

# Tehno-Ekonomska Analiza & UPRAVLJANJE PROJEKTIMA

(priručnik za izradu seminarskog rada sa izvodima iz teorije) #2

Rukovodilac projekta, nakon što se uverio da postoje realne šanse da će se projekat završiti u planiranom roku, hoće da ispita koliko je potrebno uložiti dodatnih sredstava da bi se procenjeno vreme potrebno za završetak projekta skratio na 40 nedelja (krajnji rok da bi kompanija zaradila bonus od 150.000 NJ za završetak projekta pre postavljenog roka). Prema tome, da bi se to ostvarilo, potrebno je dati odgovor na osmo postavljeno pitanje:

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?

Odgovor na postavljeno pitanje daje jedna od procedura metode CPM, bazirana na linearnom programiranju.

---

## Troškovi skraćanja vremena trajanja projekta

*Kompresija termin plana* predstavlja skraćenje termin plana projekta bez izmene obima projekta, sa datim ograničenjima, određenim datumima i drugim ciljevima termin plana. \*1

Najčešće korišćena tehnika kompresije termin plana je *Crashing*.

Crashing je tehnika kompresije termin plana u kojoj se analiziraju odnosi između troškova i dužine (vremena trajanja) termin plana u cilju pronalaženja najvećeg skraćanja termin plana uz najmanje povećanje troškova. Crashing može da se primeni samo na aktivnosti na kritičnom putu kod kojih uvođenje dodatnih resursa dovodi do smanjenja trajanja. Crashing ne daje uvek praktične i izvodljive alternative i može da utiče na povećanje rizika i/ili troškova. \*2

Koncept Crashing-a se sastoji iz dva koraka: *smanjenje vremena trajanja aktivnosti* koje se bazira se na proceni troškova svake od aktivnosti u funkciji njenog vremena trajanja i *smanjenje vremena trajanja (termin plana) projekta*. \*3

**Smanjenje vremena trajanja aktivnosti** podrazumeva preduzimanje posebnih (skupih) mera u cilju smanjenja vremena trajanja aktivnosti ispod njenog normalnog (procenjenog odn. srednjeg) vremena trajanja. Te specijalne mere mogu da obuhvate npr.: prekovremeni rad, angažovanje dodatne privremene pomoći, korišćenje specijalnih materijala, korišćenje specijalizovane opreme itd. \*4

**Smanjenje vremena trajanja projekta** podrazumeva smanjenje vremena trajanja određenog broja aktivnosti da bi se vreme trajanja projekta skratilo ispod njegovog normalnog (procenjenog) vremena trajanja. \*5

Procedura smanjenja vremena trajanja projekta, metode CPM, određuje koju aktivnost i za koliko je potrebno skratiti da bi se procenjeno vreme trajanja projekta skratilo na željenu vrednost. \*6

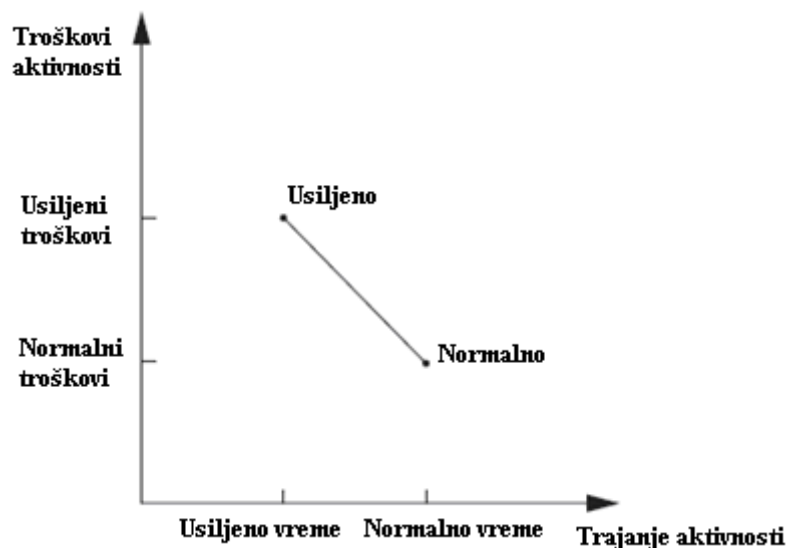
#### Smanjenje vremena trajanja aktivnosti

Pretpostavka je da bilo koja aktivnost projekta ima sledeću osobinu: *trajanje aktivnosti može biti smanjeno samo do određene granice*. Kada se ulaganjem dodatnih sredstava ostvari ta granica, tada nikakva naknadna ulaganja ne mogu uticati na dalje skraćivanje trajanja aktivnosti. \*7

Na ovaj način dobijeno minimalno vreme trajanja aktivnosti naziva se **usiljeno trajanje aktivnosti**, a troškovi koji nastaju pri takvom trajanju aktivnosti nazivaju se maksimalni odnosno **usiljeni troškovi**. \*8

Sa druge strane svaka aktivnost se karakteriše nekim srednjim ( $\mu$ ) odnosno procenjenim tj. optimalnim vremenom trajanja. Takvo vreme trajanja aktivnosti se naziva **normalno trajanje aktivnosti**. Troškovi izvršenja aktivnosti koja ima normalno vreme trajanja su minimalni (normalni). \*9

Potrebni podaci za određivanje, koliko je moguće skratiti datu aktivnost dati su obično u obliku zavisnosti troškova izvođenja aktivnosti od njenog trajanja. Slika P2-1 prikazuje dijagram zavisnosti troškova od vremena trajanja aktivnosti. Na dijagramu se izdvajaju dve krajnje varijante (tačke) *usiljeno* i *normalno*.



Slika P2-1. Zavisnost troškova od vremena trajanja aktivnosti. \*10

Tačka **normalno** na dijagramu, za datu aktivnost projekta, prikazuje vreme trajanja i troškove izvršenja aktivnosti kada se data aktivnost izvršava na uobičajen

(normalan) način. Tačka **usiljeno** prikazuje vreme trajanja i troškove izvršenja aktivnosti kada je vreme trajanja date aktivnosti smanjeno do maksimuma. Metoda CPM podrazumeva da se ova vremena mogu pouzdano predvideti bez značajne neizvesnosti.

