

Tehno-Ekonomska Analiza & UPRAVLJANJE PROJEKTIMA

(priručnik za izradu seminarskog rada sa izvodima iz teorije) #1

Jedan od najizazovnijih zadataka (poslova) koji se postavlja pred menadžera je vođenje (upravljanje) projekata velikih razmera koji zahtevaju koordinaciju brojnih aktivnosti u toku njihove realizacije. Prilikom planiranja koordinacije postojećih aktivnosti, veliki broj detalja je potrebno uzeti u obzir kako pri formiranju izvodljivog redosleda aktivnosti, tako i pri kontroli napretka izvršenja projekta.

Radni primer

Preduzeće Construction Co. je pobedilo na tenderu vrednom 5,4 miliona NJ za izgradnju nove fabrike. Investitor očekuje da fabrika bude izgrađena odnosno spremna za rad u roku od godinu dana. U skladu sa tim ugovor sadrži sledeće klauzule vezane za bonuse odnosno penale:

- Ako se fabrika izgradi i preda investitoru u roku od 40 nedelja preduzeće Construction Co. će zaraditi bonus u iznosu od 150.000 NJ.
- Ukoliko se fabrika ne završi u roku od 47 nedelja preduzeće Construction Co. je u obavezi da investitoru plati penale u iznosu od 300.000 NJ zbog kašnjenja radova.

Preduzeće Construction Co. je za rukovodioca projekta odredilo svog najboljeg građevinskog inženjera (menadžera), da bi osigurali završetak projekata izgradnje fabrike u predviđenom roku pa ako je moguće i nekoliko nedelja ranije. Pošto je zajednička ocena rukovodstva preduzeća Construction Co. i rukovodioca projekta da je malo verovatno da se projekat izgradnje fabrike može završiti u roku of 40 nedelja bez dodatnih troškova, odlučeno je da se inicijalna planiranja usmere na ostvarivanje zadatog roka od 47 nedelja.

Rukovodilac projekta treba da uskladi veliki broj različitih građevinskih i drugih aktivnosti koje izvode različite ekipe izvođača, u toku izgradnje fabrike.

U tabeli P1-1 prikazane su aktivnosti koje treba izvršiti pri izgradnji fabrike. U trećoj koloni tabele date su važne dodatne informacije vezane za raspored i koordinaciju izvođačkih ekipa, dok su u četvrtoj koloni data procenjena vremena trajanja aktivnosti.

U narednom tekstu biće prikazane tehnike i načini određivanja podataka koji se nalaze u tabeli P1-1.

Tabela P1-1. Lista aktivnosti za Construction Co. projekat.

Aktivnost	Opis aktivnosti	Neposredno prethodna aktivnost	Procenjeno trajanje
A	Zemljani iskop	÷	2 nedelje
B	Polaganje temelja	A	4 nedelje
C	Grubi građevinski radovi (zidanje)	B	10 nedelja
D	Postavljanje krova	C	6 nedelja
E	Postavljanje spoljašnjih vodovodnih cevi	C	4 nedelje
F	Postavljanje unutrašnjih vodovodnih cevi	E	5 nedelja
G	Postavljanje (spoljašnje) fasade	D	7 nedelja
H	Bojenje spoljašnje fasade	E, G	9 nedelja
I	Postavljanje električnih instalacija	C	7 nedelja
J	Postavljanje drvenih oplata na zidove	F, I	8 nedelja
K	Postavljanje podova	J	4 nedelje
L	Krečenje (unutrašnje)	J	5 nedelja
M	Postavljanje spoljašnjih uređaja	H	2 nedelje
N	Postavljanje unutrašnjih uređaja	K, L	6 nedelja

Rasčlanjivanje izlaza projekta – definisanje aktivnosti, redosleda i međuzavisnosti aktivnosti i vremena trajanja aktivnosti

Nakon uspešnog prikupljanja zahteva i definisanja obima projekta (rezultata tj. izlaza projekta), rukovodilac (menadžer) projekta i projektni tim, treba da pristupe procesu rasčlanjivanja projektnih rezultata na manje i lakše upravljive komponente tj. izradi WBS (Work Breakdown Structure) dijagrama projekta.

Definisanje aktivnosti. Kreiranje WBS-a (Work Breakdown Structure). Kreiranje WBS-a je proces razlaganja izlaznih veličina projekta na manje delove lakše za upravljanje. WBS tehnika predstavlja hijerarhijsku dekompoziciju celokupnog posla (rada) koji treba da izvrši projektni tim, radi ispunjavanja ciljeva projekta i ostvarivanja zahtevanih izlaza, gde idući ka nižim nivoima WBS-a raste detaljnost opisa projektnog posla. *1

Najrasprostranjenija tehnika za izradu WBS-a je tehnika **dekompozicije**. Dekompozicija je podela izlaznih veličina projekta na manje delove kojima se lakše upravlja. Dekompozicija se izvršava u koracima, gde svaki korak predstavlja dekompoziciju izlaza na sve manje i manje delove, sve do onog nivoa koji omogućava jednostavno planiranje, izvršavanje, praćenje i kontrolu projektnih izlaza. Osnovna korist od dekompozicije projektnih izlaza predstavlja mogućnost pouzdanije procene troškova, vremena i resursa, potrebnih za ostvarivanje svakog cilja projekta pojedinačno. Takođe, dekompozicija do odgovarajućeg nivoa

omogućava lakše praćenje i kontrolu radnog učinka, kao i efikasnije dodeljivanje odgovornosti. **2

Dekompozicija celokupnog projektnog posla najčešće obuhvata sledeće:

- Identifikaciju svih izlaza projekta (proizvod, usluga ili drugi rezultat) i posla koji se na njih odnosi,
- Organizaciju posla na projektu i hijerarhijsko struktuiranje WBS-a,
- Dekompozicija viših nivoa WBS-a na niže nivoe sa većim stepenom detaljnosti,
- Dodeljivanje identifikacionih brojeva (kodova) svim delovima WBS-a, i
- Proveru da li je stepen dekompozicije posla poreban i dovoljan, tj. da li je svaka komponenta potpuna i jasna.

Ako se proces izrade WBS-a ne izvede pravilno, može doći do mnogobrojnih projektnih izmena, odlaganja aktivnosti, povećanja troškova, jednom rečju do ugrožavanja konačnog uspeha projekta. U praksi postoji nekoliko načina da se definiše WBS struktura projekta.

Struktura WBS-a se može oblikovati na osnovu: *3

- **Faza životnog ciklusa projekta** – veliki broj projekata se organizuje na osnovu njihovih faza. Npr. faze građevinskog projekta bi bile iniciranje, planiranje, projektovanje, izgradnja, itd. Svaka od ovih faza bi predstavljala prvi nivo dekompozicije.
- **Ključnih (glavnih) izlaznih veličina projekata** – kod ove strukture, ključni izlazi predstavljaju prvi nivo dekompozicije. Ako bi projekat bio otvaranje nove prodavnice, ključni izlazi bi bili pronalaženje lokacije, izgradnja objekta, unutrašnje opremanje objekta, proizvodni asortiman, itd.
- **Podprojekata koje realizuje projektni tim ili organizacija izvan projektnog tima** – jedan od načina organizacije WBS-a predstavljaju podprojekti. U slučaju izgradnje građevinskog projekta moguće je izdvojiti nekoliko zasebnih podprojekata koji će predstavljati prvi nivo dekompozicije: pripremanje zemljišta, projektovanje, izgradnja, instalacije, itd. Za svaki od ovih podprojekata izrađuje se poseban WBS za šta su odgovorni rukovodioci tih podprojekata. Često se dešava da se određen broj podprojekata poverava podizvođačima, koji se nalaze van matične organizacije. U tom slučaju podizvođač je odgovoran za izradu njegovog dela WBS-a.
- **Kombinovani pristup** – ovaj pristup kombinuje neke od prethodnih načina organizacije WBS-a. Moguće je kombinovati faze projekta sa ključnim izlazima u prvom nivou dekompozicije, kao i podprojekte sa ključnim izlazima. Kombinacije su moguće i na nižim nivoima dekompozicije.

Svaka WBS struktura polazi od kompletnog projekta (nulti nivo), a broj nivoa dekompozicije zavisi od izbora menadžera projekta i članova njegovog tima. Prema standardu PMBOK prvi nivo WBS-a predstavlja prvi nivo dekompozicije

(projektni izlazi, faze, podprojekti, itd,) a svaki sledeći nivo daje detaljniji prikaz tih projektnih izlaza i zahteva. Najniži nivoi WBS-a nazivaju se „nivoi grupa projektnih poslova“ ili „elementi rada“ koji se dalje razdvajaju na manje komponente tj. „aktivnosti“ ili „zadatke (task)“. Cilj izrade WBS-a jeste da se projekat rastavi do nivoa grupa, kako bi se lako i precizno procenilo vreme i troškovi neophodni za njihovo izvršenje. *4

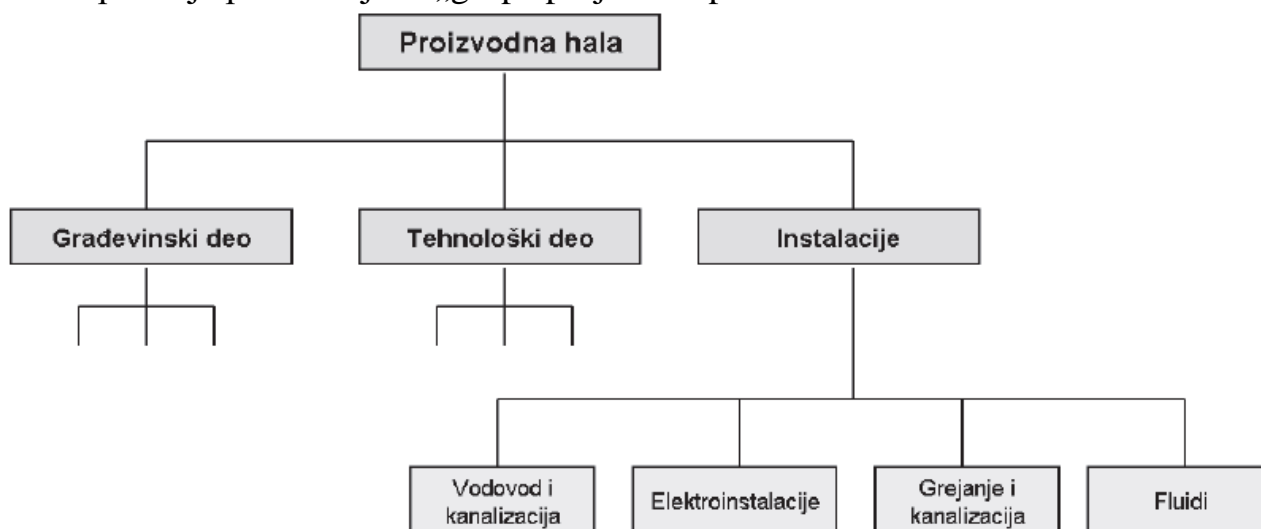
Primer: Izgradnja proizvodne hale **5

Nulti nivo WBS-a bio bi naziv projekta. Sledeći nivo WBS-a bi bio prvi nivo dekompozicije, odnosno podprojekti koji obuhvataju građevinske, tehnološke i radove na instalacijama. U primeru su pomenuti samo neki od podprojekata u cilju ilustracije izrade WBS-a. Na slici P1-1 prikazan je prvi nivo dekompozicije WBS-a.



Slika P1-1. Prvi nivo dekompozicije.

