

59

59

i

64

64

i

71

71

i

76

76

i

83

83

i

95

95

**1**

**4**

**2**

**4**

**3**

**4**

**4**

**9**

**5**

**9**

**6**

**9**

**F2**

**3**

**F**

**3**

**7**

**7**

**8**

**7**

**9**

**7**

**F1**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**10**

**4**

**11**

**4**

**12**

**4**

**F4**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**13**

**9**

**14**

**9**

**15**

**9**

**F6**

**3**

**F**

**3**

**F5**

**3**

**F**

**3**

**F**

**3**

**16**

**7**

**17**

**7**

**18**

**7**

**20**

**12**

**21**

**12**

**19**

**12**

**F3**

**20**

**F**

**20**

**F**

**20**

**F**

**3**

**4.2.3.3. Proračun vremenskih rezervi**

**Razlika između raspoloživog vremena za izvršenje neke aktivnosti i njenog trajanja**, naziva se vremenskom rezervom. Ako je raspoloživo vrijeme jednako vremenu trajanja aktivnosti, onda je vremenska rezerva jednaka nuli. Zavisno od odnosa posmatrane aktivnosti u odnosu na na prethodne i naredne aktivnosti, imamo više vrsta vremenskih rezervi:

* Ukupna rezerva UR
* Slobodna rezerva SR
* Nezavisna rezerva NR
* Uslovna rezerva RU

**Ukupna rezerva** je vrijeme za koje se može produžiti trajanje aktivnosti ili odložiti njen početak (u odnosu na RP), a da se time ne utiče na rok završetka projekta. Sračunava se kada su sve prethodne aktivnost u ranom početku, a sve naredne u kasnom završetku, odnosno

**UR(A)=KZ(A)-RZ(A)**

Ukupna vremenska rezerva je uvijek veća od nule ili jednaka nuli (UR≥0). U slučaju kada neka aktivnost nema ukupnu vremensku rezervu (UR=0), onda ona nema ni druge vremenska rezerve. To znači da se radi o aktivnosti čije izvršenje ne možemo pomjerati niti produžiti njeno trajanje, odnosno u tom slučaju se radi o kritičnoj aktivnost (aktivnost na kritičnom putu).

**Slobodna vremenska rezerva** je vrijeme za koje se može pomjeriti izvršenje neke aktivnosti ili produžiti njeno trajanje uz uslov da se ne ugroze najraniji položaji prethodnih i narednih aktivnosti.

**SR(A)=RRP(NA)-RP(A)**

Ova rezerva postoji samo ako aktivnost ima više narednih aktivnosti. Ona je može biti jednaka ili manja od ukupne vremenske rezerve tj. SR≤UR i SR≥0.

**Nezavisna vremenska rezerva** je vrijeme za koje se posmatrana aktivnost može pomjeriti, ili produžiti njeno izvršenje, uz uslov da se njene prethodne aktivnosti završavaju u najkasnijem završetku a naredne počinju u najranijem početku.

**NR(A)= RRP(NA) – KKZ(PA) –TA(A)**

Ona može da postoji jedino ako aktivnost ima više prethodnih aktivnosti, jedina može biti i negativna, a uvijek je manja od UR. Može se pojaviti na nekritičnoj aktivnosti samo ako je slobodna rezerva veća od nule.

**Uslovna vremenska rezerva** je vrijeme za koje se odigravanje događaja može pomjeriti

**RU(i)= KT(i)-RT(i)**

Upustvo: Za zadatak nije potrebno računati rezerve, vać samo označiti kritičan put na mreži. Na prethodnom crtežu kritični put je označen crvenim linijama i žuto obojenim događajima.

**4.2.3.4. Utvrđivanje kritičnih puteva**

Aktivnosti čiji su početni i završni događaji kritičnu, odnosno RU(i)=RU(j), a pri tome je RZ=KZ su aktivnosti na kritičnom putu i one se označavaju drugom bojom ili se podebljaju. To su aktivnosti kod kojih je ukupna vremenska rezerva jednaka nuli UR= KZ-RZ= 0.

Kritični put je najduži neprekidni (potpuni) put na mrežnom dijagramu, koji ide preko kritičnih aktivnosti. Svaki mrežni plan ima makar jedan kritični put, a može ih imati više. Ako ima više kritičnih puteva svi su jednakog trajanja. Dužina kritičnog puta predstavlja trajanje projekta i jednaka je zbiru trajanja svih aktivnosti na kritičnom putu.

**4.2.3.5. Terminiranje mrežnih dijagrama (nećemo raditi)**

Terminiranje mrežnog plana predstavlja prevođenje terminskih jedinica (radnih dana, ili radnih smjena) iz mrežnog plana na kalendarske dane. Trajanje aktivnosti smo odredili u terminskim jedinicama. Terminske jedinice su najčešće radni dani. Terminiranje se vrši crtanjem gantograma.