

PLANIRANJE I RASPODELA RADNE SNAGE PRILIKOM IZGRADNJE TRŽNOG CENTRA *

Nina Mladenović, Tamara Janković

*Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Odsek za inženjerski menadžment
Bor, Srbija*

Izvod

U ovom radu je vršeno planiranje i raspoređivanje radne snage na hipotetičkom primeru izgradnje tržnog centra. U tu svrhu korišćena je metoda kritičnog puta (CPM). Zadatak projekta treba da se realizuje u datom roku (90 dana), uz raspoloživu homogenu radnu snagu (20 radnika). Na osnovu analize resursa, planiranja i raspoređivanja radne snage sa počecima koji su najraniji/najkasniji, zaključili smo da se uslovi ne mogu ispuniti. Daljim planiranjem i raspoređivanjem radne snage i korišćenjem heurističke metode, postignuta je željena optimizacija.

Ključne reči: *Tehnike mrežnog planiranja, CPM, Raspoređivanje radne snage, Gantogram, Histogram*

1. UVOD

Svaki posao građevinskih preduzeća iziskuje detaljno planiranje svih aktivnosti, odnosno, zahteva pisanje projekta. Projekat predstavlja proces koji se sastoji od skupa aktivnosti sa jasno određenim ciljem koji treba postići u zadatom vremenskom periodu uz korišćenje raspoloživih, ograničenih resursa. Ciljevi projekta podrazumevaju ono što treba da se postigne da bi se ispunili dogovoreni zahtevi projekta i njih bi trebalo jasno definisati na početku (Jovanović, 2018). Kao pomoć za planiranje i realizaciju projekta koriste se razne metode iz tehnike mrežnog planiranja. Primenom tehnike mrežnog planiranja poboljšava se planiranje procesa realizacije složenih projekata i povećava efikasnost upravljanja tim procesima. Ova metodologija je obavezna za analizu preuzetih obaveza pri sklapanju ugovora, kontroli izvršenja rokova i analizi troškova realizacije projekta (Brandenberger & Konrad, 1965), kao i kod racionalnog usklađivanja svih potrebnih resursa i koordinacije obavljanja potrebnih aktivnosti da bi se određeni projekat realizovao na najefikasniji način (Jovanović, 2018). U tu svrhu, u ovom radu, koristi se metoda kritičnog puta (*engl.* Critical Path Method), tehnika za ocenu i pregled programa za projekte u kojima se može tačno definisati trajanje svake aktivnosti. Nakon analize vremena, CPM metodom, na konkretnom primeru izgradnje tržnog centra. Prikazan je problem planiranja i raspoređivanja radne snage putem histograma, ali i uz pomoć gantograma (Brandenberger & Konrad, 1965). Cilj rada jeste završetak projekta u planiranom roku što se rešava metodom optimizacije radne snage koja se zasniva na odlaganju, odnosno, pomeranju izvršenja aktivnosti, odnosno na preraspodeli raspoložive radne snage.

* Rad saopšten na XV Studentskom simpozijumu o strategijskom menadžmentu

2. METODOLOGIJA RADA

2.1. Tehnika mrežnog planiranja

Složeni projekti, kao oni u građevinarstvu, sastoje se iz velikog broja poslova, koji su po strukturi različiti ali su vremenski međusobno uslovljeni. Za uspešno upravljanje ovako složenim projektima, treba predvideti sve poslove koje treba obaviti, odrediti izvršioce i obezbediti potpunu koordinaciju svih učesnika u realizaciji. Upravo za ove potrebe, krajem šeste decenije prošlog veka, razvijen je skup metoda koje se koriste za planiranje, praćenje i kontrolu realizacije projekta – Tehnika mrežnog planiranja. Metode su zasnovane na rezultatima matematike, statistike i računarskih nauka i omogućavaju precizno odvajanje analize strukture projekta od analize vremena, čime je povećana efikasnost upravljanja procesima. Postoje četiri faze u planiranju realizacije svakog složenog zadatka: analiza strukture, analiza vremena, planiranje resursa i analiza troškova (Jovanović, 2018). Osnovne metode tehnike mrežnog planiranja su (Jovanović, 2005):

- CPM (*engl.* Critical Path Method) – Metod kritičnog puta;
- PERT (*engl.* Program Evaluation and Review Tehnique) – Metoda ocene i revizije programa aktivnosti;
- PDM (*engl.* Precendenc Diagramming Method) – Metod prvenstva.

2.2. Metod kritičnog puta

Metod kritičnog puta (CPM) ili analiza kritičnih putanja je matematički bazirani algoritam za planiranje skupa projektnih aktivnosti. To je važan alat za efikasno upravljanje projektima. Najčešće se koristi u svim oblicima projekata, uključujući izgradnju, razvoj softvera, istraživačke projekte, razvoj proizvoda, inženjering i održavanje postrojenja. Može se primeniti na svaki projekat sa međuzavisnim aktivnostima (Weber, 2005). CPM je jedinstveni alat koji pruža dobar pristup planiranju izgradnje fokusirajući se na načine na koji se metodom kritičnog puta mogu koristiti za odgovor na važna pitanja koja se pojavljuju na gotovo svakom građevinskom projektu. Metoda kritičnog puta je tutor za planiranje izgradnje, pomaže izvođačima da ispune današnje sve veće zahteve za poboljšanjem operativne efikasnosti i povećanjem profitabilnosti. Raspored izgradnje u velikoj meri zavisi od veštine organizatora i odgovornih učesnika i utiče na efikasnost, troškove i ukupan uspeh ili neuspeh projekta (East, 2015).

Ova metoda može pomoći u sledećem: da se projekti zadrže na pravom putu; da se identifikuju aktivnosti koje treba da se završe na vreme kako bi ceo projekat ispunio zadati rok; da se uvidi koliko se koji zadatak može odložiti bez uticaja na ukupni raspored (njihovi najraniji i najkasniji počeci i završeci); i da se izračuna minimalni vremenski period koji je potreban za završetak projekta. Iz ovoga se može zaključiti da je metoda kritičnog puta važan alat za upravljanje projektom. Njom se može izračunati kritični put i raspored aktivnosti sa najdužim trajanjem. Kašnjenje bilo koje od tih aktivnosti rezultiraće kašnjenje celog projekta (Purkayastha, 2011). Projekat može imati nekoliko, paralelnih kritičnih puteva. Dodatni paralelni put kroz mrežu sa ukupnom dužinom koja je kraća od kritične putanje naziva se podkritična ili nekritična putanja (Fondahl, 1961).