U većini slučajeva, pretpostavlja se da će delimično skraćenje trajanja aktivnosti, u bilo kojoj fazi izvršenja, dati kombinaciju vremena trajanja i troškova koja se nalazi negde na duži između ove dve krajnje tačke (normalno i usiljeno). Npr. ako se vreme trajanja aktivnosti smanji za polovinu od maksimalno mogućeg, to će tačka, koja označava troškove aktivnosti u zavisnosti od vremena trajanja, biti tačno na polovini duži čije su krajnje tačke *normalno* i *usiljeno*. Ova aproksimacija smanjuje količinu potrebnih podataka za procenu zavisnosti troškova od vremena trajanja aktivnosti na samo dva slučaja: normalno vreme trajanja aktivnosti (tačka: normalno) i usiljeno vreme trajanja aktivnosti (tačka: usiljeno).

Troškovi skraćanja po jedinici vremena se određuju na sledeći način:

$$\text{Troškovi skraćanja po jedinici vremena} = \frac{\text{Usiljeni troškovi} - \text{Normalni troškovi}}{\text{Maksimalno skracenje}} \text{ NJ}$$

Koristeći ovaj pristup potrebno je za sve aktivnosti projekta odrediti troškove izvršenja aktivnosti u zavisnosti od normalnog trajanja i usiljenog trajanja aktivnosti.

#### Smanjenje vremena trajanja projekta

Radi smanjenja vremena trajanja projekta, menadžer projekta treba da ispita mogućnosti delimičnog ili maksimalnog smanjenja trajanja nekih aktivnosti, na osnovu njihovih usiljenjih i normalnih vremena i troškova, u cilju skraćanja predviđenog vremena trajanja projekta (termin plana).

**Problem:** kojim aktivnostima i koliko treba smanjiti trajanje da bi se, na najjeftiniji način, skratilo (procenjeno) vreme trajanja projekta na zahtevano vreme trajanja ?

Jedan od načina da se ovaj problem reši jeste tzv. **analiza graničnih troškova**, koja koristi troškove skraćanja aktivnosti po jedinici vremena (dan, nedelja) za određivanje najjeftinijeg načina za postupno smanjenje trajanja projekta, dan po dan ili nedelju po nedelju. \*11

Za velike mrežne dijagrame analiza graničnih troškova postaje teško primenljiva jer je teško pronaći i pratiti sve putanje kroz mrežni dijagram. Iz tih razloga umesto analize graničnih troškova metoda CPM koristi *linearno programiranje* za određivanje najjeftinijeg načina za skraćenje vremena trajanja projekta.

Problem određivanja najjeftinijeg načina za skraćenje vremena trajanja projekta može se preformulisati u oblik pogodan za primenu linearnog programiranja (LP) na sledeći način:

**Postavka problema u formi LP:** Neka funkcija  $Z$  predstavlja ukupne troškove smanjenja vremena trajanja aktivnosti. Problem se tada sastoji u minimizaciji funkcije  $Z$ , pri ograničenju da vreme potrebno za izvršenje projekta mora biti manje ili jednako nekom unapred zadatom vremenu (od strane npr. rukovodioca projekta) \*12

Promenljive čije vrednosti je potrebno optimizirati su:

$x_j$  = smanjenje vremena trajanja aktivnosti  $j$  pri skraćivanju vremena trajanja projekta,  $j = A, B, \dots$

Funkcija cilja koju treba minimizovati ima sledeći oblik:

$$Z = c_A \cdot x_A + c_B \cdot x_B + \dots + c_N \cdot x_N + \dots$$

gde su:  $c_A, c_B, \dots$  – troškovi skraćanja aktivnosti po jedinici vremena. Svaka od promenljivih ( $x_A, x_B, \dots$ ) sa desne strane znaka jednakosti mora biti nenegativna i ne sme da uzme vrednost veću od (unapred zadate) maksimalno moguće.

Ograničenje da vreme potrebno za završetak projekta mora biti manje ili jednako nekom unapred zadatom vremenu uvodi se na sledeći način:

$y_{KRAJ}$  = vreme trajanja projekta, tj. vreme dostizanja čvorišta KRAJ u mrežnom dijagramu projekta.

Da bi se u modelu definisale međuzavisnosti aktivnosti, odnosno dodelila odgovarajuća vrednost promenljivoj  $y_{KRAJ}$ , uzimajući u obzir  $x_A, x_B, \dots$ , potrebno je uvesti sledeće dodatne promenljive u model:

$y_j$  = vreme početka aktivnosti  $j$  (za  $j = B, C, \dots, KRAJ$ ), uzimajući u obzir  $x_A, x_B, \dots$

Za aktivnost  $A$  (početnu aktivnost) ova vrsta promenljive nije potrebna, pošto sa njom počinje projekat i automatski joj se dodeljuje vrednost 0, tj.  $y_A = 0$ . Slično, pošto se čvorište KRAJ tretira kao fiktivna aktivnost (aktivnost čije je trajanje jednako nuli), definicija  $y_j$  za aktivnost KRAJ je u skladu sa definicijom  $y_{KRAJ}$  datom u prethodnom paragrafu.

Vreme početka svake od aktivnosti (uključujući i aktivnost KRAJ) je direktno povezano sa vremenom početka i trajanjem svake od njenih neposredno prethodnih aktivnosti, na sledeći način:

Za svaku aktivnost ( $B, C, \dots, N, KRAJ$ ) i svaku od njenih neposredno prethodnih aktivnosti važi: Vreme početka aktivnosti  $\geq$  (vreme početka + trajanje) date neposredno prethodne aktivnosti.

Osim toga korišćenjem normalnih vremena trajanja aktivnosti, trajanje svake od aktivnosti se definiše sledećom formulom:

$$\text{Trajanje aktivnosti } j = \text{njeno normalno vreme trajanja} - x_j$$

*„Radni primer“ - nastavak*

### Određivanje mogućeg smanjenja vremena trajanja aktivnosti

U praksi ove podatke, zajedno sa rukovodiocem projekta određuju nadzornici (predradnici) svake grupe izvođača za svoju aktivnost na projektu. Npr. predradnik grupe zadužene za postavljanje drvenih oplata na zidove (aktivnost *J*) smatra da bi mogao, ako privremeno angažuje još dva radnika i uvede prekovremeni rad, da smanji trajanje ove aktivnosti sa 8 nedelja na 6 nedelja, što bi predstavljalo minimalno vreme potrebno za izvršenje date aktivnosti. Nakon toga, ekonomisti u timu rukovodioca projekta procenjuju troškove usiljenog vremena trajanja date aktivnosti, dobijenog na gore opisan način i poredе ga sa normalnim 8-nedeljnim planom izvršenja date aktivnosti, na sledeći način:

Aktivnost *J* (postavljanje drvenih oplata na zidove):

Tačka: **Normalno**; vreme = 8 nedelja, troškovi = 430,000 NJ.