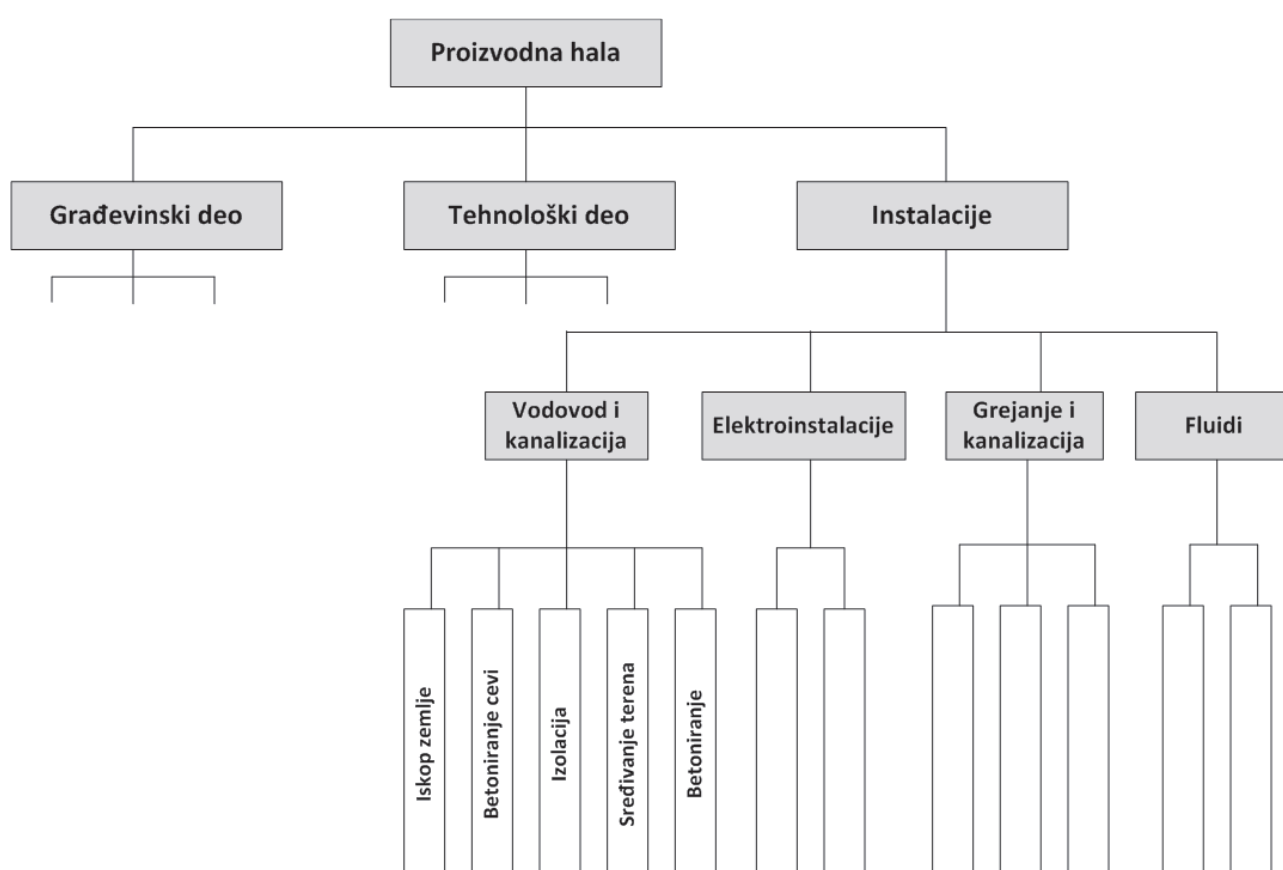
Dekompozicijom prvog nivoa, dobijaju se komponente koje predstavljaju drugi nivo dekompozicije projekta. Drugi nivo dekompozicije predstavljaju izlazi odnosno zahtevi koji moraju da se ispune kako bi se ostvarili rezultati podprojekta. Na slici P1-2 prikazan je prvi i drugi nivo dekompozicije, gde su na drugom nivou dekompozicije predstavljene „grupe projektnih poslova“.



Slika P1-2. Prvi i drugi nivo dekompozicije.

Cilj dekompozicije je da se projekat raščlani na poslove koje je moguće dodeliti pojedincima ili grupama ljudi koji će biti odgovorni za njihovo izvršenje. Stoga se grupe projektnih poslova obično dalje razdvajaju na manje komponente nazvane aktivnosti. Aktivnosti predstavljaju elementaran rad potreban za izvršenje poslova na projektu sa očekivanim trajanjima, troškovima i potrebnim resursima. Aktivnosti daju osnovu za procenu, raspored, izvršenje i kontrolu rada na projektu.

Na slici P1-3, prikazana je dekompozicija projekta do trećeg nivoa, koji definiše sve zadatke, odnosno aktivnosti koje treba izvršiti kako bi se projekat uspešno realizovao.



Slika P1-3. Prvi, drugi i treći nivo dekompozicije.

Kao što je rečeno, svrha izrade WBS-a je bliže određivanje i usitanjavanje posla na projektu, što treba da omogući lakše planiranje, upravljanje i kontrolu. Ali, takođe treba obratiti pažnju na stepen detaljnosti do koga se ide. Dekompozicija projekta do najsitnijih detalja može dovesti do neefikasnosti i poteškoća pri koordinaciji izvršenja kompletnog posla.

Veliki projekti se uglavnom sastoje od niza manjih podprojekata, koji se ne realizuju istovremeno. To znači da određen broj podprojekata počinje nakon nekog određenog vremena. Često se dešava da veliki broj izlaza i projektnih zahteva bude nepoznat sve do trenutka početka podprojekta, tako da se struktuiranje odlaže sve dok njegov obim ne bude u potpunosti poznat. U tom slučaju, u osnovni WBS

dijagram se unose samo poznati podaci, a zatim nakon definisanja i ostalog dela projektnog posla, unose se oni koji nedostaju.

Svakoj komponenti, odnosno elementu WBS-a, treba dodeliti jedinstveni identifikacioni broj, koji treba da omogući lakše praćenje vremena, troškova i resursa vezanih za tu komponentu. Brojevi se uglavnom dodeljuju na osnovu već uspostavljenih organizacionih šifrarnika. Npr. šifrarnik za deo jedne grane WBS-a strukture, mogao bi da izgleda ovako: 3 Instalacije, 3-1 Vodovod i kanalizacija, 3-1-1 Iskop zemlje, 3-1-2 Postavljanje cevi, itd.

Definisanje redosleda i međuzavisnosti aktivnosti. Nakon definisanja projektnih aktivnosti, naredni korak je definisanje redosleda izvršenja i međuzavisnosti aktivnosti. Utvrđivanje redosleda aktivnosti takođe obuhvata razmatranje razloga za moguće zavisnosti među aktivnostima i različite tipove zavisnosti.

Postoje četiri tipa međuzavisnosti između aktivnosti i to: *6

1. **Kraj-početak.** Prethodna aktivnost mora da se završi pre nego što počne sledeća. Ovo je najčešći tip međuzavisnosti. Za svaku datu aktivnost, njene neposredno prethodne aktivnosti (date u trećoj koloni tabele P1-1) su one aktivnosti koje moraju da budu završene pre početka izvršavanja date aktivnosti. Slično, data aktivnost neposredno sledi svaku svoju neposredno prethodnu aktivnost. Kada datoj aktivnosti neposredno prethodi više od jedne aktivnosti, tada sve neposredno prethodne aktivnosti moraju biti završene pre početka date aktivnosti. *7

Npr. značenje prva tri polja u trećoj koloni tabele P1-1 je sledeće:

- Zemljani iskop ne treba da čeka ni na jednu drugu aktivnost.
- Zemljani iskop mora biti završen pre nego što se počne sa polaganjem temelja.
- Temelj mora biti u potpunosti postavljen pre nego što se počne sa grubim građevinskim radovima, itd.

2. **Početak-početak.** Sledeća aktivnost ne može početi pre početka prethodne aktivnosti,

3. **Kraj-kraj.** Prethodna aktivnost se mora završiti pre završetka sledeće aktivnosti. (Npr. kontrola kvaliteta se ne može završiti pre završetka proizvodnje, iako se ove dve aktivnosti mogu paralelno odvijati),

4. **Početak-kraj.** Sledeća aktivnost mora početi pre nego što se prethodna završi. Ovakav odnos se retko koristi, ali je adekvatan za pojedine situacije (npr. odlazak noćnog čuvara kući zavisi od dolaska čuvara u dnevnoj smeni).

Procena vremena trajanja aktivnosti. Procena vremena trajanja aktivnosti podrazumeva određivanje broja radnih sati potrebnih za izvršenje svake aktivnosti uz korišćenje planiranih (procenjenih) resursa. *8

Trajanje ne treba mešati sa potrebnim radom. Trajanje procenjeno na jedan dan može značiti osam radnih sati ili osamdeset radnih sati. Trajanje se odnosi na

procenu vremena, a ne na procenu rada koji treba izvršiti. Ljudi koji će obavljati posao moraju imati značajnu ulogu u proceni trajanja, imajući u vidu da će se njihov učinak ocenjivati kroz ispunjavanje ove procene. To znači da rukovodilac projekta treba da konsultuje izvođače pojedinih grupa projektnih poslova radi određivanja vremena trajanja aktivnosti.

Procena vremena trajanja aktivnosti se može vršiti na sledeće načine: *9

- *Procena stručnjaka*. Procena stručnjaka, na osnovu njihovih iskustava iz prethodnih sličnih projekata, može da pruži informacije o proceni trajanja ili maksimalnom trajanju aktivnosti.
- *Analogna procena*. Analogna procena koristi parametre kao što su trajanje, budžet, veličina i kompleksnost iz prethodnih sličnih projekata, kao osnovu za procenu istih parametara na budućim projektima. Analogna procena trajanja aktivnosti se koristi kada postoji ograničen broj detaljnih informacija o projektu kao što je slučaj u početnoj fazi projekta. Ona je uglavnom jeftina i kraće traje od ostalih tehnika. Može da se primeni na aktivnosti na delu ili celom projektu.
- *Parametarska procena*. Parametarska procena koristi statističku povezanost između iskustvenih podataka i ostalih promenljivih za proračun trajanja aktivnosti, troškova, budžeta. Koriste se normativi, pravilnici u odgovarajućim oblastima primene realizacije projekta.
- *Proračun tri tačke (Three-Point Estimates)*. Tačnost procene trajanja aktivnosti može da se poveća uzimajući u obzir neizvesnost trajanja. Ovaj koncept dolazi od PERT (Program Evaluation and Review Technique) metode.

U praksi, vreme trajanja svake aktivnosti je *slučajna promenljiva* raspodeljena po odgovarajućoj raspodeli. Originalna verzija metode PERT, neizvesnost u vremenu trajanja aktivnosti uzima u obzir preko tri različite procene vremena trajanja aktivnosti kako bi se odredila raspodela verovatnoća trajanja aktivnosti.

Tri različita vremena trajanja aktivnosti, koja se trebaju proceniti su: *10

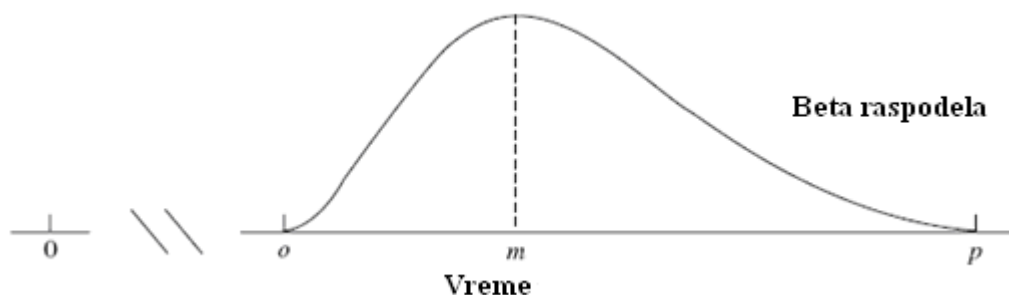
Najverovatnije vreme (m) = procena najverovatnijeg vremena trajanja aktivnosti,

Optimističko vreme (o) = procena vremena trajanja aktivnosti pod najpovoljnijim uslovima za izvršenje,

Pesimističko vreme (p) = procena vremena trajanja aktivnosti pod najnepovoljnijim uslovima za izvršenje.

Kao polazna pretpostavka uvodi se to da se trajanje svih aktivnosti ponaša po zakonu Beta raspodele. Položaj procenjenih vremena trajanja aktivnosti na dijagramu gustine Beta raspodele je prikazano na slici P1-4. (videti Dodatak 1)

*11



Slika P1-4. Pretpostavljena raspodela vremena trajanja aktivnosti (Beta raspodela) po metodi PERT, gde je: m = najverovatnije, o = optimističko, i p = pesimističko vreme trajanja aktivnosti.

Osnovni razlog izbora Beta raspodele, za raspodelu vremena trajanja aktivnosti, se sastoji u tome što se sve moguće vrednosti trajanja aktivnosti nalaze u intervalu $[o, p]$. Proceni najverovatnijeg vremena trajanja aktivnosti (m) odgovara slučajna promenljiva raspodeljena po Beta raspodeli koja ima najveću verovatnoću realizacije. Za određivanje srednjeg vremena trajanja aktivnosti (μ) i disperzije (σ^2) (srednjeg kvadratnog odstupanja) vremena trajanja aktivnosti takođe se koristi Beta raspodela na način opisan u narednom tekstu (videti Dodatak I). Za većinu raspodela verovatnoća, pa i za Beta raspodelu, važi da se praktično sve realizacije slučajne promenljive nalaze unutar intervala $(\mu - 3 \cdot \sigma)$ i $(\mu + 3 \cdot \sigma)$. (Npr. za Normalnu raspodelu, 99.73 % realizacija slučajne promenljive se nalazi unutar tog intervala) Prema tome, raspon između najmanjeg i najvećeg vremena trajanja aktivnosti grubo iznosi $6 \cdot \sigma$. Otud aproksimativna formula za izračunavanje σ^2 je:

$$\sigma^2 = \left(\frac{p - o}{6} \right)^2 \cdot *12 \quad (1)$$

Na sličan način se dobija i aproksimativna formula za μ :

$$\mu = \frac{o + 4 \cdot m + p}{6} \cdot *12 \quad (2)$$

Intuitivno se može zaključiti da će očekivano vreme trajanja aktivnosti μ biti u blizini m ili se poklapati sa m ako su vrednosti za o i p simetrične u odnosu na m .

„Radni primer“ - nastavak

Procenjena vremena trajanja aktivnosti za radni primer (dobijena npr. „prognozom stručnjaka“) prikazana su u poslednjoj (desnoj) koloni tabele P1-1.

Prostim sabiranjem vremena trajanja svih aktivnosti dobija se zbir od 79 nedelja, što uveliko prelazi krajnji rok završetka projekta. Srećom, neke od aktivnosti mogu da se izvode paralelno što značajno redukuje vreme potrebno za završetak projekta.