Određeni zadaci moraju biti završeni pre nego što drugi mogu početi. Kada su zadaci isplanirani, izvođač će znati kada svaki podizvođač treba da počne sa radom i za koliko će svaki podizvođač moći da završi svoj posao bez uticaja na rad drugih podizvođača ili odlaganja završetka celog projekta. Kritični put bi u ovom slučaju pokazao šta je potrebno da se uradi i kojim redosledom zadataka, onaj put koji traje najduže i koji stoga određuje minimalno vreme u kojem se projekat može završiti. Ostali događaji koji nisu direktno

zavisni od završetka prethodnih događaja, mogu se izvoditi istovremeno, pa tako izvođač mora odrediti sekvencijalni ili istovremeni odnos između svih događaja. Da bi se to uradilo, svakoj od aktivnosti se moraju dodeliti vremenske vrednosti za koje će se one ostvariti (Tatterson & Wood, 1974).

2.2.1. Analiza strukture

Analiza strukture u planiranju podrazumeva ispitivanje redosleda i međuzavisnosti svih aktivnosti koje se povezuju u jedan grafički model – mrežni dijagram. Da bi se izvršila analiza strukture potrebno je: napraviti listu svih aktivnosti u projektu, odrediti njihovu zavisnost i vremenske uslove; konstruisati mrežni dijagram po određenim pravilima (Jovanović, 2018).

Spisak aktivnosti je niz svih poslova i postupaka koji moraju da se izvedu u toku realizacije projekta (Brandenberger & Konrad, 1965). Svaka aktivnost je deo projekta kao ukupnog zadatka koji čini jednu celinu i predstavlja jedan od osnovnih elemenata mrežnog dijagrama (Jovanović, 2018). Tehnika mrežnog planiranja podrazumeva da su svi radovi bar delimično nekome poznati tj. da su negde propisani i da je najvažnije odrediti njihov raspored odnosno konstruisati mrežni dijagram (Brandenberger & Konrad, 1965).

Mrežni dijagram je grafički prikaz realizacije projekta koji odražava međuzavisnost svih aktivnosti i događaja projekta (Jovanović, 2018). On ima jedan početni i jedan završni događaj, a pri konstruisanju se vrši uključivanje svake aktivnosti po određenom rasporedu (Brandenberger & Konrad, 1965). Postoji dijagram orijentisan aktivnostima i dijagram orijentisan događajima. U praksi se više koristi mrežni dijagram orijentisan aktivnostima. Na njemu su prikazane sve aktivnosti projekta, predstavljene strelicama koje pokazuju njihov smer odvijanja (Jovanović, 2018).

2.2.2. Analiza vremena

Analiza vremena obuhvata procenu i utvrđivanje vremena koje je potrebno za izvršenje pojedinih aktivnosti, kao i određivanje vremenskih parametara na osnovu kojih se kontroliše vreme odvijanja projekta i utiče na poštovanje rokova (Jovanović, 2018). Analiza vremena u CPM metodi vrši se u tri koraka (Brandenberger & Konrad, 1965):

- određivanje vremena trajanja aktivnosti,
- progresivni i retrogradni proračun vremena (napred-nazad),
- pronalaženje kritičnog puta i vremenskih rezervi.

Precizno određivanje vremena trajanja aktivnosti uslovljeno je opisom postupaka i potrebnih resursa za njihovo izvršenje. Treba uzeti u obzir broj radnika, njihovu kvalifikaciju i način rada.

2.2.3. Planiranje resursa

Planiranje resursa obuhvata planiranje materijala, opreme i radne snage potrebne za realizaciju projekta. Najpre se vrši definisanje broja potrebnih radnika različitih profila, zatim optimizacija rasporeda radnika na pojedine poslove uz odgovarajuće planove i izveštaje, a osnova za planiranje resursa je mrežni plan. Kao poseban podproces ovo planiranje se odvija kroz sledeće aktivnosti:

- utvrđivanje potrebnih količina pojedinih resursa,
- određivanje vremenskih termina kada su resursi potrebni,
- obezbeđenje potrebnih resursa.

Raspoređivanje radne snage bazira se na određivanju najpovoljnijeg rasporeda angažovanja radnika. S obzirom da potrebni radnici za realizaciju nekih aktivnosti nisu uvek raspoloživi u odgovarajućem broju i u potrebnim periodima potrebno je da se izvrši optimalna raspodela raspoloživih kadrova. Takva raspodela naziva se metodom optimizacije radne snage, koja se zasniva na odlaganju, odnosno pomeranju izvršenja pojedinih aktivnosti kako bi se oslobodio deo prekobrojnih radnika koji se mogu rasporediti na aktivnosti gde ti kadrovi nedostaju, sa ciljem da ukupno vreme, kao i troškovi projekta, budu što manji (Jovanović, 2018).

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Građevinsko preduzeće sklopilo je ugovor o izgradnji tržnog centra. Od svojih poslodavaca preduzeće je dobilo informaciju da je projekat potrebno realizovati u roku od tri meseca (90 dana). Građevinsko preduzeće trenutno raspolaže sa 20 radnika, koji će biti raspoređeni na svim planiranim poslovima izgradnje.

Napravljen je plan aktivnosti, njihove uslovljenosti i trajanje svake od aktivnosti, kao i broj radnika potrebnih za svaku aktivnost da bi se ispunilo njihovo planirano vreme trajanja.

Građevinsko preduzeće je u obavezi da izvrši određena planiranja i proračune kako bi uvidelo da li je sposobno da ispuni zadate ciljeve sa trenutnim uslovima.