Tačka: **Usiljeno**; vreme = 6 nedelja, troškovi = 490,000 NJ.

Maksimalno skraćenje = 8 – 6 = 2 nedelje.

$$\begin{aligned} \text{Troškovi skraćenja po nedelji} &= \frac{490,00 - 430,000}{2} \text{ NJ} \\ &= 30,000 \text{ NJ.} \end{aligned}$$

U tabeli P2-1 prikazana su normalna i usiljena vremena trajanja aktivnosti kao i odgovarajući troškovi.

Tabela P2-1. Troškovi smanjenja trajanja aktivnosti projekta Construction Co.

Aktivnost	Trajanje (nedelja)		Troškovi (NJ)		Maksimalno skraćenje (nedelja)	Troškovi skraćenja (NJ/ned.)
	Normalno	Usiljeno	Normalni	Usiljeni		
A	2	1	180.000	280.000	1	100.000
B	4	2	320.000	420.000	2	50.000
C	10	7	620.000	860.000	3	80.000
D	6	4	260.000	340.000	2	40.000
E	4	3	410.000	570.000	1	160.000
F	5	3	180.000	260.000	2	40.000
G	7	4	900.000	1.020.000	3	40.000
H	9	6	200.000	380.000	3	60.000
I	7	5	210.000	270.000	2	30.000
J	8	6	430.000	490.000	2	30.000
K	4	3	160.000	200.000	1	40.000
L	5	3	250.000	350.000	2	50.000
M	2	1	100.000	200.000	1	100.000
N	6	3	330.000	510.000	3	60.000

### Određivanje Smanjenja vremena trajanja projekta (aktivnosti kojima treba smanjiti trajanje)

Sumiranjem potrebnih troškova pri normalnom trajanju aktivnosti i troškova pri usiljenom trajanju aktivnosti (kolone 4 i 5 u tabeli P2-1) dobija se:

Suma normalnih troškova = 4.55 miliona NJ

Suma usiljenih troškova = 6.15 miliona NJ

Kao što je u prethodnom tekstu rečeno, kompanija Construction Co. je pobedila na tenderu za izvođenje projekta sa ponudom od 5.4 miliona NJ (u ovaj iznos nije uključen bonus u iznosu od 150.000 NJ za završetak projekta u roku od 40 nedelja kao ni penali u iznosu od 300.000 NJ ako se projekat ne završi u roku od 47 nedelja). Ugovoreni iznos treba da pokrije neke opšte troškove i troškove izvršavanja aktivnosti projekta (date u tabeli P2-1), kao i da obezbedi razumnu (prihvatljivu) zaradu kompaniji. Sačinjavajući ponudu za tender u iznosu od 5.4 miliona NJ, menadžment kompanije Construction Co. je procenio da će taj iznos obezbediti prihvatljivu zaradu kompaniji dokle god ukupni troškovi izvršenja aktivnosti budu bliski normalnim troškovima izvršenja projekta (aktivnosti) tj. približno 4.55 miliona NJ. Odgovornost rukovodioca projekta je da obezbedi izvršenje projekta u skladu sa planiranim rokovima i sa planiranim budžetom.

Kao što je pokazano ranije, ako se sve aktivnosti izvode na normalan način predviđeno (procenjeno) vreme trajanja projekta bi trebalo da bude 44 nedelje (ako se izbegnu neplanirana kašnjenja). Ako se vreme trajanja svih aktivnosti maksimalno skрати (usiljeno vreme trajanja), na sličan način se dobija da je vreme potrebno za završetak projekta smanjeno na samo 28 nedelja. Sa druge strane troškovi izvođenja svih aktivnosti sa njihovim usiljenim vremenom trajanja iznose 6.15 miliona NJ, što znači da maksimalno smanjenje potrebnog vremena za izvršenje svih aktivnosti nije opcija koju treba razmatrati.

*Analiza graničnih troškova* koristi poslednju kolonu u tabeli P2-1 za određivanje najjeftinijeg načina za postupno smanjenje trajanja projekta, nedelju po nedelju. Najlakši način da se ova analiza sprovede je formiranje tabele, kao što je tabela P2-2, koja u sebi sadrži sve moguće putanje kroz mrežni dijagram projekta, kao i njihove dužine. Sve putanje kroz mrežni dijagram kao i njihove dužine, pri normalnom trajanju aktivnosti, prikazane su u tabeli P2-2.

Tabela P2-2. Početna tabela za analizu graničnih troškova (Construction Co.)

Aktivnost čije se trajanje smanjuje	Troškovi smanjenja trajanja	Dužina putanje					
		ABCDGHM	ABCEHM	ABCEFJKN	ABCEFJLN	ABCIJKN	ABCIJLN
		40	31	43	44	41	42

Pošto je četvrta putanja, prikazana u tabeli P2-2, najduža (44 nedelje), jedini način da se skрати vreme trajanja projekta za nedelju dana jeste smanjenje trajanja neke od aktivnosti na datoj putanji za jednu nedelju. Upoređujući troškove skraćanja

(NJ/ned.), date u poslednjoj koloni tabele P2-1, trajanja aktivnosti na najdužoj putanji uočava se da najmanje troškove skraćanja trajanja za nedelju dana, od 30.000 NJ ima aktivnost *J*. Aktivnost *I* ima iste troškove skraćanja trajanja, ali se ne nalazi na najdužoj putanji. Prema tome, prvi korak u smanjenju vremena trajanja projekta je smanjenje trajanja aktivnosti *J* za jednu nedelju.