Imajući u vidu sve informacije date u tabeli P1-1, rukovodilac projekta sa svojim timom, treba da da odgovore na sledeća pitanja:

1. Na koji način grafički prikazati aktivnosti projekta da bi se što bolje sagledao njihov redosled i međuzavisnost.
2. Koje je ukupno vreme potrebno za završetak projekta, ako se ne dogode neplanirana kašnjenja – **termin plan projekta**.
3. Kada pojedine aktivnosti treba da počnu i da se završe (najkasnije) da bi se projekat završio u planiranom roku.
4. Kada pojedine aktivnosti mogu da počnu i da se završe (najranije), ako se ne dogode neplanirana kašnjenja.
5. Koje aktivnosti predstavljaju uska grla, kod kojih se moraju izbeći bilo koja kašnjenja u izvršenju da bi se izbeglo kašnjenje završetka projekta.
6. Za ostale aktivnosti, koliko maksimalno kašnjenje se može tolerisati bez kašnjenja završetka projekta.
7. Uvođenjem neizvesnosti u procenu vremena trajanja aktivnosti, kolika je verovatnoća završetka projekta na vreme (do krajnjeg roka).
8. Ako se ulažu dodatna sredstva u cilju ubrzanja izvršenja projekta, koji je najjeftiniji način da se dostigne ciljano vreme završetka projekta od 40 nedelja.
9. Na koji način se tekući troškovi mogu pratiti u cilju održavanja troškova projekta u okviru budžeta.

Neophodnu pomoć pri traženju odgovora na ova postavljena pitanja, od značaja za dobro izvršenje projekta, daje tehnika (metod) PERT/CPM.

Grafičko prikazivanje aktivnosti projekta

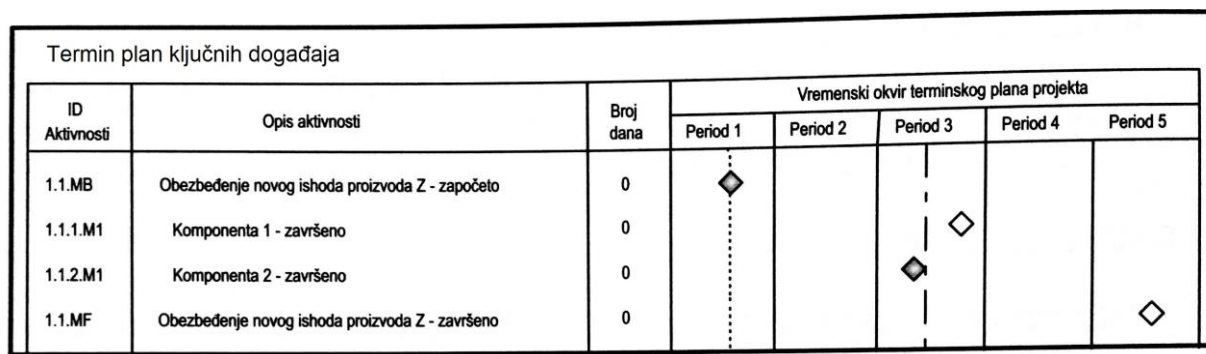
Kao što se može videti iz tabele P1-1, tri vrste informacija su potrebne da bi se opisao projekat. *13

1. Informacije o aktivnostima tj. raščlanjivanje projekta na pojedinačne aktivnosti (sa željenim nivoom detaljnosti).
2. Međuzavisnost aktivnosti tj. identifikacija neposredno prethodnih aktivnosti za svaku od aktivnosti.
3. Informacija o vremenu trajanja aktivnosti tj. procena vrednosti trajanja svake od aktivnosti.

Kao pomoć pri analizi i sagledavanju potrebnih informacija za opisivanje i upravljanje projektima kao i vizuelni prikaz redosleda i međuzavisnosti aktivnosti koriste se različiti grafički prikazi i to: *14

Dijagram ključnih događaja. Ovaj dijagram, sličan Gantogram-u, određuje planirani početak ili završetak ključnih događaja. Ključni događaji mogu biti veoma bitan segment termin planova, naročito kod velikih projekata. Kreiranje ključnih događaja služi za naglašavanje značajnih događaja ili dostignuća na

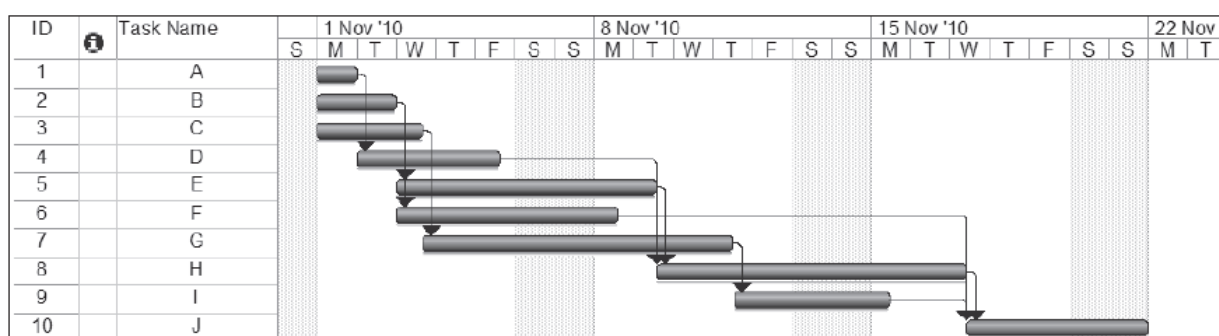
projektima. Ključni događaji se najčešće kreiraju unosom aktivnosti sa trajanjem jednakim nuli. U dijagramu ključni događaji se predstavljaju simbolom romba. (slika P1-5)



Slika P1-5. Dijagram ključnih događaja.

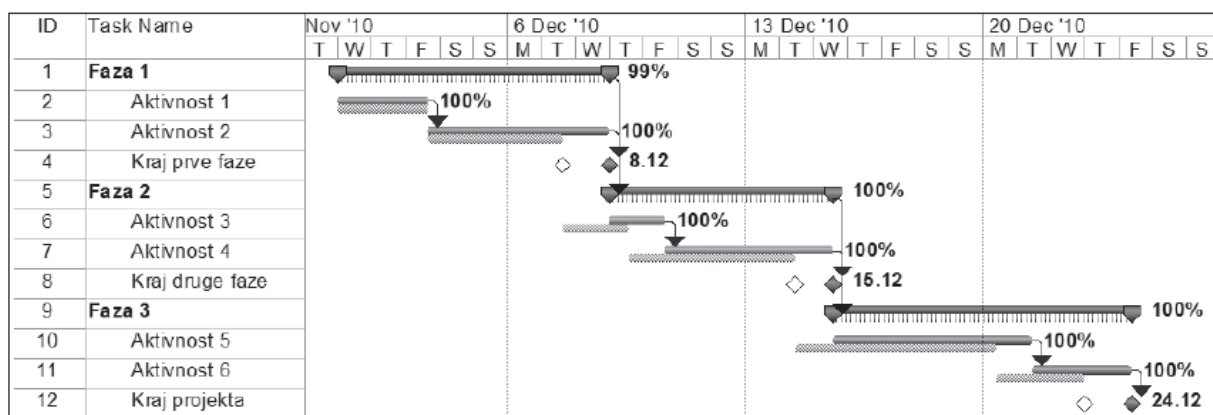
Gantogram. U gantogramu (ponekad se naziva i dijagram sa stubićima) aktivnosti su predstavljene preko horizontalnih „stubića“. Pored toga oni prikazuju planirani početak i kraj kao i očekivano trajanje aktivnosti. Ova vrsta dijagrama je dobila naziv po američkom inženjeru i naučniku Henri Gantu, koji ga je uveo za praćenje proizvodnje 1917. godine. (slika P1-6)

Izrada gantograma je jednostavna. Potrebno je da se formira jedan dijagram ili koordinatni sistem, gde se na horizontalnoj osi nalazi vreme u određenim vremenskim jedinicama (minut, sat, dan, itd.), dok se na vertikalnoj osi nalaze aktivnosti čije se izvođenje planira. Planirane aktivnosti se unose u dijagram prema redosledu izvođenja, a shodno svom vremenskom trajanju. Aktivnosti na gantogramu treba da se podudaraju sa aktivnostima u okviru WBS, a takođe i sa listom aktivnosti i ključnim događajima.



Slika P1-6. Gantogram projekta.

Za procenu napretka projekta i prikazivanje stvarnog stanja na projektu može se koristiti posebna forma gantograma. Slika P1-7 prikazuje tzv. *Gantogram za praćenje* koji poredi planirane i stvarne datume realizacije pojedinih aktivnosti. U gantogramu za praćenje svaka aktivnost se prikazuje preko dva horizontalna stubića. Donji horizontalni stubić predstavlja planirano trajanje aktivnosti. Gornji stubić predstavlja stvarno trajanje aktivnosti.



Slika P1-7. Gantogram za praćenje napretka projekta.

Ako su dva stubića jednake dužine i počinju i završavaju se istog datuma, stvarni učinak je jednak planiranom za datu aktivnost. Ako stubići ne počinju i ne završavaju se istog datuma, stvarno izvođenje odstupa od planiranog. Ako je gornji horizontalni stubić duži od donjeg, aktivnost je trajala duže nego što je bilo planirano. Ako je gornji horizontalni stubić kraći od donjeg, aktivnost je trajala kraće nego što je planirano. Šrafirani crni stubići prikazuju sumarne aktivnosti (faze – grupe poslova) i predstavljaju stvarno trajanje faza.

Beli romb na gantogramu za praćenje označava *ključni događaj*. Pomeran ključni događaj označava da je ključna aktivnost završena kasnije nego što je planirano. Procenti sa desne strane stubića prikazuju procenat posla koji je obavljen na konkretnoj aktivnosti.

Gantogram za praćenje se zasniva na procentu obavljenog posla po aktivnostima projekta ili konkretnim datumima početka i završetka i on menadžeru projekta omogućava da prati napredak radova po pojedinačnim aktivnostima i na celokupnom projektu.

Mrežni dijagram aktivnosti. Mrežni prikaz redosleda i međuzavisnosti aktivnosti na projektu naziva se **mrežni dijagram projekta**. *15

Mrežni dijagram projekta se sastoji od određenog broja *čvorišta* (obično prikazanih pomoću malih krugova ili pravougaonika) i odgovarajućeg broja *lukova* (obično prikazanih pomoću strelica) koje povezuju čvorišta. *16

Dve različite vrste mrežnih dijagrama omogućuju potreban prikaz projekta. *17

Prva vrsta je tzv. mrežni dijagram *orijentisan lukovima* (**activity-on-arc –AOA**), gde je svaka aktivnost prikazana lukom. U ovom slučaju čvorišta predstavljaju događaje i koriste se da razdvoje posmatranu aktivnost od njenih neposredno prethodnih aktivnosti. Na ovaj način redosled lukova prikazuje međuzavisnost između pojedinih aktivnosti. *18

Druga vrsta je tzv. mrežni dijagram *orijentisan čvorištima* (**activity-on-node – AON**) gde je svaka aktivnost prikazana čvorištem. Lukovi se u ovom slučaju koriste samo za prikazivanje međuzavisnosti aktivnosti, tj. u čvorište svake aktivnosti koja ima neposredno prethodne aktivnosti ulaze lukovi iz svake neposredno prethodne aktivnosti. *19

Originalne verzije PERT i CPM su, u početku, koristile mrežne dijagrame orijentisane lukovima. Međutim, mrežni dijagrami orijentisani čvorištima imaju neke značajne prednosti u odnosu na mrežne dijagrame orijentisane lukovima, pri pružanju iste vrste informacija, kao što su: *20

1. Mrežni dijagrami orijentisani čvorištima se daleko lakše konstruišu nego mrežni dijagrami orijentisani lukovima.
2. Mrežni dijagrami orijentisani čvorištima su lakši za razumevanje za neiskusne korisnike (uključujući mnoge menadžere) od mrežnih dijagrama orijentisanih lukovima.
3. Mrežne dijagrame orijentisane čvorištima je lakše menjati (ispravljati) u slučaju promena u projektu nego mrežne dijagrame orijentisane lukovima.

Iz ovih razloga, mrežni dijagrami orijentisani čvorištima su postali veoma popularni u praksi kod iskusnih korisnika koji se bave upravljanjem projektima. U narednom tekstu biće razmatrani samo mrežni dijagrami orijentisani čvorištima.