Aktivnosti koje je potrebno izvršiti prilikom izgradnje tržnog centra su sledeće:

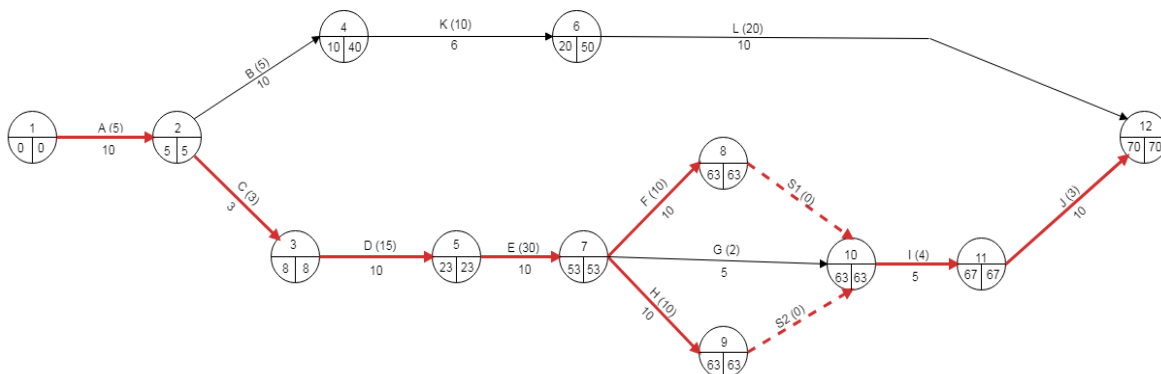
- A- Uređenje (priprema) gradilišta;
- B- Izrada privremenih (pomoćnih) objekata;
- C- Dovodjenje struje i vode na gradilište;
- D- Postavljanje temelja;
- E- Izgradnja zidova;
- F- Postavljanje krova;
- G- Nameštanje stolarije (prozori, vrata);
- H- Infrastruktura u lokaluu;
- I- Uređenje lokala (molerski i parketerski radovi)
- J- Opremanje lokala;
- K- Izgradnja parkinga;
- L- Uređenje okoline (travnata površina, igralište, "bašta").

U Tabeli 1 prikazana je matrica međuzavisnosti aktivnosti, njihovo trajanje i potreban broj radnika.

Tabela 1. Matrica međuzavisnosti aktivnosti

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|-----------------------|----|----|---|----|----|----|---|----|---|----|----|----|
| A | | X | X | X | | | | | | | X | |
| B | | | | | | | | | | | X | |
| C | | | | X | | | | | | | | |
| D | | | | | X | | | | | | | |
| E | | | | | | X | X | X | | | | |
| F | | | | | | | | | X | | | |
| G | | | | | | | | | X | | | |
| H | | | | | | | | | X | | | |
| I | | | | | | | | | | X | | |
| J | | | | | | | | | | | | |
| K | | | | | | | | | | | | X |
| L | | | | | | | | | | | | |
| Vreme trajanja (dani) | 5 | 5 | 3 | 15 | 30 | 10 | 2 | 10 | 4 | 3 | 10 | 20 |
| Resursi (radna snaga) | 10 | 10 | 3 | 10 | 10 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 6 | 10 |

Mrežni dijagram realizacije projekta sa proračunom vremena trajanja aktivnosti i potrebnim brojem radnika prikana je na Slici 1.



Slika 1. Mrežni dijagram sa proračunom vremena

Sa dijagrama se vidi da postoje dva kritična puta, prvi se sastoji od aktivnosti A–C–D–E–F–S1–I–J, a drugi A–C–D–E–H–S2–I–J. Proračunom došlo se do ukupnog trajanja projekta – 70 dana.

U nastavku su predstavljene vremenske rezerve aktivnosti na projektu (Tabela 2). Ukupna vremenska rezerva (R_{ij}^U) – od maksimalno dozvoljenog vremena trajanja aktivnosti oduzima se vreme trajanja te aktivnosti. Formula 1 pokazuje za koliko se može pomeriti vreme najranijeg početka aktivnosti, a da se pri tome rok završetka ne promeni.

$$\Delta u_{ij} = R_{ij}^U = t_j^1 - t_i^0 - t_{ij} \quad (1)$$

Slobodna vremenska rezerva (R_{ij}^S) – formulom 2 može se izračunati za koliko se može produžiti trajanje neke aktivnosti a da sve naredne aktivnosti zadrže najranije vreme početka.

$$\Delta s_{ij} = R_{ij}^S = t_j^0 - t_i^0 - t_{ij} \quad (2)$$

Nezavisna vremenska rezerva (R_{ij}^N):