Smanjenje trajanja aktivnosti *J* dovodi do smanjenja dužine svake putanje koja u sebi sadrži aktivnost *J* (treća, četvrta, peta i šesta putanja u tabeli P2-2) za nedelju dana, kao što je prikazano u drugom redu tabele P2-3. Pošto je četvrta putanja i dalje najduža (43 nedelje) isti postupak, nalaženja aktivnosti koja ima najmanje troškove skraćanja vremena trajanja za nedelju dana na datoj putanji, se ponavlja. Ponovo najmanje troškove skraćanja vremena trajanja ima aktivnost *J*, a kako je naznačeno u pretposlednjoj koloni tabele P2-1 maksimalno skraćanje trajanja za datu aktivnost je 2 nedelje. Dužine svake od putanja koje sadrže aktivnost *J*, usled njenog ponovnog skraćanja za jednu nedelju, prikazane su u trećem redu tabele P2-3.

Tabela P2-3. Krajnja tabela za analizu graničnih troškova (Construction Co.)

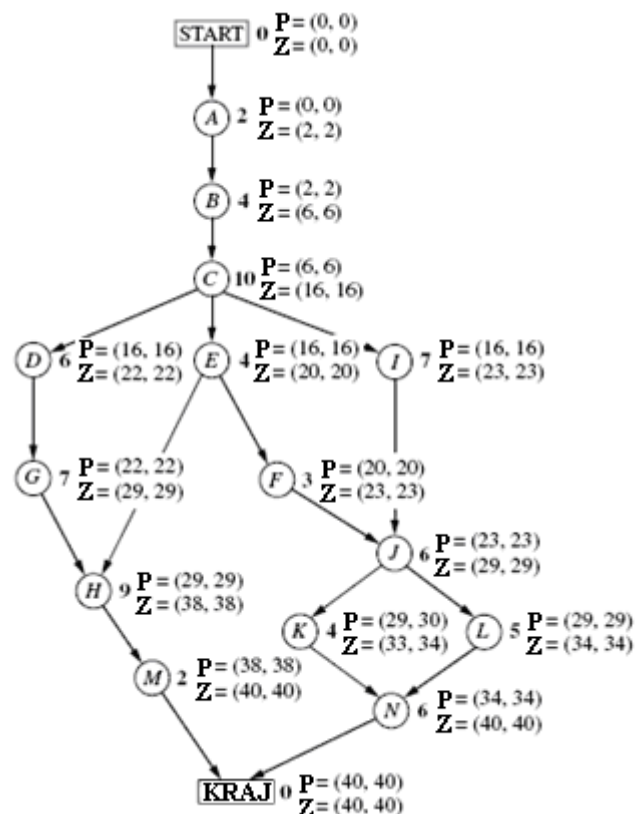
Aktivnost čije se trajanje smanjuje	Troškovi smanjenja trajanja (NJ)	Dužina putanje (nedelja)					
		<i>ABCDGHM</i>	<i>ABCEHM</i>	<i>ABCEFJKN</i>	<i>ABCEFJLN</i>	<i>ABCIJKN</i>	<i>ABCIJLN</i>
		40	31	43	44	41	42
<i>J</i>	30.000	40	31	42	43	40	41
<i>J</i>	30.000	40	31	41	42	39	40
<i>F</i>	40.000	40	31	40	41	39	40
<i>F</i>	40.000	40	31	39	40	39	40
$\Sigma$	140.000	ukupni troškovi skraćivanja vremena trajanja projekta na 40 nedelja					

Posle drugog skraćanja vremena trajanja projekta za nedelju dana, četvrta putanja je i dalje najduža (42 nedelje), ali aktivnost *J* se više ne može skraćivati jer je dostigla svoje *usiljeno* vreme trajanja. Prema tome, za dalje skraćivanje vremena trajanja projekta, potrebno je izabrati novu aktivnost na najdužoj putanji sa sledećim najmanjim troškovima skraćanja trajanja za nedelju dana.

Na osnovu poslednje kolone tabele P2-1, od preostalih aktivnosti na najdužoj putanji, najmanje troškove skraćanja vremena trajanja ima aktivnost *F* (40.000 NJ). Pošto se aktivnost *F* skрати za nedelju dana, rezultujuće dužine putanja prikazane su u četvrtom redu tabele P2-3. Dužina najduže četvrte putanje je 41 nedelja, što znači da bi se postiglo zahtevano skraćanje vremena trajanja projekta (40 nedelja) potrebno je datu putanju skratiti za još nedelju dana. Kako je maksimalno moguće skraćanje vremena trajanja aktivnosti *F* dve nedelje, to će se ona skratiti za još nedelju dana, čime dostiže svoje usiljeno vreme trajanja. Nakon drugog skraćanja aktivnosti *F* za nedelju dana rezultujuće dužine putanja prikazane su u poslednjem redu tabele P2-3.



Skraćivanjem vremena trajanja aktivnosti *J* i *F* na njihovo usiljeno vreme trajanja postignuto je zahtevano vreme trajanja projekta od 40 nedelja, tako da dalje skraćivanje vremena trajanja drugih aktivnosti nije potrebno. Ukupni troškovi skraćivanja vremena trajanja projekta na 40 nedelja iznose 140.000 NJ. Kao što je prikazano u zadnjem redu tabele P2-3, tri putanje (prva, četvrta i šesta) su najduže (40 nedelja). Ukoliko bi bilo potrebno dalje skraćivati vreme trajanja projekta morao bi se naći najjeftiniji način da se, za nedelju dana, skrate aktivnosti na sve tri putanje. Slika P2-2 prikazuje rezultujući mrežni dijagram projekta.



Slika P2-2. Mrežni dijagram projekta Construction Co., sa usiljenim vremenom trajanja aktivnosti *J* i *F* (ostale aktivnosti imaju normalno vreme trajanja).

Pošto su troškovi potrebni za skraćivanje vremena trajanja projekta (140.000 NJ) malo manji od bonusa (150.000 NJ) za završetak projekta u roku od 40 nedelja moglo bi se zaključiti da je moguće skratiti vreme trajanja projekta i zaraditi (manji) deo bonusa. Sa druge strane, postoji odgovarajuća neizvesnost vezana za dužinu trajanja aktivnosti, o čemu je u prethodnom tekstu bilo reči, tako da će odluka rukovodioca projekta najverovatnije biti da se odustane od smanjenja vremena trajanja projekta.