„Radni primer“ - nastavak

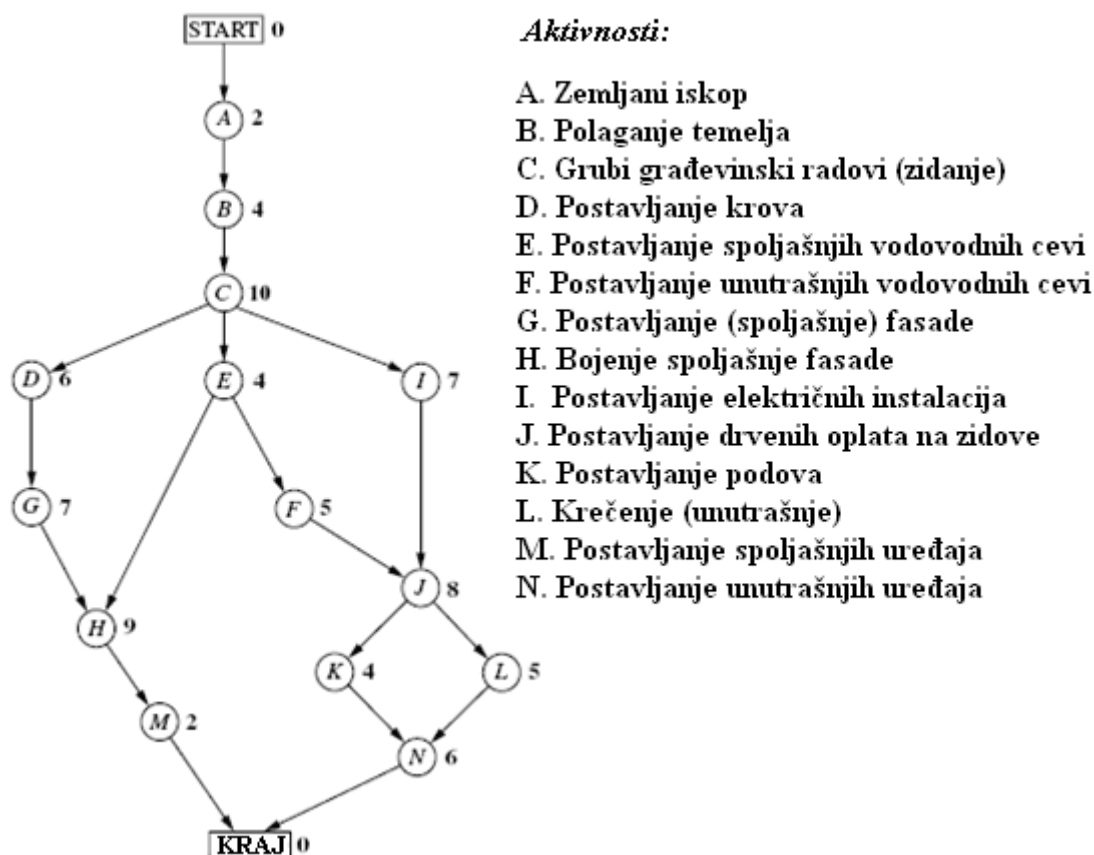
Rukovodilac projekta sa svojim timom, kao odgovor na pitanje:

1. Na koji način grafički prikazati aktivnosti projekta da bi se što bolje sagledao njihov redosled i međuzavisnost.
- se najčešće odlučuju za grafički prikazati aktivnosti projekta pomoću mrežnog dijagrama.

Slika P1-8 prikazuje mrežni dijagram za projekat preduzeća Construction Co. U skladu sa trećom kolonom u tabeli P1-1, na slici P1-8 prikazani su lukovi koji vode u svaku aktivnost (čvorište) iz svake od neposredno prethodnih aktivnosti. Pošto aktivnost A nema neposredno prethodnu aktivnost, uvodi se luk koji spaja početno čvorište (START) i datu aktivnost. Slično, pošto aktivnosti M i N nemaju aktivnosti koje neposredno slede iza njih, uvode se lukovi koji iz tih aktivnosti vode u završno čvorište (KRAJ). Prema tome, mrežni dijagram na pregledan način prikazuje redosled i međuzavisnosti između aktivnosti (uključujući *start* i *kraj* projekta). Na osnovu poslednje (desne) kolone u tabeli P1-1, broj sa desne strane svake aktivnosti (čvorišta) predstavlja procenjeno vreme trajanja (u nedeljama) date aktivnosti.

U stvarnosti, za konstruisanje mrežnih dijagrama projekta obično se koriste neki od postojećih softverskih paketa. U narednom tekstu biće prikazano kako se

primenom programa MS Project konstruiše mrežni dijagram projekta preduzeća Construction Co.

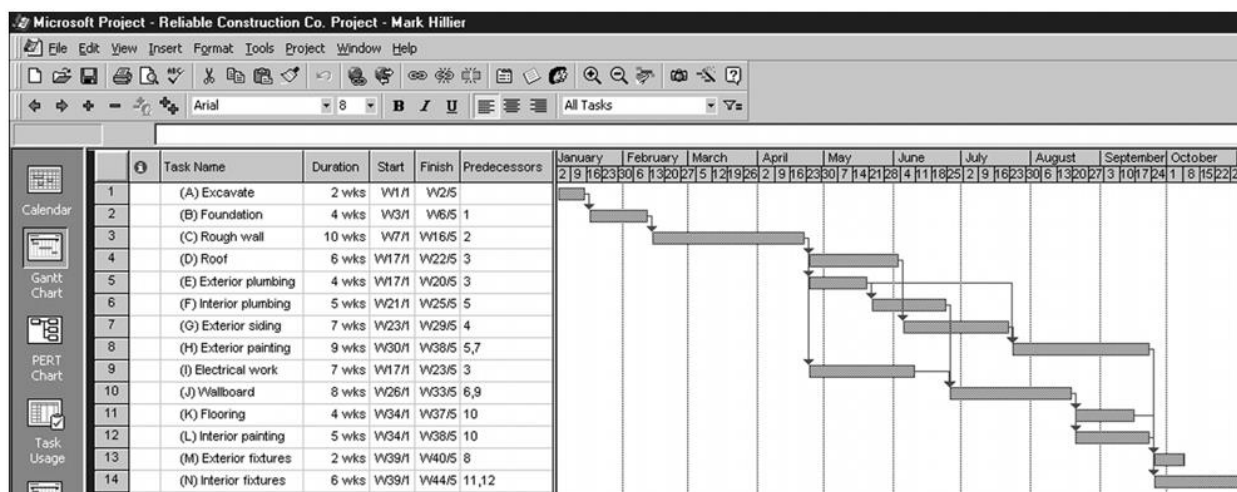


Slika P1-8. Mrežni dijagram projekata preduzeća Construction Co.

Primena Microsoft Project - a

Prvi korak u primeni Microsoft Project-a (kraće MS Project) je unošenje odgovarajućih informacija iz liste aktivnosti (tabela P1-1). Da bi se to uradilo potrebno je sa horizontalnog menija izabrati opciju *View* i sa padajućeg menija izabrati opciju *Table*. Iz otvorenog pod-menija, izabrati opciju *Entry* da bi se pozvala prazna tabela u koju je potrebno uneti informacije. Izgled tabele, za projekat Construction Co. je prikazan na slici P1-9. Kao što je prikazano na slici ulazni podaci koje je potrebno uneti su: nazivi aktivnosti (Task names), trajanje svake od aktivnosti (Duration), početak (Start) i kraj (Finish) svake od aktivnosti kao i neposredno prethodne aktivnosti za svaku od aktivnosti (Predecessors). Nakon unosa ovih informacija program (MS Project) će automatski prikazati dijagram (sa desne strane) koji predstavlja plan izvršenja projekta.

Podrazumevano vreme trajanja aktivnosti, u MS Project-u je u danima. Da bi se ova opcija promenila potrebno je izabrati opciju *Tools* sa horizontalnog menija, pa zatim *Options* sa padajućeg menija i konačno u opciji *Schedule* promeniti "Duration is entered in".



Slika P1-9. Izgled tabele MS Project-a nakon unesenih aktivnosti za projekat Construction Co. Sa desne strane je Gantt-ova karta koja prikazuje plan izvršenja projekta.

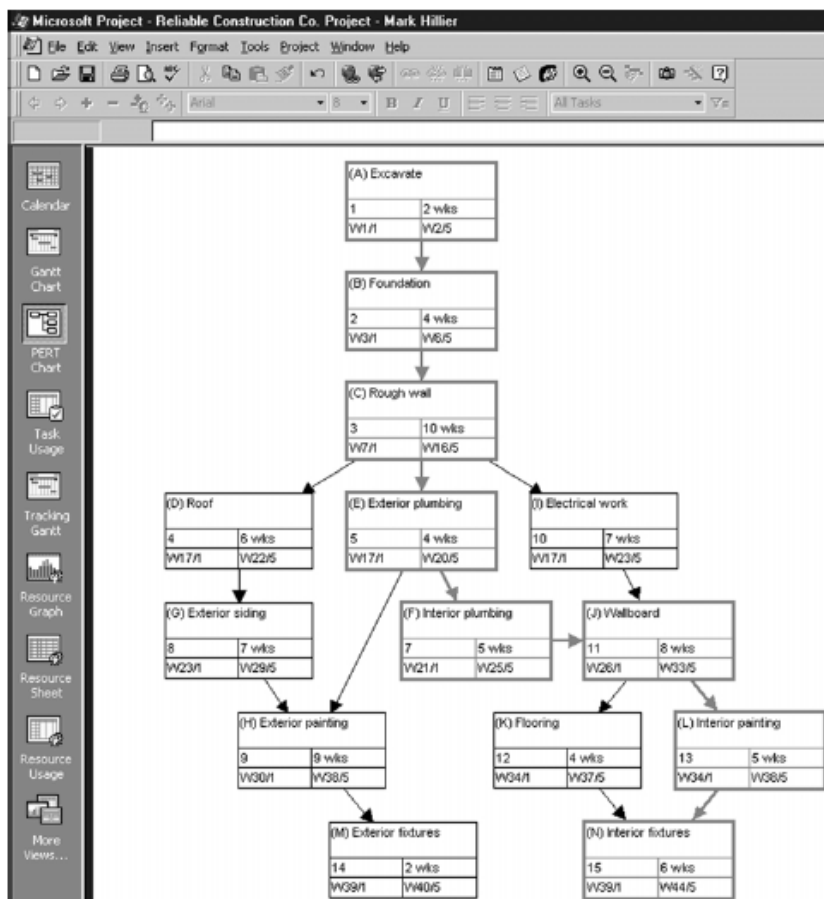
Usvojeni standardni format datuma je tzv. kalendarski prikaz datuma (npr. 1/2/01). Prikaz datuma se može promeniti ako se izabere opcija *Tools* sa horizontalnog menija, pa zatim *Options* sa padajućeg menija i konačno u opciji *View* potrebno je promeniti "Date Format". Za konkretan slučaj izabrano je da se vreme broji od 0. Prema tome, početno vreme prve aktivnosti je dato kao W1/1, što predstavlja skraćenicu za Nedelja 1 (Week), dan 1 (day). Npr., kako je trajanje prve aktivnosti (Zemljani iskop) 2 nedelje, njeno vreme završetka je dato kao W2/5 (Nedelja 2, dan 5).

Dijagram sa desne strane (slika P1-9) predstavlja tzv. **Gantt-ovu kartu** ili Gantogram. Ova vrsta dijagrama se veoma često primenjuje u praksi za prikazivanje plan izvršenja projekta, pošto se na pregledan način prikazuju planirani početci odnosno završetci pojedinih aktivnosti. (Na slici P1-9 se pretpostavlja da se početak projekta poklapa sa početkom kalendarske godine.) Strelice pokazuju međuzavisnost između pojedinih aktivnosti. Npr. pošto obe aktivnosti 5 i 7 neposredno prethode aktivnosti 8, strelice iz obe aktivnosti (5 i 7) vode do aktivnosti 8.

Ulazna tabela projekta (slika P1-9) se uvek može prikazati izborom opcije *Table: Entry* sa padajućeg menija *View*.

Izbor između različitih prikaza toka izvršenja projekta se vrši jednostavno pomoću menija koji se nalazi sa leve strane ekrana (slika P1-9). Usvojeni standardni način prikazivanja, u MS Project-u, je Gantt-ova karta. Opcija *PERT chart* prikazuje mrežni dijagram projekta. Izborom ove opcije, aktivnosti se u početku poređaju u red jedna ispod druge, ali je pomoću miša moguće, pravougaonike koji predstavljaju aktivnosti, po želji pomerati. Slika P1-10 prikazuje mrežni dijagram projekta nakon što su pravougaonici, koji predstavljaju aktivnosti, raspoređeni na

ista mesta kao odgovarajuća čvorišta na slici P1-8 (osim što ne postoje pravougaonici za početak odnosno završetak projekta). Unutar pravougaonika koji predstavlja aktivnost nalaze sve potrebne informacije vezane za datu aktivnost. Imena aktivnosti se prikazuju u prvome redu, dok se u drugom redu prikazuje broj date aktivnosti kao i njeno trajanje. Poslednji, treći red prikazuje planirani početak odnosno završetak date aktivnosti.



Slika P1-10. Mrežni dijagram projekta Construction Co., prikazan koristeći MS Project.

Sledeći korak koji rukovodilac projekta treba da uradi jeste određivanje **termin plana projekta**. Rukovodilac projekta Construction Co. je odlučio da koristi PERT/CPM metod, odnosno MS Project, da bi dobio odgovore na postavljena pitanja. Primenom metode PERT/CPM mogu se dobiti odgovori na sledećih pet pitanja (pitanja 2 do 6), vezano za termin plan projekta:

2. Koje je ukupno vreme potrebno za završetak projekta, ako se ne dogode neplanirana kašnjenja?
3. Kada pojedine aktivnosti treba da počnu i da se završe (najkasnije) da bi se projekat završio u planiranom roku.
4. Kada pojedine aktivnosti mogu da počnu i da se završe (najranije), ako se ne dogode neplanirana kašnjenja?

5. Koje aktivnosti predstavljaju uska grla, kod kojih se moraju izbeći bilo koja kašnjenja u izvršenju da bi se izbeglo kašnjenje završetka projekta?
6. Za ostale aktivnosti, koliko maksimalno kašnjenje se može tolerisati bez kašnjenja završetka projekta?