$$\Delta n_{ij} = R_{ij}^N = t_j^0 - t_i^1 - t_{ij} \quad (3)$$

Tabela 2. Vremenske rezerve aktivnosti

| | |
|--|---|
| Aktivnost A | Aktivnost G |
| $R_{12}^U = t_2^1 - t_1^0 - t_{12} = 5 - 0 - 5 = 0$ | $R_{710}^U = t_{10}^1 - t_7^0 - t_{710} = 63 - 53 - 2 = 8$ |
| $R_{12}^S = t_2^0 - t_1^0 - t_{12} = 5 - 0 - 5 = 0$ | $R_{710}^S = t_{10}^0 - t_7^0 - t_{710} = 63 - 53 - 2 = 8$ |
| $R_{12}^N = t_2^0 - t_1^1 - t_{12} = 5 - 0 - 5 = 0$ | $R_{710}^N = t_{10}^0 - t_7^1 - t_{710} = 63 - 53 - 2 = 8$ |
| Aktivnost B | Aktivnost H |
| $R_{24}^U = t_4^1 - t_2^0 - t_{24} = 40 - 5 - 5 = 30$ | $R_{79}^U = t_9^1 - t_7^0 - t_{79} = 63 - 53 - 10 = 0$ |
| $R_{24}^S = t_4^0 - t_2^0 - t_{24} = 10 - 5 - 5 = 0$ | $R_{79}^S = t_9^0 - t_7^0 - t_{79} = 63 - 53 - 10 = 0$ |
| $R_{24}^N = t_4^0 - t_2^1 - t_{24} = 10 - 5 - 5 = 0$ | $R_{79}^N = t_9^0 - t_7^1 - t_{79} = 63 - 53 - 10 = 0$ |
| Aktivnost C | Aktivnost I |
| $R_{23}^U = t_3^1 - t_2^0 - t_{23} = 8 - 5 - 3 = 0$ | $R_{1011}^U = t_{11}^1 - t_{10}^0 - t_{1011} = 67 - 63 - 4 = 0$ |
| $R_{23}^S = t_3^0 - t_2^0 - t_{23} = 8 - 5 - 3 = 0$ | $R_{1011}^S = t_{11}^0 - t_{10}^0 - t_{1011} = 67 - 63 - 4 = 0$ |
| $R_{23}^N = t_3^0 - t_2^1 - t_{23} = 8 - 5 - 3 = 0$ | $R_{1011}^N = t_{11}^0 - t_{10}^1 - t_{1011} = 67 - 63 - 4 = 0$ |
| Aktivnost D | Aktivnost J |
| $R_{35}^U = t_5^1 - t_3^0 - t_{35} = 23 - 8 - 15 = 0$ | $R_{1112}^U = t_{12}^1 - t_{11}^0 - t_{1112} = 70 - 67 - 3 = 0$ |
| $R_{35}^S = t_5^0 - t_3^0 - t_{35} = 23 - 8 - 15 = 0$ | $R_{1112}^S = t_{12}^0 - t_{11}^0 - t_{1112} = 70 - 67 - 3 = 0$ |
| $R_{35}^N = t_5^0 - t_3^1 - t_{35} = 23 - 8 - 15 = 0$ | $R_{1112}^N = t_{12}^0 - t_{11}^1 - t_{1112} = 70 - 67 - 3 = 0$ |
| Aktivnost E | Aktivnost K |
| $R_{57}^U = t_7^1 - t_5^0 - t_{57} = 53 - 23 - 30 = 0$ | $R_{46}^U = t_6^1 - t_4^0 - t_{46} = 50 - 10 - 10 = 30$ |
| $R_{57}^S = t_7^0 - t_5^0 - t_{57} = 53 - 23 - 30 = 0$ | $R_{46}^S = t_6^0 - t_4^0 - t_{46} = 20 - 10 - 10 = 0$ |
| $R_{57}^N = t_7^0 - t_5^1 - t_{57} = 53 - 23 - 30 = 0$ | $R_{46}^N = t_6^0 - t_4^1 - t_{46} = 20 - 40 - 10 = -30$ |
| Aktivnost F | Aktivnost L |
| $R_{78}^U = t_8^1 - t_7^0 - t_{78} = 63 - 53 - 10 = 0$ | $R_{612}^U = t_{12}^1 - t_6^0 - t_{612} = 70 - 20 - 20 = 30$ |
| $R_{78}^S = t_8^0 - t_7^0 - t_{78} = 63 - 53 - 10 = 0$ | $R_{612}^S = t_{12}^0 - t_6^0 - t_{612} = 70 - 20 - 20 = 30$ |
| $R_{78}^N = t_8^0 - t_7^1 - t_{78} = 63 - 53 - 10 = 0$ | $R_{612}^N = t_{12}^0 - t_6^1 - t_{612} = 70 - 50 - 20 = 0$ |

Vremenske rezerve događaja:

$$R_i = t_i^1 - t_i^0 \quad (4)$$

$$R_j = t_j^1 - t_j^0 \quad (5)$$

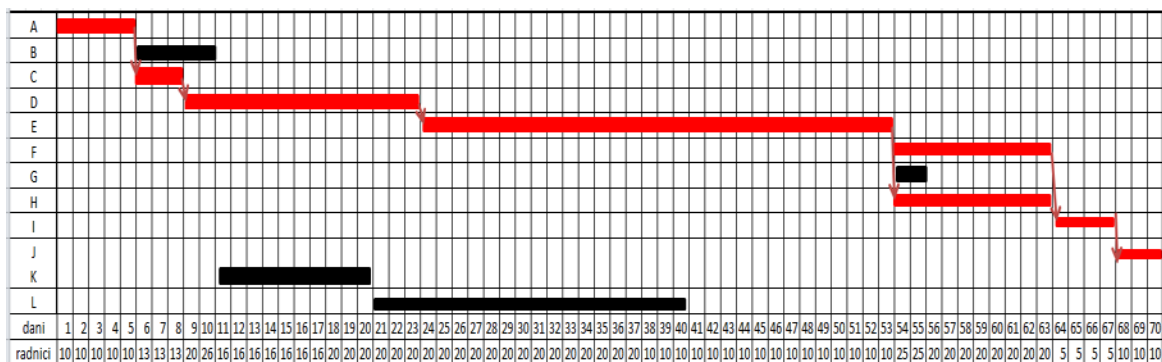
predstavljaju razliku između najkasnijeg i najranijeg termina događaja.

$$\begin{array}{ll}
 R_1 = t_1^1 - t_1^0 = 0 - 0 = 0 & R_7 = t_7^1 - t_7^0 = 53 - 53 = 0 \\
 R_2 = t_2^1 - t_2^0 = 5 - 5 = 0 & R_8 = t_8^1 - t_8^0 = 63 - 63 = 0 \\
 R_3 = t_3^1 - t_3^0 = 8 - 8 = 0 & R_9 = t_9^1 - t_9^0 = 63 - 63 = 0 \\
 R_4 = t_4^1 - t_4^0 = 40 - 10 = 30 & R_{10} = t_{10}^1 - t_{10}^0 = 63 - 63 = 0 \\
 R_5 = t_5^1 - t_5^0 = 23 - 23 = 0 & R_{11} = t_{11}^1 - t_{11}^0 = 67 - 67 = 0 \\
 R_6 = t_6^1 - t_6^0 = 50 - 20 = 30 & R_{12} = t_{12}^1 - t_{12}^0 = 70 - 70 = 0
 \end{array}$$