Slika P2-2 prikazuje mrežni dijagram projekta Construction Co., sa usiljenim vremenom trajanja aktivnosti *J* i *F* što je dovelo do toga da postoje tri kritična puta kroz mrežni dijagram, dužine 40 nedelja svaki.



## Primena linearnog programiranja pri donošenju odluka vezanih za skraćivanje vremena trajanja projekta

Prikazivanje međuzavisnosti projektnih aktivnosti, u vidu funkcionalnih ograničenja linearnog programiranja, biće objašnjeno na primeru određivanja početka ( $y_F$ ) aktivnosti  $F$  mrežnog dijagrama projekta Construction Co. (slika P2-2).

Neposredno prethodna aktivnost aktivnosti  $F$ :

Aktivnost  $E$ , čije je trajanje =  $4 - x_E$ .

Povezanost između ovih aktivnosti se definiše na sledeći način:

$$y_F \geq y_E + 4 - x_E.$$

Prema tome, aktivnost  $F$  ne može da počne dok ne počne i ne završi se aktivnost  $E$  u trajanju od:  $4 - x_E$ .

Povezanost aktivnosti  $J$ , koja ima dve neposredno prethodne aktivnosti, sa njenim neposredno prethodnim aktivnostima se definiše na sledeći način:

Neposredno prethodna aktivnost aktivnosti  $J$ :

Aktivnost  $F$ , čije je trajanje =  $5 - x_F$ .

Aktivnost  $I$ , čije je trajanje =  $7 - x_I$ .

Povezanost između ovih aktivnosti se definiše na sledeći način:

$$y_J \geq y_F + 5 - x_F,$$

$$y_J \geq y_I + 7 - x_I.$$

Prethodne dve nejednačine kažu da aktivnost  $J$  ne može da počne dok se obe njene neposredno prethodne aktivnosti ne završe.

Uvođenjem prikazanih relacija za sve aktivnosti kao ograničenja, moguće je u potpunosti definisati model linearnog programiranja, na sledeći način:

$$\text{Minimizovati } Z = 100,000 \cdot x_A + 50,000 \cdot x_B + \dots + 60,000 \cdot x_N.$$

pri datim ograničenjima:

**1. Ograničenja vezana za maksimalno moguće skraćenje trajanja aktivnosti:**

Korišćenjem podataka datih u preposlednjoj koloni tabele P2-1,

$$x_A \leq 1, x_B \leq 2, \dots, x_N \leq 3.$$

**2. Uslovi nenegativnosti:**

$$x_A \geq 0, x_B \geq 0, \dots, x_N \geq 0$$

$$y_B \geq 0, y_C \geq 0, \dots, y_N \geq 0, y_{KRAJ} \geq 0.$$

### 3. Ograničenja vezana za početak aktivnosti:

Za svaku od aktivnosti (osim za aktivnost A koja je početna aktivnost projekta) koja ima jednu neposredno prethodnu aktivnost (aktivnosti B, C, D, E, F, G, I, K, L, M) postavlja se po jedno ograničenje ove vrste, dok se za aktivnosti koje imaju dve neposredno prethodne aktivnosti (aktivnosti H, J, N, KRAJ) postavlja po dva ograničenja ove vrste.

#### Jedna neposredno prethodna aktivnost

$$y_B \geq 0 + 2 - x_A$$

$$y_C \geq y_B + 4 - x_B$$

$$y_D \geq y_C + 10 - x_C$$

.....

$$y_M \geq y_H + 9 - x_H$$

#### Dve neposredno prethodne aktivnosti

$$y_H \geq y_G + 7 - x_G$$

$$y_H \geq y_E + 4 - x_E$$

.....

$$y_{KRAJ} \geq y_M + 2 - x_M$$

$$y_{KRAJ} \geq y_N + 6 - x_N$$

### 4. Ograničenje vezano za željeno (zadato) vreme trajanja projekta:

$$y_{KRAJ} \leq 40.$$

Određivanje najjeftinijeg načina za skraćanje vremena trajanja projekta primenom linearnog programiranja (LP), korišćenjem programa **QSOpt**, vrši se na sledeći način:

#### 1. U prozor „LP Input“ treba uneti sledeće:

Problem

PERT/CPM

Minimize

$$\text{obj: } 100000x_A + 50000x_B + 80000x_C + 40000x_D + 160000x_E + 40000x_F + 40000x_G + 60000x_H + 30000x_I + 30000x_J + 40000x_K + 50000x_L + 100000x_M + 60000x_N$$

Subject

$$c1: y_B + x_A \geq 2$$

$$y_C + x_B - y_B \geq 4$$

$$y_D + x_C - y_C \geq 10$$

$$y_E + x_C - y_C \geq 10$$

$$y_I + x_C - y_C \geq 10$$

$$y_G + x_D - y_D \geq 6$$

$$y_F + x_E - y_E \geq 4$$

$$y_K + x_J - y_J \geq 8$$

$$y_L + x_J - y_J \geq 8$$

$$y_M + x_H - y_H \geq 9$$

$$y_H + x_G - y_G \geq 7$$

$$y_H + x_E - y_E \geq 4$$

$$y_J + x_I - y_I \geq 7$$

$$y_J + x_F - y_F \geq 5$$

$$y_N + x_K - y_K \geq 4$$

$$y_N + x_L - y_L \geq 5$$

$$y_{KRAJ} + x_M - y_M \geq 2$$

$$y_{KRAJ} + x_N - y_N \geq 6$$

Bounds

$$x_A \leq 1$$

$$x_B \leq 2$$

$$x_C \leq 3$$

$$x_D \leq 2$$

```

xE<=1
xF<=2
xG<=3
xH<=3
xI<=2
xJ<=2
xK<=1
xL<=2
xM<=1
xN<=3
yKRAJ<=40
End

```

2. Sa horizontalnog menija izabrati „Solver“ i opciju „Solve“ ili (Ctrl+R) ili izabrati ikonicu „go“, nakon čega će se, u prozoru „Solution“ pojaviti se sledeće:

```

PERT/CPM Objective:
140000.00000
Primal Solution Values:
xF = 2.00000
xJ = 2.00000
yB = 2.00000
yC = 6.00000
yD = 16.00000
yE = 16.00000
yI = 16.00000
yG = 22.00000
yF = 20.00000
yK = 30.00000
yJ = 23.00000
yL = 29.00000
yM = 38.00000
yH = 29.00000
yN = 34.00000
yKRAJ = 40.00000

```

Potrebno je napomenuti da oblik nejednakosti  $\geq$ , u ograničenjima vezanim za početak aktivnosti, dozvoljava da aktivnosti ne počnu odmah po završetku neposredno prethodnih aktivnosti. Takva vrsta kašnjenja početka izvršenja aktivnosti je moguća samo za one aktivnosti koje imaju vremensku rezervu. Svako nepotrebno kašnjenje početka aktivnosti na kritičnom putu ne može biti optimalno i uslovljava nove troškove vezane za smanjenje trajanja aktivnosti u cilju postizanja željenog vremena trajanja projekta. Zato, optimalno rešenje postavljenog modela neće imati takvu vrstu kašnjenja početka aktivnosti na kritičnom putu.