Proces određivanja termin plana projekta korišćenjem PERT/CPM metode

Metoda kritičnog puta (CPM/PERT) određuje datume najranijeg početka i završetka i najkasnijeg početka i završetka za sve aktivnosti ne uzimajući u obzir ograničenja resursa i izводеći analizu unapred i unazad kroz mrežni dijagram projekta (termin plan). Razlika između najkasnijeg završetka i najranijeg završetka aktivnosti predstavlja tzv. vremensku rezervu aktivnosti. Aktivnosti na kritičnom putu nemaju vremenske rezerve. *21

Analiza unapred:

Vreme početka realizacije projekta = 0. Trajanje fiktivne aktivnosti START je nula vremenskih jedinica. Što znači da prva aktivnost projekta počinje u trenutku nula, tj. na predviđeni datum početka projekta.

Vremena početka i završetka svake od aktivnosti, ako se ne dogode kašnjenja pri realizaciji bilo kog dela projekta, nazivaju se **vreme najranijeg početka** odnosno **vreme najranijeg završetka** aktivnosti. Ova vremena se označavaju na sledeći način: *22

NrP = vreme najranijeg početka za datu aktivnost,

NrZ = vreme najranijeg završetka za datu aktivnost,

gde je:

$NrZ = NrP + (\text{procenjeno}) \text{ vreme trajanja aktivnosti.}$

Da se ne dogode neplanirana kašnjenja znači sledeće: (1) *stvarno* trajanje svake od aktivnosti treba da bude jednako njenom *procenjenom* trajanju i (2) svaka aktivnost treba da počne odmah nakon što se sve njene neposredno prethodne aktivnosti završe.

Pravilo određivanja vremena najranijeg početka aktivnosti: *23

Vreme najranijeg početka bilo koje aktivnosti je jednako najvećem vremenu najranijeg završetka njenih neposredno prethodnih aktivnosti.

$NrP = \text{Najveći } NrZ \text{ neposredno prethodnih aktivnosti.}$

Analiza unazad:

Analizom unazad se određuje koliko kasnije, može pojedina aktivnost da počne odnosno da se završi bez odlaganja planiranog roka završetka projekta.

Za fiktivnu aktivnost KRAJ važi: $NkZ = \text{njen } NrZ.$

Vreme najkasnijeg početka aktivnosti predstavlja najkasnije moguće vreme kada može početi izvršenje date aktivnosti bez odlaganja planiranog roka završetka

projekta, pod pretpostavkom da neće biti naknadnih odlaganja završetka projekta. **Vreme najkasnijeg završetka** se definiše na isti način kao i vreme najkasnijeg početka, stim što se umesto o početku govori o završetku date aktivnosti. Ova vremena se označavaju na sledeći način: *24

NkP = vreme najkasnijeg početka za datu aktivnost,

NkZ = vreme najkasnijeg završetka za datu aktivnost,

gde je:

$NkP = NkZ - (\text{procenjeno}) \text{ vreme trajanja aktivnosti.}$

Pravilo određivanja vremena najkasnijeg završetka aktivnosti: *25

Vreme najkasnijeg završetka aktivnosti je jednako najmanjem vremenu od vremena najkasnijih početaka aktivnosti koje neposredno slede datu aktivnost.

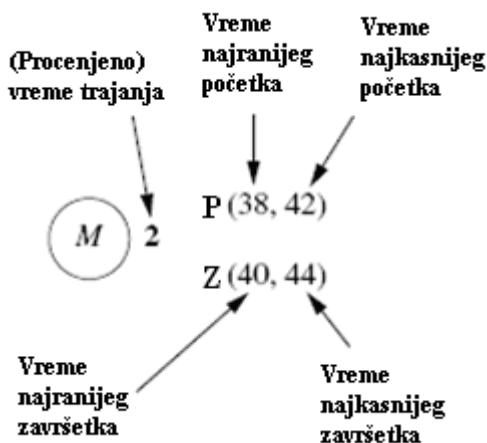
NkZ = najmanji NkP od aktivnosti koje neposredno slede datu aktivnost.

Pošto aktivnosti koje neposredno slede posmatranu aktivnost ne mogu da počnu dok se posmatrana aktivnost ne završi, ovo pravilo kaže da se posmatrana aktivnost mora završiti na vreme da omogući da sve aktivnosti koje je neposredno slede mogu da počnu do njihovog vremena najkasnijeg početka.

Određivanje vremenskih rezervi u termin planu izvršenja aktivnosti:

Vremenska rezerva predstavlja razliku između vremena najkasnijeg završetka i vremena najranijeg završetka date aktivnosti. Korišćenjem uvedenih oznaka vremenska rezerva se može izraziti kao: (slika P1-11) *26

$Vremenska rezerva = NkZ - NrZ.$



Slika P1-11. Vremenske rezerve aktivnosti. *27

Slova P i Z ispred zagrada označavaju da su u zagradama prikazana vremena početka odnosno završetka aktivnosti. Pošto je $NkZ - NrZ = NkP - NrP$, bilo koja od prikazanih razlika se može koristiti za izračunavanje vremenskih rezervi.

Kritičan put:

Putanja kroz mrežni dijagram je jedan od mogućih puteva koji se dobija prateći lukove (strelice) od početnog čvorišta (START) do krajnjeg čvorišta (KRAJ). *28

Dužina putanje predstavlja zbir (procenjenih) vremena trajanja aktivnosti koje se nalaze na putanji. *29

Vreme potrebno za realizaciju projekta ne može biti duže od dužine jedne određene putanje. Ta putanja je *najduža putanja* u mrežnom dijagramu. Aktivnosti na toj putanji se mogu izvršavati jedna nakon druge bez prekida (ukoliko to nije slučaj data putanja nije najduža). Prema tome, najduže vreme potrebno da se dostigne čvorište KRAJ jednako je dužini ove putanje. Sve kraće putanje će dostići čvorište KRAJ ne kasnije od ovog vremena.

(Procenjeno) vreme potrebno za realizaciju projekta jednako je dužini najduže putanje u mrežnom dijagramu. Ova najduža putanja se naziva **kritičan put**. Ako u mrežnom dijagramu postoji više putanja sa istim najdužim trajanjem, sve one predstavljaju kritične puteve. *30

Svaka aktivnost za vremenskom rezervom jednakom nuli se nalazi na kritičnom putu mrežnog dijagrama, što znači da bilo koje kašnjenje koje se dogodi na kritičnom putu dovodi do odlaganja planiranog završetka projekta. *31

„Radni primer“ - nastavak

Mrežni dijagram projekta, prikazan na slici P1-8 omogućuje dobijanje odgovora na postavljena pitanja dajući dve ključne informacije i to: redosled prema kom se pojedine aktivnosti moraju odigrati i (procenjeno) vreme trajanja svake od aktivnosti. Prvo će biti dati odgovori na pitanja 2 i 5.

Koje je vreme potrebno za realizaciju projekta? Kao što je u prethodnom tekstu rečeno suma trajanja svih aktivnosti iznosi 79 nedelja. Međutim, to nije odgovor na postavljeno pitanje jer se neke od aktivnosti mogu izvoditi uporedo. Umesto prostog zbira vremena trajanja svih aktivnosti, za određivanje potrebnog vremena za realizaciju projekta, merodavna je *dužina* bilo koje *putanje* u mrežnom dijagramu.

Za mrežni dijagram, prikazan na slici P1-8, postoji šest različitih putanja čije su dužine trajanja prikazane u tabeli P1-2. Dužina putanja je u intervalu od 31 nedelje pa do 44 nedelje, što predstavlja najdužu putanju.

Između ovih šest mogućih putanja potrebno je izabrati onu koja će dati (procenjeno) vreme potrebno za realizaciju projekta.

Pošto se aktivnosti na svakoj od mogućih putanja moraju izvršavati jedna iza druge bez preklapanja, vreme potrebno za realizaciju projekta ne može biti *kraće* od dužine date putanje. Međutim, vreme potrebno za realizaciju projekta može čak biti i duže zato što neke od aktivnosti na putanji, sa više neposredno prethodnih aktivnosti, treba da čekaju završetak neposredno prethodnih aktivnosti koje su na putanji kao i onih neposredno prethodnih aktivnosti koje nisu na putanji. Kao ilustracija prethodne tvrdnje razmotriće se druga putanja u tabeli P1-2 i aktivnost *H*

koja se nalazi na njoj. Ova aktivnost ima dve neposredno prethodne aktivnosti, jednu (aktivnost *G*) koja nije na razmatranoj putanji i drugu (aktivnost *E*) koja se nalazi na razmatranoj putanji. Pošto se završi aktivnost *C*, samo 4 nedelje je potrebno za aktivnost *E*, dok je 13 nedelja potrebno za završetak aktivnosti *D* i *G*. Prema tome, vreme potrebno za realizaciju projekta mora biti značajno duže nego što je dužina druge putanje u tabeli P1-2.

Tabela P1-2. Putanje i njihove dužine za mrežni dijagram projekta Construction Co.

Putanja	Dužina
START → A → B → C → D → G → H → M → KRAJ	2 + 4 + 10 + 6 + 7 + 9 + 2 = 40 Ned.
START → A → B → C → E → H → M → KRAJ	2 + 4 + 10 + 4 + 9 + 2 = 31 Ned.
START → A → B → C → E → F → J → K → N → KRAJ	2 + 4 + 10 + 4 + 5 + 8 + 4 + 6 = 43 Ned.
START → A → B → C → E → F → J → L → N → KRAJ	2 + 4 + 10 + 4 + 5 + 8 + 5 + 6 = 44 Ned.
START → A → B → C → I → J → K → N → KRAJ	2 + 4 + 10 + 7 + 8 + 4 + 6 = 41 Ned.
START → A → B → C → I → J → L → N → KRAJ	2 + 4 + 10 + 7 + 8 + 5 + 6 = 42 Ned.

Za projekat Construction Co. dobija se sledeće:

Kritični put: START → A → B → C → E → F → J → L → N → KRAJ

(Procenjeno) vreme potrebno za realizaciju projekta = 44 nedelje.

Na ovaj način odgovoreno je na pitanja 2 i 5. Ako se ne dogode kašnjenja, ukupno vreme potrebno za realizaciju projekta je približno 44 nedelje. Aktivnosti na kritičnom putu predstavljaju uska grla – kritične aktivnosti, što znači da se kašnjenje u izvršavanju datih aktivnosti mora izbeći da bi se sprečilo produženje vremena potrebnog za realizaciju projekta. Ovo predstavlja veoma važnu informaciju za rukovodioca projekta, jer on mora da usmeri najveći deo svog angažovanja na kritične aktivnosti kako bi se one izvršavale na vreme u cilju realizacije projekta u planiranom roku. Dalje, ako rukovodilac projekta odluči da skрати vreme realizacije projekta (bonus, ako se projekat završi za 40 nedelja), aktivnosti na kritičnom putu su one aktivnosti na kojima treba vršiti odgovarajuće izmene da bi se skratilo njihovo trajanje.

Za male mrežne dijagrame, kao što je mrežni dijagram prikazan na slici P1-1, pronalaženje svih putanja i određivanje najduže od njih je pogodan način za identifikaciju kritičnog puta. Međutim, to ne predstavlja efikasnu proceduru za velike projekte odnosno mrežne dijagrame. Metoda PERT/CPM umesto toga u sebi sadrži daleko efikasniju proceduru za određivanje kritičnog puta.

Metoda PERT/CPM, pored toga što na efikasan način određuje kritičan put kod velikih projekata, pruža mnoštvo informacija potrebnih za planiranje i redosled aktivnosti kao i za vrednovanje nastalih posledica ukoliko se bilo koja od aktivnosti ne izvrši u planiranom roku.

Procedura planiranja redosleda izvršenja aktivnosti, kod metode PERT/CPM, počinje postavljanjem pitanja:

4. Kada pojedine aktivnosti mogu da počnu i da se završe (najranije), ako se ne dogode neplanirana kašnjenja?

Da se ne dogode neplanirana kašnjenja znači sledeće: (1) *stvarno* trajanje svake od aktivnosti treba da bude jednako njenom *procenjenom* trajanju i (2) svaka aktivnost treba da počne odmah nakon što se sve njene neposredno prethodne aktivnosti završe.

Umesto da se izvršavanje pojedinih aktivnosti veže za datume, mnogo je pogodnije računati broj proteklih vremenskih perioda (u slučaju projekta Construction Co. ti vremenski period su nedelje) od početka realizacije projekta.

Analiza unapred

Vreme početka realizacije projekta = 0.

Pošto projekat Construction Co. počinje sa aktivnošću A, to je:

$$\begin{aligned}\text{Aktivnost A: NrP} &= 0, \\ \text{NrZ} &= 0 + \text{vreme trajanja (2 nedelje)} \\ &= 2,\end{aligned}$$

gde je vreme trajanja (u nedeljama) aktivnosti A dato na slici P1-8 (broj sa desne strane aktivnosti). Aktivnost B može da počne odmah po završetku aktivnosti A, što znači:

$$\begin{aligned}\text{Aktivnost B: NrP} &= \text{NrZ aktivnosti A} \\ &= 2 \\ \text{NrZ} &= 2 + \text{vreme trajanja (4 nedelje)} \\ &= 6.\end{aligned}$$

Neposrednom primenom pravila za izračunavanje *vremena najranijeg početka aktivnosti* (zajedno sa izračunavanjem NrZ) dobija se NrP i NrZ za aktivnost C, nakon toga za aktivnosti D, E, I i na kraju za aktivnosti G i F. Na slici VII-4 prikazani su NrP i NrZ za svaku od ovih aktivnosti, sa desne strane odgovarajućeg čvorišta. Npr.:

$$\begin{aligned}\text{Aktivnost G: NrP} &= \text{NrZ aktivnosti D} \\ &= 22, \\ \text{NrP} &= 22 + \text{vreme trajanja (7 nedelja)} \\ &= 29,\end{aligned}$$

što znači da bi aktivnost G (Postavljanje (spoljašnje) fasade) trebala da počne posle 22 nedelje i završi se posle 29 nedelja od početka realizacije projekta.