Tabela 3. Termini aktivnosti

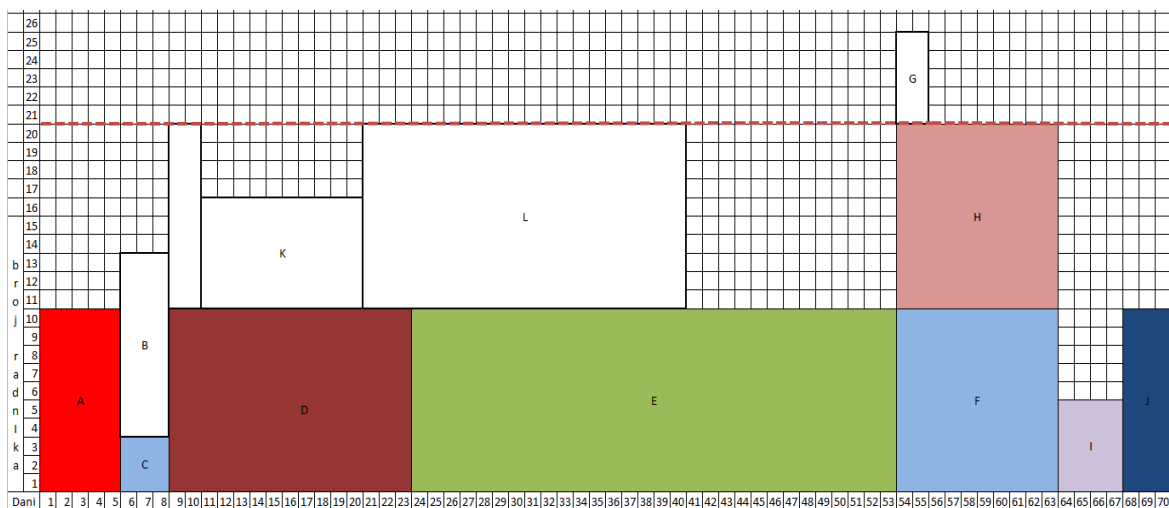
| | |
|---|--|
| <p>Aktivnost A</p> $t_1^0 = 0$ $t_1^1 = t_2^1 - t_{12} = 5 - 5 = 0$ $t_2^0 = t_1^0 + t_{12} = 0 + 5 = 5$ $t_2^1 = \min \{ t_4^1 - t_{24}; t_3^1 - t_{23} \} = \min \{ 40 - 5; 8 - 3 \} = \min \{ 35; 5 \} = 5$ | <p>Aktivnost G</p> $t_7^0 = t_5^0 + t_{57} = 23 + 30 = 53$ $t_7^1 = \min \{ t_8^1 - t_{78}; t_{10}^1 - t_{710}; t_9^1 - t_{79} \} = \min \{ 63 - 10; 63 - 2; 63 - 10 \} = \min \{ 53; 51; 53 \} = 53$ $t_{10}^0 = \max \{ t_8^0 + t_{810}; t_7^0 + t_{710}; t_9^0 + t_{910} \} = \max \{ 63 + 0; 53 + 2; 63 + 0 \} = \max \{ 63; 53; 63 \} = 63$ $t_{10}^1 = t_{11}^1 - t_{1011} = 67 - 4 = 63$ |
| <p>Aktivnost B</p> $t_2^0 = t_1^0 + t_{12} = 0 + 5 = 5$ $t_2^1 = \min \{ t_4^1 - t_{24}; t_3^1 - t_{23} \} = \min \{ 40 - 5; 8 - 3 \} = \min \{ 35; 5 \} = 5$ $t_4^0 = t_2^0 + t_{24} = 5 + 5 = 10$ $t_4^1 = t_6^1 - t_{46} = 50 - 10 = 40$ | <p>Aktivnost H</p> $t_7^0 = t_5^0 + t_{57} = 23 + 30 = 53$ $t_7^1 = \min \{ t_8^1 - t_{78}; t_{10}^1 - t_{710}; t_9^1 - t_{79} \} = \min \{ 63 - 10; 63 - 2; 63 - 10 \} = \min \{ 53; 51; 53 \} = 53$ $t_9^0 = t_7^0 + t_{79} = 53 + 10 = 63$ $t_9^1 = t_{10}^1 - t_{910} = 63 - 0 = 63$ |
| <p>Aktivnost C</p> $t_2^0 = t_1^0 + t_{12} = 0 + 5 = 5$ $t_2^1 = \min \{ t_4^1 - t_{24}; t_3^1 - t_{23} \} = \min \{ 40 - 5; 8 - 3 \} = \min \{ 35; 5 \} = 5$ $t_3^0 = t_2^0 + t_{23} = 5 + 3 = 8$ $t_3^1 = t_5^1 - t_{35} = 23 - 15 = 8$ | <p>Aktivnost I</p> $t_{10}^0 = \max \{ t_8^0 + t_{810}; t_7^0 + t_{710}; t_9^0 + t_{910} \} = \max \{ 63 + 0; 53 + 2; 63 + 0 \} = \max \{ 63; 53; 63 \} = 63$ $t_{10}^1 = t_{11}^1 - t_{1011} = 67 - 4 = 63$ $t_{11}^0 = t_{10}^0 + t_{1011} = 63 + 4 = 67$ $t_{11}^1 = t_{12}^1 - t_{1112} = 70 - 3 = 67$ |
| <p>Aktivnost D</p> $t_3^0 = t_2^0 + t_{23} = 5 + 3 = 8$ $t_3^1 = t_5^1 - t_{35} = 23 - 15 = 8$ $t_5^0 = t_3^0 + t_{35} = 8 + 15 = 23$ $t_5^1 = t_7^1 - t_{57} = 53 - 30 = 23$ | <p>Aktivnost J</p> $t_{11}^0 = t_{10}^0 + t_{1011} = 63 + 4 = 67$ $t_{11}^1 = t_{12}^1 - t_{1112} = 70 - 3 = 67$ $t_{12}^0 = \max \{ t_6^0 + t_{612}; t_{11}^0 + t_{1112} \} = \max \{ 20 + 20; 67 + 3 \} = \max \{ 40; 70 \} = 70$ $t_{12}^1 = t_{12}^0 = 70$ |
| <p>Aktivnost E</p> $t_5^0 = t_3^0 + t_{35} = 8 + 15 = 23$ $t_5^1 = t_7^1 - t_{57} = 53 - 30 = 23$ $t_7^0 = t_5^0 + t_{57} = 23 + 30 = 53$ $t_7^1 = \min \{ t_8^1 - t_{78}; t_{10}^1 - t_{710}; t_9^1 - t_{79} \} = \min \{ 63 - 10; 63 - 2; 63 - 10 \} = \min \{ 53; 51; 53 \} = 53$ | <p>Aktivnost K</p> $t_4^0 = t_2^0 + t_{24} = 5 + 5 = 10$ $t_4^1 = t_6^1 - t_{46} = 50 - 10 = 40$ $t_6^0 = t_4^0 + t_{46} = 10 + 10 = 20$ $t_6^1 = t_{12}^1 - t_{612} = 70 - 20 = 50$ |
| <p>Aktivnost F</p> $t_7^0 = t_5^0 + t_{57} = 23 + 30 = 53$ $t_7^1 = \min \{ t_8^1 - t_{78}; t_{10}^1 - t_{710}; t_9^1 - t_{79} \} = \min \{ 63 - 10; 63 - 2; 63 - 10 \} = \min \{ 53; 51; 53 \} = 53$ $t_8^0 = t_7^0 + t_{78} = 53 + 10 = 63$ $t_8^1 = t_{10}^1 - t_{810} = 63 - 0 = 63$ | <p>Aktivnost L</p> $t_6^0 = t_4^0 + t_{46} = 10 + 10 = 20$ $t_6^1 = t_{12}^1 - t_{612} = 70 - 20 = 50$ $t_{12}^0 = \max \{ t_6^0 + t_{612}; t_{11}^0 + t_{1112} \} = \max \{ 20 + 20; 67 + 3 \} = \max \{ 40; 70 \} = 70$ $t_{12}^1 = t_{12}^0 = 70$ |