Dobijeno rešenje pokazuje da aktivnost *K* ne počinje odmah po završetku njene jedine neposredno prethodne aktivnosti *J*, tj. aktivnost *K* počinje u 30-oj nedelji iako se aktivnost *J* završava u 29-oj nedelji, ali to ne utiče na optimalno rešenje jer aktivnost *K* nije na kritičnom putu. Dobijeno rešenje odgovara mrežnom dijagramu prikazanom na slici P2-2 koji je dobijen primenom analize graničnih troškova.

### Zaključci rukovodioca projekta

Rukovodilac projekta, pored ostalog, najviše vodi računa o troškovima projekta. Zbog toga, kada mu njegov tim predstavi plan za smanjenje vremena trajanja aktivnosti u cilju skraćanja vremena trajanja projekta sa 44 nedelje na 40 nedelja, prvo što će pogledati jesu procenjeni ukupni troškovi za završetak projekta u iznosu od 4.69 miliona NJ. Kako su procenjeni ukupni troškovi za završetak projekta pri normalnom vremenu trajanja aktivnosti 4.55 miliona NJ, proizilazi da su dodatni troškovi za smanjenje vremena trajanja pojedinih aktivnosti 140.000 NJ, što je za 10.000 NJ manje nego bonus (150.000 NJ) koji bi kompanija zaradila ukoliko završi projekat u roku od 40 nedelja.

Na osnovu velikog iskustva, koje svaki rukovodilac projekta treba da ima, on zna da postoji značajna neizvesnost u vezi sa stvarnim trajanjem kako pojedinih aktivnosti tako i projekta u celini. Raspodela verovatnoća vremena trajanja projekta, prikazana u prethodnom tekstu, u slučaju izvršenja aktivnosti bez smanjenja njihovog vremena trajanja ima matematičko očekivanje 44 nedelje i veliku disperziju koja dovodi do toga da postoji značajna verovatnoća (grubo 0.2) da se projekat neće završiti ni za 47 nedelja (što automatski povlači plaćanje penala u iznosu od 300.000 NJ). Sa najjeftinijim planom za smanjenje vremena trajanja projekta, tj. matematičkog očekivanja raspodele vremena trajanja projekta na 40 nedelja, podjednake su verovatnoće da će se projekat završiti za 40 nedelja i da će vreme potrebno za završetak projekta biti veće od 40 nedelja. Postavlja se pitanje: zašto potrošiti 140.000 NJ da bi se sa 50% šanse zaradio bonus od 150.000 NJ?

**Zaključak 1:** Plan za smanjenje vremena trajanja projekta na 40 nedelja je ostvarljiv sa verovatnoćom od samo 0.5, tako da dodatni troškovi potrebni za smanjenje trajanja aktivnosti (140.000 NJ) nisu opravdani. Prema tome, rukovodilac projekta, na samom početku izvođenja projekta odbacuje ovu mogućnost.

Aktivnosti ( $F$  i  $J$ ) čije je smanjenje trajanja predviđeno u cilju skraćanja vremena trajanja projekta na 40 nedelja, nalaze približno na polovini kritičnog puta mrežnog dijagrama projekta. Prema tome, ako izvršenje projekta napreduje po planu pre nego što na red dođe izvršenje aktivnosti  $F$ , tada bi primena plana za smanjenje vremena trajanja aktivnosti gotovo sigurno omogućila završetak projekta za 40 nedelja. Osim toga, rukovodilac projekta zna da bi završetak projekta pre roka značajno doprineo reputaciji kompanije Construction Co.

**Zaključak 2:** Potrebni dodatni troškovi tj. plan za smanjenje trajanja aktivnosti ima opravdanje jedino ako sigurno dovodi do završetka projekta za 40 nedelja odnosno dobijanja bonusa u iznosu od 150.000 NJ. Prema tome, rukovodilac projekta će dati plan držati u rezervi da bi ga primenio u slučaju da izvršenje projekta napreduje po planu pre nego što na red dođe izvršenje aktivnosti  $F$ .

Rukovodilac projekta je i dalje zabrinut zbog mogućnosti da izvršenje projekta ne napreduje po planu (kasni) i da kompanija može doći u situaciju da mora da plati penale u iznosu od 300.000 NJ zbog probijanja roka za završetak projekta od 47 nedelja. Ako ovaj scenario (bez smanjenja vremena trajanja aktivnosti) postane izvestan, rukovodilac projekta smatra da ga verovatno može izbeći smanjenjem vremena trajanja aktivnosti  $J$  (po ceni od 30.000 NJ nedeljno) i ako je potrebno smanjenjem vremena trajanja aktivnosti  $F$  (po ceni od 40.000 NJ nedeljno). Ovo će biti izvodljivo ako aktivnosti  $J$  i  $F$  ostanu na kritičnom putu (što je izvesno) pošto se kašnjenja u izvršenju projekta dogode.

**Zaključak 3:** Ukupni dodatni troškovi ili samo jedan deo njih, potrebni za smanjenje trajanja aktivnosti, lako se mogu opravdati ako se njihovim ulaganjem izbegne plaćanje penala u iznosu od 300.000 NJ zbog probijanja roka završetka projekta od 47 nedelja. Prema tome, rukovodilac projekta će dati plan držati u rezervi da bi ga u potpunosti ili delimično primenio u slučaju da izvršenje projekta ne napreduje po planu pre nego što na red dođe izvršenje aktivnosti  $F$  ili aktivnosti  $J$ .