Aktivnost H ima dve neposredno prethodne aktivnosti, aktivnost G i E , što znači da početak aktivnosti H mora da čeka dok se obe aktivnosti G i E ne završe. Vreme najranijeg početka aktivnosti H se određuje na sledeći način:

Neposredno prethodne aktivnosti aktivnosti H :

$$\text{NrZ aktivnosti } G = 29.$$

$$\text{NrZ aktivnosti } E = 20.$$

$$\text{Veći NrZ} = 29.$$

Prema tome,

$$\begin{aligned}\text{NrP aktivnosti } H &= \text{Veći NrZ} \\ &= 29.\end{aligned}$$

Na slici P1-12 su takođe prikazani NrP i NrZ za čvorišta START i KRAJ. Razlog zašto je to urađeno je to što se ova čvorišta tretiraju kao *fiktivne aktivnosti* tj. aktivnosti koje ne zahtevaju vreme (njihovo vreme trajanja je jednako nuli). Za čvorište START očigledno je $\text{NrP}=0=\text{NrZ}$. Za čvorište KRAJ, koristi se pravilo određivanja najranijeg početka za određivanje NrP na uobičajen način tj.

Neposredno prethodne aktivnosti čvorišta KRAJ - fiktivne aktivnosti KRAJ:

$$\text{NrZ aktivnosti } M = 40.$$

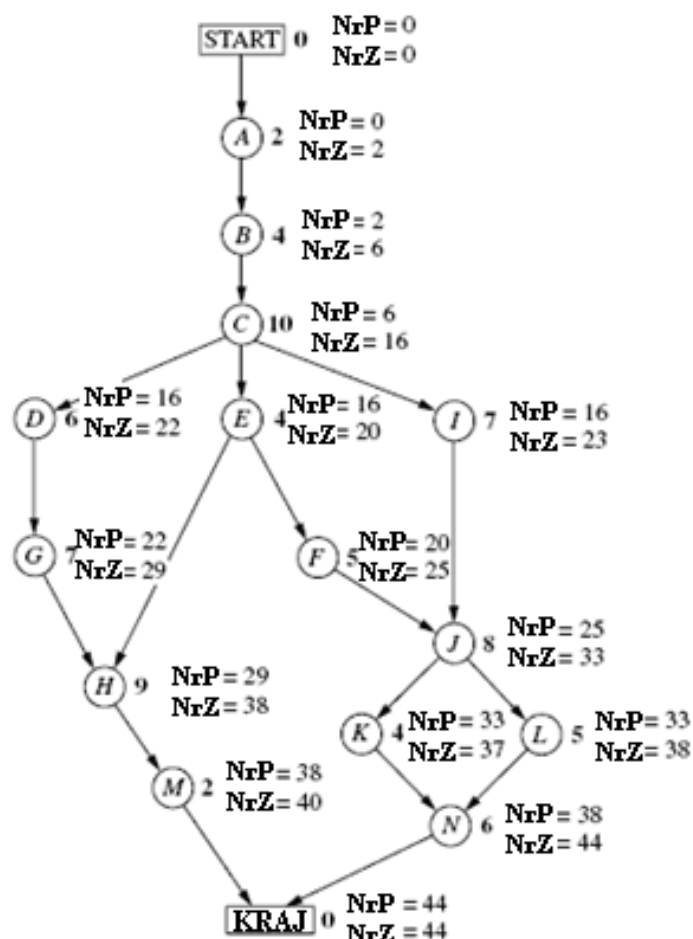
$$\text{NrZ aktivnosti } N = 44.$$

$$\text{Veći NrZ} = 44.$$

Prema tome,

$$\begin{aligned}\text{NrP fiktivne aktivnosti KRAJ} &= \text{Veći NrZ} \\ &= 44.\end{aligned}$$

$$\text{NrZ fiktivne aktivnosti KRAJ} = 44 + 0 = 44.$$



Slika P1-12. Vremena najranijeg početka (NrP) i vremena najranijeg završetka (NrZ) svih aktivnosti (plus čvorišta START i KRAJ) za projekat Construction Co., dobijena *analizom unapred*.

Poslednje izračunavanje pokazuje da projekat Construction Co. bi trebao da bude realizovan u roku od 44 nedelje ako se sve odvija po planu i u skladu sa vremenima početka odnosno završetka aktivnosti, prikazanim na slici P1-12 (odgovor na pitanje 2). Rukovodilac projekta sada može da iskoristi ovaj raspored odvijanja aktivnosti da obavesti izvođače, zadužene za pojedine aktivnosti, kada treba da počnu odnosno završe svoje radove.

Potrebno je naglasiti da dobijeni raspored izvođenja aktivnosti podrazumeva da je *stvarno* trajanje svake aktivnosti jednako njenom *procenjenom* trajanju. Postavlja se pitanje: šta se dešava ako neka od aktivnosti potraje duže nego što je procenjeno? Da li će to odložiti realizaciju projekta u očekivanom roku? Možda, ali ne obavezno. To zavisi od same aktivnosti kao i od dužine kašnjenja.

Analiza unazad

U narednom tekstu biće prikazan deo procedure, planiranja redosleda izvršenja aktivnosti, kojim se određuje koliko kasnije, nego što je prikazano na slici P1-12,

može pojedina aktivnost da počne odnosno da se završi bez odlaganja planiranog roka završetka projekta.

Npr. posmatra se aktivnost M na slici P1-12. Aktivnost M , neposredno sledi samo čvorište (fiktivna aktivnost) KRAJ. Posmatrana fiktivna aktivnost se mora izvršiti do vremena 44 da bi se projekat završio u procenjenom roku tj. u okviru 44 nedelje. Na osnovu toga se fiktivnoj aktivnosti KRAJ dodeljuju vremena najkasnijeg početka odnosno završetka na sledeći način:

$$\begin{aligned}\text{Fiktivna aktivnost KRAJ: } NkZ &= n\text{jen } NrZ = 44 \\ NkP &= 44 - 0 = 44.\end{aligned}$$

Primena pravila određivanja *vremena najkasnijeg završetka aktivnosti* na aktivnost M :

$$\begin{aligned}\text{Aktivnost } M: NkZ &= NkP \text{ za fiktivnu aktivnost KRAJ} \\ &= 44, \\ NkP &= 44 - \text{vreme trajanja (2 nedelje)} \\ &= 42.\end{aligned}$$

Pošto je aktivnost M jedna od aktivnosti sa kojima se završava projekat, moguće je automatski, bez primene pravila određivanja vremena najkasnijeg završetka, postaviti da je njeno vreme najkasnijeg završetka jednako vremenu najranijeg završetka fiktivne aktivnosti KRAJ.

Kako aktivnost M jedina neposredno sledi aktivnost H , pravilo određivanja vremena najkasnijeg završetka može se primenjuje na aktivnost H na sledeći način:

$$\begin{aligned}\text{Aktivnost } H: NkZ &= NkP \text{ aktivnosti } M \\ &= 42, \\ NkP &= 42 - \text{vreme trajanja (9 nedelja)} \\ &= 33.\end{aligned}$$

Na slici P1-13 prikazani su rezultati određivanja vremena NkP i NkZ svih aktivnosti. Primera radi prikazaće se određivanje vremena NkP i NkZ za aktivnost C , koju neposredno slede tri aktivnosti D , E , i I .

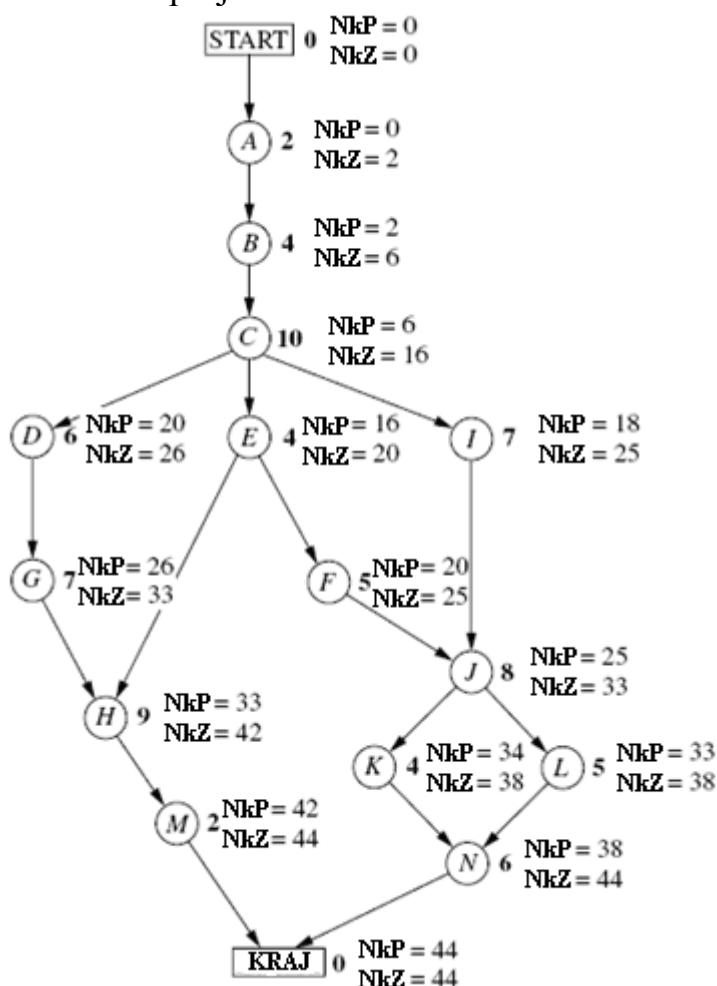
Aktivnosti koje neposredno slede aktivnost C :

Aktivnost D	$NkP = 20.$
Aktivnost E	$NkP = 16.$
Aktivnost I	$NkP = 18.$
Najmanji	$NkP = 16.$

Prema tome,

$$\begin{aligned}NkZ \text{ aktivnosti } C &= \text{Najmanji } NkP \text{ (aktivnosti koje neposredno slede)} \\ &= 16.\end{aligned}$$

Rukovodilac projekta zna da raspored odvijanja aktivnosti prikazan na slici P1-13 predstavlja „poslednju šansu“ da se izbegne produženje roka završetka projekta. Drugim rečima čak iako sve aktivnosti počnu i završe se u vremenima kako je to prikazano na slici P1-13 projekat će biti završen u procenjenom roku tj. za 44 nedelje. Međutim kada je to moguće, da bi se ostavilo prostora za neplanirana kašnjenja, rukovodilac projekta će se radije pridržavati plana izvršenja aktivnosti definisanog vremenima najranijeg početka odnosno završetka aktivnosti prikazanog na slici P1-12. Na ovaj način se obezbeđuju vremenske rezerve za izvršenje pojedinih aktivnosti projekta.



Slika P1-13. Vreme najkasnijeg početka (NkP) i vreme najkasnijeg završetka (NkZ) svih aktivnosti (plus čvorišta START i KRAJ) za projekat Construction Co.

U tabeli P1-3 prikazani su uporedo vremena NrP i NrZ kao i NkP i NkZ svih aktivnosti projekta Construction Co.

Ako se vremena (Tabela P1-3) najkasnijeg početka i završetka za datu aktivnost, prikazana na slici P1-13, razlikuju od odgovarajućih najranijih vremena prikazanih na slici P1-12, tada posmatrana aktivnost ima odgovarajuću vremensku rezervu. Drugim rečima vreme koje je na raspolaganju za izvršenje date aktivnosti je veće nego što je samo vreme trajanja posmatrane aktivnosti.

Tabela P1-3. Vremena NrP, NrZ, NkP, NkZ aktivnosti projekta Construction Co.

Aktivnost	Trajanje aktivnosti (nedelja)	Najraniji početak kraj ...	Najraniji završetak kraj ...	Najkasniji početak kraj ...	Najkasniji završetak kraj ...
A	2	0	2	0	2
B	4	2	6	2	6
C	10	6	16	6	16
D	6	16	22	20	26
E	4	16	20	16	20
F	5	20	25	20	25
G	7	22	29	26	33
H	9	29	38	33	42
I	7	16	23	18	25
J	8	25	33	25	33
K	4	33	37	34	38
L	5	33	38	33	38
M	2	38	40	42	44
N	6	38	44	38	44

Poslednji deo procedure za planiranje redosleda izvršenja aktivnosti, metode PERT/CPM, je identifikacija vremenskih rezervi i nakon toga korišćenje dobijenih informacija za određivanje *kritičnog puta*. (Odgovori na pitanja 5 i 6)

Određivanje vremenskih rezervi u planu izvršenja aktivnosti

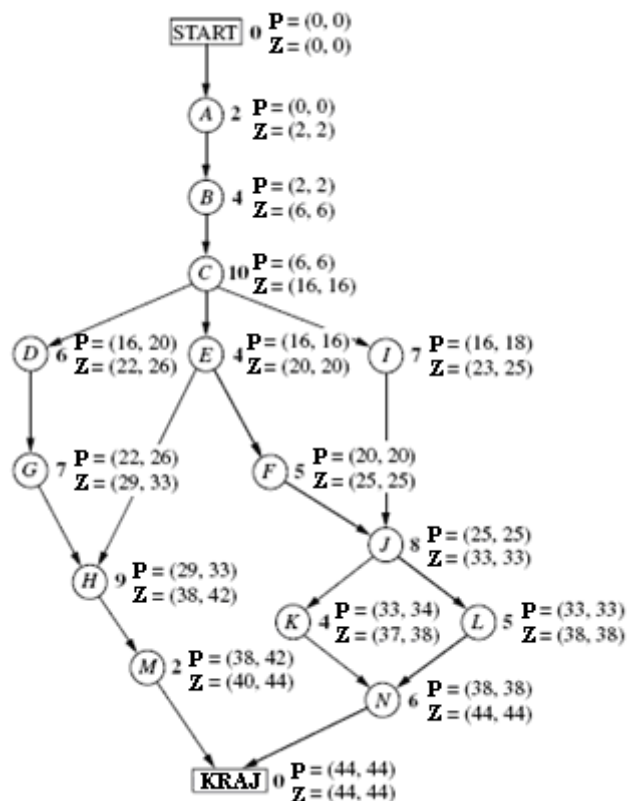
Da bi se odredile vremenske rezerve, pogodno je kombinovano prikazati najkasnija vremena početka i završetka aktivnosti (prikazana na slici P1-13) i najranija vremena početka i završetka aktivnosti (prikazana na slici P1-12). Na primeru aktivnosti M, biće prikazan način označavanja odgovarajućih vremena, za svaku aktivnost, na mrežnom dijagramu.