Gantogram aktivnosti sa najranijim počecima aktivnosti prikazan je na Slici 2. Crvenim linijama su prikazane aktivnosti sa kritičnog puta, a crnim one koje nisu kritične.



Slika 2. Gantogram sa najranijim počecima aktivnosti

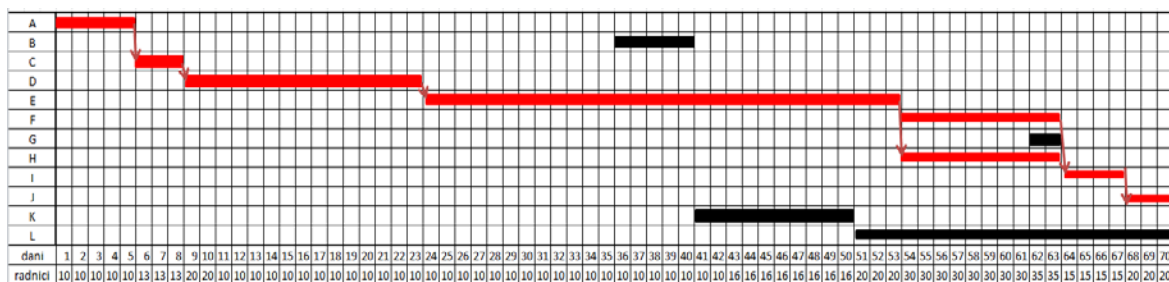
Histogram raspodele resursa sa najranijim počecima aktivnosti prikazan je na Slici 3.



Slika 3. Histogram raspodele resursa sa najranijim počecima aktivnosti

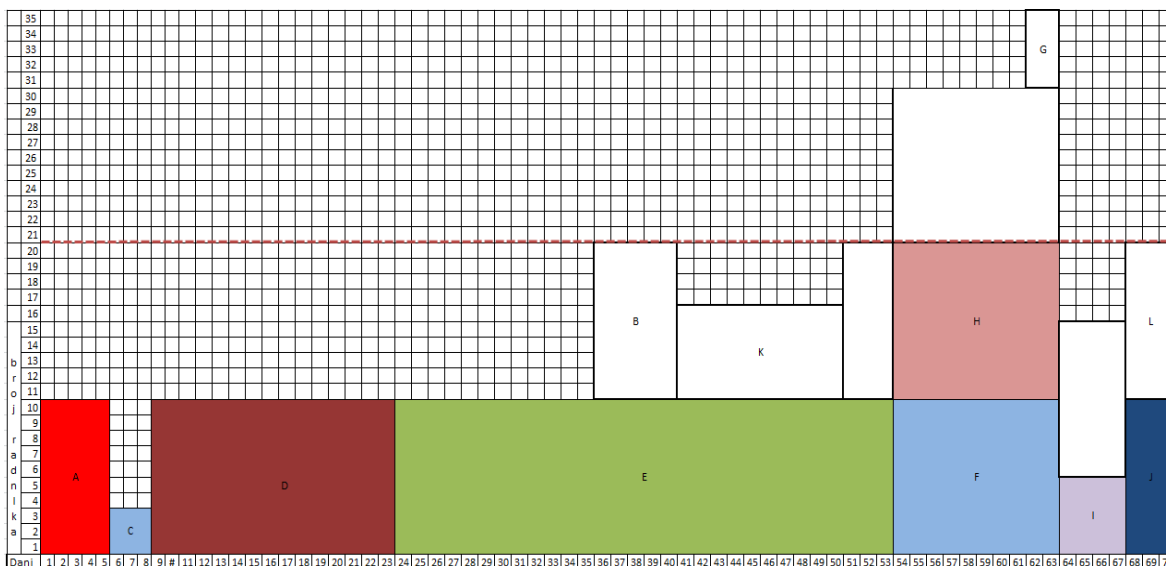
Isprekidanom linijom je obeleženo ograničenje u broju raspoloživih radnika za realizaciju zadatog projekta, pri čemu se vidi da ovim rasporedom nije moguće zadovoljiti uslov. Ograničen broj radnika je 20, a za ovakav raspored aktivnosti potrebno je 25 radnika. U danima 54 i 55 se ne raspoložuje dovoljnim brojem radnika, dok u periodu od prvog do osmog; od jedanaestog do dvadesetog; od četrdesetprvog do pedesetrećeg i od šezdesetčetvrtog do 70-og radnog dana resursi nisu u potpunosti iskorišćeni.

Sledeći korak je formiranje gantograma aktivnosti sa najkasnijim počecima aktivnosti koji je prikazan na Slici 4.