Pored toga što pažljivo prati da li se projekat izvršava po planu (i donosi odluke o skraćenju vremena trajanja pojedinih aktivnosti), rukovodilac projekta mora takođe pažljivo da prati troškove izvršenja projekta da bi ih držao u okviru planiranog budžeta projekta.

#### Planiranje i kontrola troškova projekta u vremenu

Svaki dobar rukovodilac projekta pažljivo planira i prati kako vremenski tako i troškovni aspekt projekta. Oba aspekta, redosled izvršenja aktivnosti (analiza vremena) i plansko trošenje sredstava u okviru budžeta (analiza troškova), su jednako važni za dobro izvršenje projekta.

Rukovodilac projekta je u situaciji da, pošto se sve analize i proračuni opisani u prethodnom tekstu završe, može da se fokusira na praćenje troškova dajući odgovor na poslednje od postavljenih pitanja:

9. Na koji način se tekući troškovi mogu pratiti u cilju održavanja troškova projekta u okviru budžeta?

Rukovodilac projekta odlučuje da praćenje tekućih troškova koristi deo metode PERT/CPM, posebno dizajniran za ove svrhe, nazvan PERT/Cost (PERT/Troškovi).

## Procena troškova projekta i aktivnosti & Planiranje troškova projekta u vremenu

### Definicija troškova projekta. Osnovni pojmovi.

Troškovi se mogu definisati kao resurs koji je potrošen radi postizanja konkretnog cilja. Troškovi se najčešće izražavaju novčanim jedinicama (npr. dinar, €, \$), koje se moraju isplatiti da bi se pribavio proizvod ili usluga. S obzirom da projekti imaju cenu koštanja i koriste resurse koji bi se mogli iskoristiti i na drugi način, veoma je bitno da menadžeri projekta razumeju različite mogućnosti i prednosti upravljanja troškovima projekta.

Menadžeri projekta moraju razumeti neke principe, koncepte i pojmove u oblasti upravljanja troškovima, kao što su: profit, troškovi životnog ciklusa, analiza novčanih tokova, opipljivi i neopipljivi troškovi i koristi, direktni troškovi, izgubljeni troškovi, teorija krive učenja i rezerve.

- *Profit* predstavlja razliku između ukupnih prihoda i ukupnih rashoda. Da bi se profit povećao, preduzeće može povećati prihode, smanjiti rashode ili oba istovremeno. Većina menadžera najviše pažnje posvećuje upravo profitu. Kada treba opravdati ulaganja u novi projekat, bitno je fokusirati se na njegov uticaj na profit, a ne samo na prihode ili rashode.
- *Troškovi životnog ciklusa* daju širu sliku troškova projekta tokom čitavog životnog ciklusa i preciznu projekciju finansijskih troškova i koristi. Npr., projekat izgradnje novog postrojenja može trajati godinu ili dve, ali će novo postrojenje biti u funkciji npr. narednih deset godina.
- *Analiza novčanih tokova* je metod kojim se utvrđuju procenjeni godišnji troškovi i koristi od projekta, čime se dobija godišnji prikaz novčanih tokova. Većina potrošača razume osnovni koncept novčanih tokova. Ako nemaju dovoljno novca u novčaniku ili na računu, ne mogu kupiti neki proizvod. Menadžment mora razmotriti novčane tokove pri izboru projekata u koje će ulagati. Ako menadžment pokrene više projekata sa velikim novčanim tokovima u istoj godini, kompanija možda neće biti u stanju da podrži sve svoje projekte i ostane profitabilna.
- *Opipljivi i neopipljivi troškovi i koristi* predstavljaju kategorije kojima se utvrđuje koliko su merljivi procenjeni troškovi i koristi. *Opipljivi troškovi ili koristi* predstavljaju one troškove ili koristi koje organizacija lako može izmeriti u novčanim jedinicama. *Neopipljivi troškovi ili koristi* su troškovi ili koristi koje je teško izmeriti u novčanim jedinicama. Ako, npr., pojedinci iz projektnog tima posvete određeno vreme aktivnostima koje nisu vezane za projekat, troškovi njihovog rada i materijala mogu se smatrati neopipljivim. Neopipljive koristi za projekte najčešće obuhvataju elemente kao što je poslovni ugled, prestiž i opšte izjave o poboljšanju produktivnosti koje organizacija ne može lako prevesti u novčane iznose. Kako je neopipljive troškove i koristi teško izmeriti, još ih je teže opravdati.

- *Direktni troškovi* su troškovi koji se mogu direktno povezati sa izradom proizvoda i pružanjem usluga na projektu. Direktni troškovi se mogu direktno pripisati određenom projektu. Npr., plate zaposlenih koji rade na projektu i oprema nabavljena za potrebe projekta čine direktne troškove. Rukovodioci projekta treba da se fokusiraju na direktne troškove, koji su pod njihovom kontrolom.
- *Indirektni troškovi* su troškovi koji nisu direktno povezani sa izradom proizvoda i pružanjem usluga na projektu, ali su indirektno povezani sa njegovim izvođenjem. Npr., troškovi električne energije, fotokopiranja i slično u velikoj poslovnoj zgradi sa hiljadu zaposlenih koji rade na mnogobrojnim projektima bi bili indirektni troškovi. Indirektni troškovi se dele na projekte, a menadžeri projekta imaju veoma malu kontrolu nad njima.
- *Izgubljeni troškovi* predstavljaju novac koji je ranije potrošen i treba ih smatrati izgubljenim. Mnogi menadžeri projekta padaju u zamku u vezi sa time koliko novca je potrošeno na neuspešan projekat i prema tome, ne žele da prestanu da troše novac na taj projekat. Ova zamka je slična kockarima koji ne žele da prestanu da se kockaju jer su već izgubili. Izgubljene troškove bi trebalo zaboraviti.
- *Teorija krive učenja* tvrdi da kada se veliki broj proizvoda stalno proizvodi, pojedinačni troškovi tih proizvoda opadaju sa povećanjem broja proizvedenih jedinica. Npr., pretpostavimo da se proizvodi 1000 jedinica nekog proizvoda – troškovi proizvodnje prve jedinice su znatno veći od troškova hiljadite.
- *Rezerve* su novčani iznosi uključeni u procenu troškova, radi smanjenja troškovnog rizika, ostavljanjem prostora za buduće situacije koje je teško predvideti.