Vremenska rezerva aktivnosti = NkZ – NrZ.

Vremenska rezerva aktivnosti $M = 44 - 40 = 4$.

Gornji izraz pokazuje da početak izvršenja aktivnosti M može da kasni do 4 nedelje, u odnosu na vreme njenog najranijeg početka, a da se pri tome ne odloži završetak projekta u procenjenom vremenu od 44 nedelje. Ovo ima smisla, jer se projekat završava kada se obe aktivnosti M i N završe, a vreme najranijeg završetka aktivnosti N (44) je 4 nedelje kasnije nego vreme najranijeg završetka aktivnosti M (40). Dok se god aktivnost N izvršava po planu, kašnjenja u završetku projekta neće biti tj. projekat će se završiti za 44 nedelje čak iako se pojave nepredviđena kašnjenja, pri početku izvršavanja (npr. zbog toga što su prethodne aktivnosti trajale duže nego što je procenjeno) i u toku samog izvršavanja aktivnosti M , ne duža od 4 nedelje.

Slika P1-14, na gore opisan način prikazuje, vremena najranijih odnosno najkasnijih početaka i završetaka svih aktivnosti projekta, što omogućuje da se na lak način vidi koliku vremensku rezervu ima svaka od aktivnosti.



Slika P1-14. Mrežni dijagram projekta prikazuje NrP i NkP (u gornjim zagradama) odnosno NrZ i NkZ (u donjim zagradama) za svaku od aktivnosti projekta Construction Co. Tamnije strelice prikazuju kritičan put izvršenja projekta.

U tabeli P1-4 prikazane su vremenske rezerve za svaku od aktivnosti projekta. Tabela P1-4. Vremenske rezerve za aktivnosti projekta Construction Co.

Aktivnost	Vremenska rezerva NkZ – NrZ	Kritičan put
A	0	Da
B	0	Da
C	0	Da
D	4	ne
E	0	Da
F	0	Da
G	4	ne
H	4	ne
I	2	ne
J	0	Da
K	1	ne
L	0	Da
M	4	ne
N	0	Da

Određivanje „kritičnog puta“

Potrebno je naglasiti da neke aktivnosti imaju vremensku rezervu nula, što znači da će bilo koje kašnjenje u izvršenju tih aktivnosti odložiti planirani završetak projekta. Na ovaj način metod PERT/CPM identifikuje koje se aktivnosti nalaze na kritičnom putu.

Prema tome, kritičan put je:

START \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow J \rightarrow L \rightarrow N \rightarrow KRAJ.

Kritičan put je na slici P1-14 prikazan tamnijim strelicama. Rukovodilac projekta mora da obrati posebnu pažnju na aktivnosti na kritičnom putu tj. da konstantno prati njihovo izvršavanje da bi se izvršenje projekta odvijalo po planu.

Sledeće pitanje koje se postavlja pred rukovodioca projekta je:

7. Uvođenjem neizvesnosti u procenu vremena trajanja aktivnosti, kolika je verovatnoća završetka projekta na vreme (do krajnjeg roka – 47 nedelja)?

Neizvesnost u proceni trajanja aktivnosti

U praksi, vreme trajanja svake aktivnosti je *slučajna promenljiva* raspodeljena po odgovarajućoj raspodeli. Originalna verzija metode PERT, neizvesnost u **vremenu trajanja aktivnosti** uzima u obzir preko tri različite procene vremena trajanja aktivnosti (*o* – optimističko, *m* – najverovatnije, *p* – pesimističko) kako bi se odredila raspodela verovatnoća trajanja aktivnosti. (videti: „*Proračun tri tačke (Three-Point Estimates)*“).

Sledeće pitanje koje se postavlja je kolika je verovatnoća da se, pod ovim uslovima (neizvesnosti u vremenu trajanja aktivnosti), projekat završi do krajnjeg roka. Uvodeći *tri aproksimacije* metodom PERT/CPM je moguće izračunati ovu verovatnoću.

Aproksimacije pri određivanju verovatnoće završetka projekta

Da bi se izračunala verovatnoća da vreme potrebno za realizaciju projekta neće biti duže od zadatog krajnjeg roka, potrebno je znati sledeće informacije o raspodeli vremena trajanja projekta:

1. Koliko je matematičko očekivanje μ_p (srednja vrednost) raspodele vremena trajanja projekta,
2. Kolika je disperzija σ_p^2 (srednje kvadratno odstupanje) raspodele vremena trajanja projekta, i
3. Koji je oblik raspodele vremena trajanja projekta.

Vreme potrebno za realizaciju projekta je jednako *dužini* (ukupno proteklo vreme) najduže putanje u mrežnom dijagramu projekta. Međutim, bilo koja će putanja biti najduža (a samim tim i kritičan put), što zavisi od toga koje će vreme trajanja aktivnosti, između *optimističke* i *pesimističke* procene vremena trajanja, biti stvarno vreme trajanja aktivnosti. Pošto bi rad sa svim mogućim putanjama u mrežnom dijagramu bio veoma komplikovan metoda PERT/CPM se fokusira na jednu jedinu putanju tzv. *srednji (prosečni) kritični put*.

Srednji (prosečni) kritičan put je putanja u mrežnom dijagramu koja bi bila kritičan put ako su vremena trajanja svih aktivnosti jednaka njihovim srednjim vrednostima (μ). *32

Aproksimacija 1: Pretpostavlja se da je srednji kritičan put najduža putanja u mrežnom dijagramu projekta. Ovo predstavlja samo grubu aproksimaciju, pošto ova pretpostavka nije održiva u praktičnim slučajevima kada vreme trajanja nekih aktivnosti nije jednako njihovim srednjim vremenima trajanja. Na sreću, u slučajevima kada pretpostavka nije održiva, stvarna najduža putanja obično nije mnogo duža nego srednji kritičan put.

Aproksimacija 1 omogućava izračunavanje μ_p , dok je za određivanje σ_p^2 potrebna još jedna aproksimacija.

Aproksimacija 2: Pretpostavlja se da su vremena trajanja aktivnosti na srednjem kritičnom putu *statistički nezavisna*. Ova pretpostavka bi mogla da se održi ako bi se aktivnosti u praksi izvodile nezavisno jedna od druge. Međutim, ova pretpostavka postaje samo gruba aproksimacija ako okolnosti koje uslove da trajanje jedne aktivnosti odstupi od njenog srednjeg vremena trajanja, izazovu slično odstupanje i kod neke druge aktivnosti.

Uzimanjem u obzir prethodne dve aproksimacije, moguće je na relativno jednostavan način izračunati μ_p i σ_p^2 .

Izračunavanje μ_p i σ_p^2 : Uzimajući u obzir aproksimaciju 1, matematičko očekivanje raspodele vremena trajanja projekta se približno može izračunati na sledeći način: *33

μ_p = suma vremena trajanja svih aktivnosti na srednjem kritičnom putu.

Uzimanjem u obzir i aproksimaciju 1 i aproksimaciju 2, disperzija raspodele vremena trajanja projekta se približno može izračunati kao:

*34

σ_p^2 = suma disperzija vremena trajanja svih aktivnosti na srednjem kritičnom putu.

Sledeća aproksimacija se odnosi na oblik raspodele vremena trajanja projekta.

Aproksimacija 3: Pretpostavlja se da je raspodela vremena trajanja projekta *Normalna raspodela*. Uzimajući u obzir aproksimacije 1 i 2, jedna od verzija centralne granične teoreme potvrđuje da je ova pretpostavka opravdana ako broj aktivnosti na srednjem kritičnom putu nije mnogo mali (npr. ne manji od 5). Što više ima aktivnosti na kritičnom putu aproksimacija je bolja. *35

„Radni primer“ - nastavak

Uvođenjem prikazanih aproksimacija, stekli su se uslovi za (približno) izračunavanje verovatnoće završetka projekta Construction Co. za 47 nedelja.

Radi podsećanja, Construction Co. prema ugovoru mora da plati velike penale (300.000 NJ) u slučaju da se probije krajnji rok završetka projekta. Radi toga, rukovodilac projekta treba da zna koja je verovatnoća da se projekat završi u roku. Ako ta verovatnoća nije velika, rukovodilac projekta će morati da razmotri odgovarajuće (najčešće skupe) mere da bi se smanjilo trajanje pojedinih aktivnosti.

Verovatnoća završetka projekta u roku na neki način predstavlja proveru odnosno osiguranje da je procenjeno vreme trajanja projekta od 44 nedelje, dobijeno metodom PERT/CPM, realno. Međutim, rukovodilac projekta zna da je ova procena bazirana na pretpostavci da će stvarno vreme trajanja svake aktivnosti biti jednako upravo procenjenom vremenu trajanja aktivnosti (u najgorem slučaju samo aktivnosti na kritičnom putu). Kako kompanija nema mnogo prethodnih iskustava u realizaciji ove vrste projekata, postoji značajna neizvesnost u vezi vremena trajanja svake od aktivnosti.

MS Project pruža opciju za izračunavanje očekivanog vremena trajanja svake od aktivnosti μ , koristeći formulu (2). Izbor tabele: PA PERT Entry sa menija View, omogućuje se unosenje tri različita procenjena vremena trajanja svake aktivnosti (najverovatnije vreme trajanja aktivnosti je označeno kao očekivano vreme trajanja). Izborom: PERT Analysis sa menija View, otvara se alat (Toolbar) koji omogućuje vršenje raznih analiza sa ovim procenjenim vremenima trajanja. Izborom opcije “Calculate PERT”, preračunava se vreme trajanja aktivnosti (μ) “Duration”, prema formuli (2). Sledeća mogućnost je da se prikažu Gantt-ove karte zasnovane na svakoj od tri procene vremena trajanja aktivnosti.

Rukovodilac projekta treba sada da zahteva od nadzornika (predradnika) svake od angažovanih ekipa, odgovorne za izvođenje date aktivnosti, tri procene vremena trajanja aktivnosti (optimističko, pesimističko i najverovatnije). Tri procene vremena trajanja aktivnosti (o, m, p), za projekat Construction Co. su date u tabeli P1-5 (kolone 2, 3 i 4).

Dve poslednje kolone, u tabeli P1-5, prikazuju srednje vreme i disperziju trajanja svake od aktivnosti, izračunate pomoću formula (1) i (2). U ovom slučaju, sve izračunate srednje vrednosti trajanja aktivnosti se poklapaju sa procenjenim vremenima trajanja aktivnosti datim u Tabeli P1-1. Prema tome, pošto su srednja vremena trajanja aktivnosti jednaka njihovim procenjenim vremenima trajanja, vreme potrebno za realizaciju projekta će i dalje biti 44 nedelje, 3 nedelje manje od krajnjeg roka.

Međutim, ovaj zaključak nije preterano ohrabrujući u smislu potvrde vremena potrebnog za realizaciju projekta. Obično, stvarna vremena trajanja aktivnosti uzimaju vrednosti oko srednjih vrednosti trajanja aktivnosti. Prema tome, neizbežno je da trajanje neke od aktivnosti bude veće nego što je njeno srednje vreme trajanja. U nekim slučajevima moguće je da stvarno vreme trajanja aktivnosti bude veoma blisko pesimističkom vremenu trajanja aktivnosti, što može da značajno produži vreme potrebno za realizaciju projekta.

Tabela P1-5. Srednje vreme i disperzija trajanja aktivnosti projekta Construction Co.