Slika 4. Gantogram sa najkasnijim počecima aktivnosti

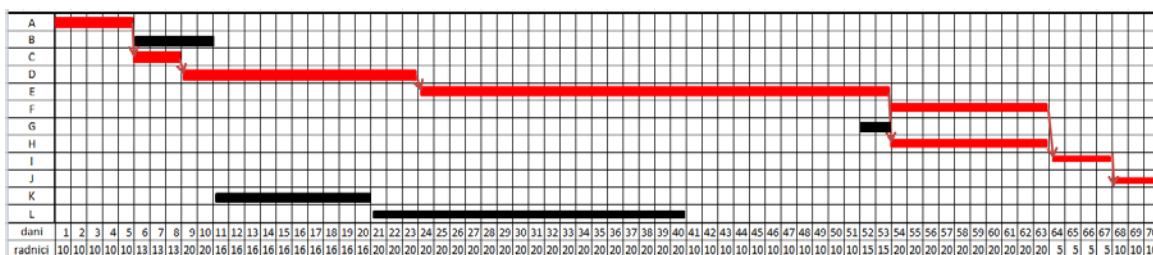
Histogramom raspodele radnika sa najkasnijim počecima aktivnosti ponovo se zaključuje da nije moguće realizovati projekat sa raspoloživim brojem radnika (Slika 5).



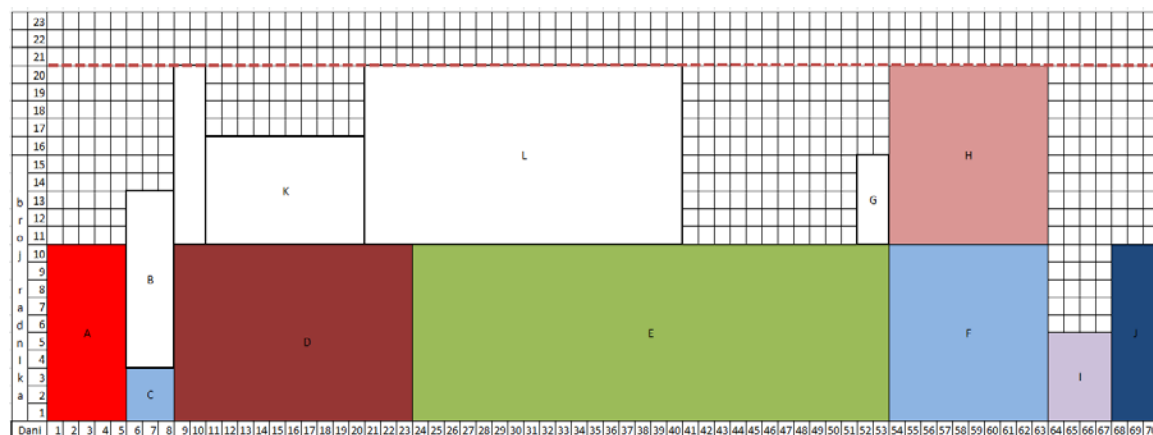
Slika 5. Histogram raspodele radnika sa najkasnijim počecima aktivnosti

Potreba za većim brojem radnika je pomerena ka kraju projekta i taj broj je samo povećan. Problem i dalje nije rešen jer je ovim rasporedom potrebno 35 radnika. Od prvog do 35-og dana nisu iskorišćeni svi resursi, kao i od četrdesetprvog do pedesetog i od šezdesetčetvrtog do šezdesetsedmog dana, dok je u periodu od pedesetčetvrtog do šezdesetrećeg dana potrebno više radnika nego što je na raspolaganju.

Građevinsko preduzeće ima mogućnost da heuristikom, metodom uravnoteženja aktivnosti, dobije optimalno rešenje, pomeranjem termina pojedinih aktivnosti. Uravnoteženi gantogram i heuristički uravnotežen histogram prikazani su na Slici 6 i na Slici 7.



Slika 6. Gantogram sa uravnoteženim počecima aktivnosti



Slika 7. Histogram raspodele radnika sa uravnoteženim počecima aktivnosti

U heurističkom rešenju pomera se aktivnost G (Nameštanje stolarije) pre početka aktivnosti F i H (Postavljanje krova i Infrastruktura u lokalu).

U ovom slučaju nije bilo moguće uskladiti zahteve projekta sa raspoloživim resursima bez optimizacije u smislu uravnoteženja.

4. DISKUSIJA REZULTATA

Izgradnja tržnog centra spada u obimnije građevinske projekte, što se može zaključiti i iz dobijenih rezultata o dužini trajanja projekta kao i o potrebnom broju radnika. Prema CPM dijagramu, za ovaj projekat, proračunom vremena unapred došlo se do zaključka da građevinsko preduzeće može ispuniti zadati rok od 90 dana. Potrebnim planiranjem, preduzeće je došlo do podatka da je projekat moguće završiti za 70 dana. Prilikom izgradnje tržnog centra postoje mnogo aktivnosti na kritičnom putu mrežnog dijagrama, odnosno onih aktivnosti koje su međusobno uslovljene. Aktivnosti kao što su priprema gradilišta, dovođenje infrastrukture na gradilište, postavljanje temelja, izgradnja zidova, postavljanje krova, molerski i parketarski radovi, uslovljavaju jedni druge tako da dok se prethodna aktivnost ne završi u potpunosti naredna ne može početi. Početnu aktivnost u projektu svakako predstavlja uređenje odnosno priprema gradilišta na kome će se izvoditi radovi, a zatim slede i ostale. Što se tiče aktivnosti samog uređenja lokala i okoline tržnog centra one predstavljaju aktivnosti koje nisu striktno uslovljene realizacijom ostalih, odnosno znači da one imaju veće vremenske rezerve tj. njihovo realizovanje se može odlagati u toku izvršenja projekta.

Preduzeće je na raspolaganju imalo samo 20 radnika homogene strukture koje je trebalo da rasporedi na sve aktivnosti izgradnje tržnog centra. Na osnovu histograma sa najranijim počecima aktivnosti realizacija projekta sa 20 radnika nije izgledala moguće. U pojedinim danima broj potrebnih radnika bio je 25, što je za 5 radnika više od raspoloživog broja radne snage. Dok u periodu od 38 dana resursi nisu bili u potpunosti iskorišćeni.

Projektovanjem gantograma i histograma, ali ovog puta sa najkasnijim počecima aktivnosti, ponovo se došlo do sličnog zaključka – preduzeće nije moglo da ispuni zadati uslov, da projekat završi sa 20 radnika. U ovom slučaju broj potrebnih radnika bio je 35, za 15 radnika više nego što preduzeće ima na raspolaganju. A ponovo u dužem periodu ta ista raspoloživa radna snaga ostaje neiskorišćena.

Metoda uravnoteženja u ovakvim slučajevima može dosta pomoći. Heuristika kao jedna od pomoćnih metoda omogućava primenu različitih pravila koji se baziraju na procesu ljudskog mišljenja, oslanjajući se na iskustvo i intuiciju rukovodioca. Kao opšti pojam heuristika može da se definiše kao tehnika koja pokušava da nađe neka dobra rešenja problema u okviru razumnog vremena, pri čemu se ne garantuje da će nađeno rešenje biti i optimalno rešenje problema. Cilj je da se za kratko vreme i relativno jednostavno pronade rešenje za koje može da se kaže da je dovoljno dobro, vrlo blisko optimalnom (Stanimirović et al., 2008). U ovom primeru građevinsko preduzeće imalo je mogućnost da heuristikom dobije približno optimalno, uravnoteženo rešenje, pomeranjem termina pojedinih aktivnosti, a samim tim, pomeranjem i broja potrebnih radnika, iz dana kada je bilo nedovoljno radnika na dane kada je su resursi bili neiskorišćeni. Ovom metodom preduzeće je uspelo da napravi plan kojim će ispuniti zadati uslov sa ograničenim brojem resursa (radne snage) tako da neće biti u obavezi da upošljava nove radnike i samim tim izbegava još veće troškove realizacije projekta.

5. ZAKLJUČAK

Današnji način poslovanja donosi mnogo promena i dinamičnosti u radu, pa kao rezultat povećanog konkurentnog okruženja obavezno je završiti projekte u predviđenom roku i sa

raspoloživim resursima. Efikasno upravljanje projektima je neophodno da bi se projekti završili na vreme, bez odlaganja i sa ispunjenjem svih uslova i pri tom se koriste tehnike za planiranje projekta da bi se zadovoljile takve potrebe (Mazlum & Guneri, 2015). Tehnika mrežnog planiranja kao skup metoda za planiranje, praćenje i kontrolu rada umnogome olakšavaju realizaciju projekta. Metode su zasnovane na algebri, teoriji grafika, statistici i informatici, i omogućavaju mnogo prednosti u planiranju. Tehnika mrežnog planiranja podrazumeva izradu mrežnog plana što dovodi do boljeg razumevanja poduhvata usled prethodne neophodne detaljne analize projekta, donosi vremenske i materijalne uštede, obezbeđuje kontrolu izvršenja, dozvoljava proračun vremenskih rezervi i omogućava da se kadrovi i resursi unapred rasporede. Jedna od tehnika mrežnog planiranja jeste metod kritičnog puta koja je pogodna za planiranje projekta kod kojih se vreme pojedinih aktivnosti može dovoljno precizno odrediti. Kao takva, CPM metoda, i u ovom primeru, pomaže ugovaraču koji obavlja nadzor nad realizacijom projekta da obavi svoje menadžerske funkcije: planiranje, zakazivanje i kontrolisanje. Veoma je značajna u rešavanju organizacionih problema, jer pored analize strukture aktivnosti omogućava i analizu vremena kao i konstantno vršenje izmena tokom odvijanja projekta.

Prilikom izgradnje tržnog centra neophodno je predvideti potrebe za ljudskim resursima. Taj proces se nikako ne sme zanemariti, jer je izuzetno odgovorna, kreativna i zahtevna aktivnost koja podrazumeva predviđanje budućih promena koje mogu uticati na poslovanje (Kulić & Vasić, 2007). U ovom primeru, pravilno planiranje i raspoređivanje radne snage ogleda se i u izbegavanju nepotrebnih dodatnih troškova, time što je društvo prilagodilo raspoložive resurse postavljenim uslovima.

Uz pomoć ove metode tehnike mrežnog planiranja preduzeće je uspelo da detaljno isplanira i predvidi aktivnosti, da napravi šemu realizacije projekta, ispunivši sve uslove što će olakšati realizovanje planiranog projekta.

MANPOWER WORKFORCE ASSIGNING AND PLANNING ON A SHOPPING MALL CONSTRUCTION

Nina Mladenović, Tamara Janković

*University of Belgrade, Technical Faculty in Bor, Engineering Management Department
Bor, Serbia*

Abstract

In this work we are planning and assigning manpower on a hypothetical example of a shopping mall construction. For this purpose we have used Critical Path Method (CPM). Project assignment needs to be realized within the given deadline (90 days), with available homogeneous workforce (20 workers). Based on a resource analysis, planning and assigning of a workforce with beginnings which are earliest/at the last, we have come to conclusion that the conditions could not be fulfilled. With further workforce planning and assigning, and using the heuristic method, desired optimization was accomplished.

Keywords: *Technical network planning, CPM, Workforce assigning, Gantt, Histogram*

LITERATURA / REFFERENCES

- Brandenberger, J., Konrad, R. (1965). Tehnika mrežnog planiranja, Tehnička knjiga Zagreb, Cirihi.
- East, W.E. (2015). Critical Path Method (CPM) Tutor for Contruction Planning and Scheduling, Kindle Edition.
- Fondahl, J.W. (1962). A non-computer approach to the critical path method for the construction industry, Stanford University.
- Jovanović, A. (2005). Metode operacionih istraživanja, Tehnički fakultet u Boru, Bor.
- Jovanović, I. (2018). Operaciona istraživanja 2 - Autorizovana predavanja, Tehnički fakultet u Boru. Bor.
- Kulić, Ž., Vasić, M. (2007). Menadžment ljudskih resursa, Banja Luka.
- Mazlum, M., Güneri, A.F. (2015). CPM, PERT and project management with fuzzy logic technique and implementation on a business, Procedia-Social and Behavioral Sciences, 210, 348-357.
- Purkayastha, J.D. (2011). A Basic Guide to Activity-On-Node and Critical Path Method.
- Stanimirović, P., Milovanović, G., Jovanović, I. (2008). Primene linearnog i celobrojnog programiranja. Prirodno – matematički fakultet u Nišu, Niš.
- Tatterson, J.W., Wood, D.F. (1974). PERT, CPM and the Export Process, Omega, 2(3), 421-426.