Aktivnost	Optimističko vreme o	Najverovatnije vreme m	Pesimističko vreme p	Srednje vreme $\mu = \frac{o + 4m + p}{6}$	Disperzija $\sigma^2 = \left(\frac{p - o}{6}\right)^2$
A	1	2	3	2	$\frac{1}{9}$
B	2	$3\frac{1}{2}$	8	4	1
C	6	9	18	10	4
D	4	$5\frac{1}{2}$	10	6	1
E	1	$4\frac{1}{2}$	5	4	$\frac{4}{9}$
F	4	4	10	5	1
G	5	$6\frac{1}{2}$	11	7	1
H	5	8	17	9	4
I	3	$7\frac{1}{2}$	9	7	1
J	3	9	9	8	1
K	4	4	4	4	0
L	1	$5\frac{1}{2}$	7	5	1
M	1	2	3	2	$\frac{1}{9}$
N	5	$5\frac{1}{2}$	9	6	$\frac{4}{9}$

Da bi proverio *pesimistički (najgori) scenario*, rukovodilac projekta ponovo razmatra mrežni dijagram projekta ovog puta sa vremenima trajanja svih aktivnosti jednakim pesimističkom vremenu trajanja (data u četvrtoj koloni tabele P1-5). Tabela P1-6 prikazuje šest mogućih putanja kroz mrežu (prethodno prikazane u tabeli P1-2) kao i njihove dužine dobijene korišćenjem pesimističkih procena vremena trajanja aktivnosti. Četvrtoj putanji, koja je predstavljala kritičan put (slika P1-14), se sada povećala dužina sa 44 nedelje na 69 nedelja. Međutim, dužina prve putanje, koja je u prethodnom slučaju bila 40 nedelja (tabela P1-2) se

sada povećala na 70 nedelja. Pošto je to sada najduža putanja, ona predstavlja kritičan put za pesimističku procenu vremena trajanja aktivnosti, što dovodi do (pesimističkog) vremena potrebnog za realizaciju projekta od 70 nedelja.

Tabela P1-6. Putanje i njihove dužine za projekat Construction Co. u slučaju pesimističkih vremena trajanja aktivnosti.

Putanja	Dužina
START→A→B→C→D→G→H→M→KRAJ	3 + 8 + 18 + 10 + 11 + 17 + 3 = 70 Nedelja
START→A→B→C→E→H→M→KRAJ	3 + 8 + 18 + 5 + 17 + 3 = 54 Nedelja
START→A→B→C→E→F→J→K→N→KRAJ	3 + 8 + 18 + 5 + 10 + 9 + 4 + 9 = 66 Nedelja
START→A→B→C→E→F→J→L→N→KRAJ	3 + 8 + 18 + 5 + 10 + 9 + 7 + 9 = 69 Nedelja
START→A→B→C→I→J→K→N→KRAJ	3 + 8 + 18 + 9 + 9 + 4 + 9 = 60 Nedelja
START→A→B→C→I→J→L→N→KRAJ	3 + 8 + 18 + 9 + 9 + 7 + 9 = 63 Nedelja

Razmatrajući ovaj zabrinjavajući (mada malo verovatan) pesimistički scenario, rukovodilac projekta, je svestan da je ostvarivanje krajnjeg roka za završetak projekta od 47 nedelja daleko od izvesnog. Postavlja se pitanje kolika je verovatnoća da se, pod ovim uslovima, projekat završi do krajnjeg roka.

Uvodeći *tri aproksimacije* metodom PERT/CPM je moguće izračunati ovu verovatnoću.

Primenjujući *Aproksimaciju 1*, srednji (prosečan) kritičan put za projekat Construction Co. je:

START → A → B → C → E → F → J → L → N → KRAJ.

Primenjujući *Aproksimaciju 1* i *Aproksimaciju 2*, izračunava se srednje vreme (dužina) trajanja projekta (μ_p) i disperzija vremena trajanja projekta (σ_p^2).

Tabela P1-7. Izračunavanje μ_p i σ_p^2 za projekat Construction Co.

Aktivnosti na srednjem kritičnom putu	Srednje vreme	Disperzija
A	2	$\frac{1}{9}$
B	4	1
C	10	4
E	4	$\frac{4}{9}$
F	5	1
J	8	1
L	5	1
N	6	$\frac{4}{9}$
Dužina trajanja projekta	$\mu_p = 44$	$\sigma_p^2 = 9$

Srednja vremena trajanja svih aktivnosti za projekat Construction Co. data su u tabeli P1-5, dok su u tabeli P1-7, u drugoj i trećoj koloni, prikazana srednja vremena trajanja odnosno disperzije vremena trajanja aktivnosti koje se nalaze na

srednjem kritičnom putu. Sabiranjem vrednosti u drugoj odnosno trećoj koloni tabele P1-7 dobija se:

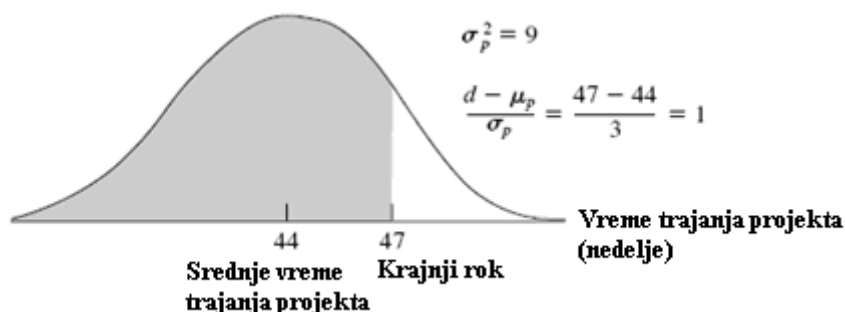
$$\mu_p = 44, \quad \sigma_p^2 = 9.$$

Nakon određivanja srednjeg vremena trajanja projekta (μ_p) i disperzije vremena trajanja projekta (σ_p^2), na osnovu Aproksimacije 3, određuje se verovatnoća završetka projekta. Raspodela vremena trajanja projekta aproksimirana je Normalnom raspodelom i prikazana na slici P1-15, gde je:

T = vreme trajanja projekta (u nedeljama), raspodeljeno (približno) po Normalnoj raspodeli sa matematičkim očekivanjem $\mu_p = 44$ i

disperzijom $\sigma_p^2 = 9$,

d = krajnji rok za završetak projekta = 47 nedelja.



Slika P1-15. Raspodela vremena trajanja projekta Construction Co. aproksimirana Normalnom raspodelom. Osenčena površina na slici predstavlja verovatnoću da će se projekat završiti do krajnjeg roka od 47 nedelja.

Radi lakšeg izračunavanja verovatnoće završetka projekta do određenog vremena, potrebno je pretpostavljenu Normalnu raspodelu vremena trajanja projekta $N(\mu_p, \sigma_p) = N(44, 3)$ svesti na standardizovanu Normalnu raspodelu tj. $N(0, 1)$, na sledeći način:

$$K_\alpha = \frac{d - \mu_p}{\sigma_p} = \frac{47 - 44}{3} = 1.$$

Prema tome, za standardizovanu Normalnu raspodelu, verovatnoća da će se projekat završiti u predviđenom roku izračunava se na sledeći način (uzimajući u obzir aproksimacije 1, 2 i 3): (videti Dodatak 2)

$$P(T \leq d) = P(T_s \leq K_\alpha) \approx 0.84$$

Važno: Verovatnoća $P(T \leq d)$ predstavlja samo grubu aproksimaciju stvarne verovatnoće da će se projekat završiti u planiranom roku. Osim toga, zbog uvođenja *Aproksimacije 1*, dobijena verovatnoća je obično veća od stvarne verovatnoće završetka projekta u planiranom roku. Zbog toga, rukovodilac

projekta treba da shvati $P(T \leq d)$ samo kao grubo optimističko merilo da se projekat završi u roku tj. da neće biti potrebno preduzimanje odgovarajućih (skupih) mera radi smanjenja vremena trajanja pojedinih aktivnosti.

Procedura izračunavanja $P(T \leq d)$ se može na relativno lak način realizovati koristeći *Microsoft Excel*. Slika P1-16 prikazuje primenu Excel-a za izračunavanje $P(T \leq d)$ za Construction Co. projekat. U prvoj koloni tabele (B) nalaze se imena (oznake) aktivnosti. U sledeće tri (C, D, E) kolone unose se optimističko vreme (o), srednje vreme (m) i pesimističko (p) vreme trajanja aktivnosti. Dalje, u petoj (F) i šestoj (G) koloni izračunava se srednje vreme trajanja aktivnosti (μ) i disperzija vremena trajanja aktivnosti (σ^2), na osnovu formula (2) i (1). Nakon toga se definiše srednji kritičan put, tako što se u krajnju desnu kolonu (H) tabele u red u kojem je aktivnost koja se nalazi na srednjem kritičnom putu, unosi *. U polje K12 se unosi krajnji rok za završetak projekta (d). U poljima K7 i K8 nalaze se izračunate vrednosti za srednje vreme trajanja projekta (μ_p) i disperziju vremena trajanja projekta (σ_p^2) (sabiraju se ona vremena trajanja aktivnosti odnosno disperzije trajanja aktivnosti koje u svom redu imaju *). Na kraju se u polju K10 izračunava verovatnoća završetka projekta u planiranom roku $P(T \leq d)$ (vidi sliku VII-10).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Template for PERT Three-Estimate Approach										
2											
3			Time Estimates					On Mean			
4		Activity	o	m	p	μ	σ^2	Critical Path			
5		A	1	2	3	2	0.111	*		Mean Critical	
6		B	2	3.5	8	4	1	*		Path	
7		C	6	9	18	10	4	*		$\mu =$	44
8		D	4	5.5	10	6	1			$\sigma^2 =$	9
9		E	1	4.5	5	4	0.444	*		P(T≤d)= 0.84134474 where d = 47	
10		F	4	4	10	5	1	*			
11		G	5	6.5	11	7	1				
12		H	5	8	17	9	4				
13		I	3	7.5	9	7	1				
14		J	3	9	9	8	1	*			
15		K	4	4	4	4	0				
16		L	1	5.5	7	5	1	*			
17		M	1	2	3	2	0.111				
18		N	5	5.5	9	6	0.444	*			
19											
20											
21			Data								
22			Results								

	F	G
5	=(C5+4*D5+E5)/6	=((E5-C5)/6)^2
6	=(C6+4*D6+E6)/6	=((E6-C6)/6)^2
7	=(C7+4*D7+E7)/6	=((E7-C7)/6)^2
8	=(C8+4*D8+E8)/6	=((E8-C8)/6)^2
9	:	:
10	:	:

	K
7	=SUMIF(H5:H18,"*",F5:F18)
8	=SUMIF(H5:H18,"*",G5:G18)
9	
10	=NORMDIST(K12,K7,SQRT(K8),1)

Slika P1-16. Izračunavanje verovatnoće završetka projekta u predviđenom roku.

Pošto je $P(T \leq d) = 0,84$ verovatno optimistička aproksimacija verovatnoće završetka projekta u planiranom roku, rukovodilac projekta zna da je stvarna verovatnoća završetka projekta u planiranom roku samo 70 do 80 procenata. Prema tome, pošto postoji velika šansa da kompanija ne plati penale u iznosu od 300.000 NJ tj. da će završiti projekat u planiranom roku, rukovodilac projekta odlučuje da ispita koliko bi koštalo smanjenje vremena trajanja projekta na 40 nedelja, kako bi kompanija možda mogla da zaradi bonus u iznosu od 150.000 NJ.

PITANJA:

01. Šta predstavlja proces kreiranja WBS-a.
02. Tehnika dekompozicije za izradu WBS-a.
03. Na osnovu čega se može oblikovati struktura WBS-a.
04. Najniži nivoi WBS-a.
05. Primer kreiranja WBS-a.
06. Tipovi međuzavisnosti aktivnosti.
07. Koji uslov moraju da ispune neposredno prethodne aktivnosti kod tipa međuzavisnosti aktivnosti kraj-početak.
08. Šta podrazumeva procena vremena trajanja aktivnosti.
09. Navesti načine za procenu vremena trajanja aktivnosti.
10. Na osnovu koja tri vremena trajanja aktivnosti se, po metodi PERT, određuje srednje vreme trajanja aktivnosti.
11. Po kojem pretpostavljenom teorijskom zakonu raspodele se ponaša trajanje svih aktivnosti projekta.
12. Formule za određivanje srednjeg vremena trajanja aktivnosti i disperzije vremena trajanja aktivnosti.
13. Navesti tri vrste informacija koje su potrebne da bi se opisao projekat.
14. Navesti koji se grafički prikazi mogu koristiti za vizuelni prikaz redosleda i međuzavisnosti aktivnosti.
15. Šta predstavlja mrežni dijagram.
16. Iz čega se sastoji mrežni dijagram.
17. Vrste mrežnih dijagrama.
18. Mrežni dijagram orijentisan lukovima.
19. Mrežni dijagram orijentisan čvorištima.
20. Prednosti mrežnog dijagrama orijentisanog čvorištima u odnosu na mrežni dijagram orijentisan lukovima.
21. Šta predstavlja metoda kritičnog puta.
22. Šta predstavljaju vremena najranijeg početka odnosno završetka aktivnosti.
23. Pravilo određivanja vremena najranijeg početka aktivnosti.
24. Šta predstavljaju vremena najkasnijeg početka odnosno završetka aktivnosti.
25. Pravilo određivanja vremena najkasnijeg završetka aktivnosti.
26. Šta predstavlja vremenska rezerva aktivnosti.
27. Označavanje karakterističnih vremena na mrežnom dijagramu.
28. Šta predstavlja putanja kroz mrežni dijagram.
29. Čemu je jednaka dužina putanje kroz mrežni dijagram.
30. Šta predstavlja kritičan put.
31. Koji uslov ispunjavaju aktivnosti koje se nalaze na kritičnom putu.
32. Šta predstavlja srednji kritičan put.
33. Izračunavanje matematičkog očekivanja (srednje vrednosti) raspodele vremena trajanja projekta.
34. Izračunavanje disperzije raspodele vremena trajanja projekta.
35. Koja je pretpostavljena raspodela vremena trajanja projekta.