### **Procena troškova projekta**

Menadžeri projekta moraju pristupiti proceni troškova veoma ozbiljno, ako žele da završe projekte u okviru budžetskih ograničenja. *Procena troškova projekta* je proces određivanja približne vrednosti novčanih resursa potrebnih za završetak svih aktivnosti projekta. \*13 Procena troškova je predviđanje zasnovano na informacijama koje su poznate u datom trenutku i obuhvataju identifikaciju i razmatranje različitih troškova kao i kompromise i rizike troškova (napravi ili kupi, kupi ili iznajmi, razmena resursa) koji nastaju u toku životnog ciklusa projekta.

Procena troškova je obično izražena u novčanim jedinicama. U nekim slučajevima se koriste i druge jedinice merenja (čovjek/sati, čovek/dani) da bi se omogućilo poređenje troškova uz eliminaciju efekta kolebanja novca.

Procene troškova treba vršiti iterativno tokom izvršavanja projekta kako bi se uzeli u obzir i novi detalji i informacije kada budu dostupne. Preciznost procene troškova raste kako projekat napreduje kroz svoj životni ciklus. Procena troškova je proces koji se ponavlja iz faze u fazu projekta.



Tri osnovna tipa procene troškova projekta su: \*13a

- *Gruba procena* ima cilj da utvrdi koliko će projekat koštati. Gruba procena se često naziva i približnom procenom. Menadžeri koriste ovu procenu za donošenje odluka o izboru projekta. Vreme u kome se ova procena vrši je najčešće tri i više godina pre realizacije projekta. Tačnost procene se uobičajeno kreće između –50 i +100 procenata, što znači da stvarni troškovi projekta mogu biti za 50 procenata manji ili za 100 procenata veći od grube procene.
- *Budžetska procena* se koristi za planiranje novčanih sredstava u budžetu preduzeća. Veliki broj preduzeća planira budžet minimum godinu dana unapred. Budžetske procene se izrađuju godinu ili dve pre realizacije projekta. Tačnost budžetske procene se najčešće kreće između –10 i +25 procenata, što znači da stvarni troškovi mogu biti 10 procenata manji ili 25 procenata viši od budžetske procene.
- *Konačna procena* daje tačnu procenu troškova projekta. Konačne procene se koriste za donošenje mnogobrojnih odluka o nabavkama za koje su potrebni precizni podaci i utvrđivanja konačnih troškova projekta. Konačne procene se izrađuju do godinu dana pre početka projekta. Konačna procena bi trebalo da bude najtačnija od navedena tri tipa procena. Tačnost ove procene je najčešće između –5 i +10 procenata, što znači da stvarni troškovi mogu biti 5 procenata manji ili 10 procenata viši od konačne procene.

*Procene troškova aktivnosti.* Procena troškova aktivnosti predstavlja kvantitativnu procenu verovatnih troškova potrebnih za završetak posla na projektu (vezano za datu aktivnost). Troškovi se procenjuju za sve aktivnosti i pripadajuće resurse kao što su: direktan rad, materijal, oprema, usluge, objekti, informacione tehnologije i specijalne kategorije kao što su inflatorna naknada, sigurnosne rezerve itd. Indirektni troškovi, ako su uključeni u procenu troškova, mogu se uvrstiti na nivou aktivnosti ili na višim nivoima. \*13b

Deljenjem procenjenih troškova, potrebnih za izvršenje kompletne aktivnosti, sa procenjenim (normalnim) vremenom trajanja aktivnosti dobijaju se troškovi izvršenja aktivnosti po jedinici trajanja (npr. nedelja). \*13c

Uobičajena pretpostavka, kada se koristi procedura PERT/Cost, je da se troškovi izvođenja aktivnosti javljaju sa konstantnim intenzitetom tokom izvođenja (trajanja) aktivnosti. Drugim rečima to znači da su troškovi izvođenja aktivnosti ravnomerno raspoređeni po jedinicama vremena trajanja aktivnosti (mesec, nedelja). \*14

**Alati i tehnike koje se koriste procesu procene troškova \*15**

- *Procena stručnjaka.* Procena stručnjaka se zasniva na informacijama iz njihovog iskustva u izradi prethodnih sličnih projekata.
- *Analogna procena.* Analogna procena koristi stvarne troškove prethodnih, sličnih projekata kao osnovu za procenu troškova tekućeg projekta. Ona

podrazumeva značajan nivo ekspertskog razmatranja i generalno je jeftinija od ostalih, ali je i njena tačnost manja. Analogna procena je preciznija kada su prethodni projekti u suštini slični, a ne samo naizgled. Pored toga, grupe koje izrađuju procene troškova moraju posedovati neophodnu stručnost da bi utvrdile da li će određeni delovi tekućeg projekta biti skuplji ili jeftiniji nego kod sličnih projekata. Međutim, ako projekat za koji se vrši procena podrazumeva korišćenje novih znanja ili rad sa novim tehnologijama, tehnika analogne procene lako može dovesti do preniske procene.

- *Parametarska procena*. Parametarska procena koristi statističke veze između iskustvenih podataka o troškovima aktivnosti i relevantnih parametara (npr. kvadratni metar u građevinarstvu, broj linija koda u programiranju) da bi se odredila procena troškova za aktivnosti na tekućem projektu. Ovom tehnikom mogu da se postignu viši nivoi tačnosti što zavisi od složenosti projekta i ulaznih podataka koji se koriste u proceni.
- *Procena „odozdo na gore“*. Procena “odozdo na gore” obuhvata procene troškova pojedinačnih elemenata rada ili aktivnosti, koje se zatim sumiraju da bi se dobio ukupan iznos troškova za ceo projekat. Veličina individualnih stavki rada i iskustvo procenitelja utiču na tačnost procena. Ako za projekat postoji detaljno urađen WBS dijagram, menadžer projekta može od svake osobe odgovorne za deo rada tražiti da izradi procenu troškova za svoj deo posla, ili barem procenu količine potrebnih resursa. Korišćenjem manjih elemenata rada povećava se tačnost procene troškova, jer procene formiraju ljudi kojima je posao dodeljen, a ne neko ko nije upoznat sa poslom. Nedostatak ovih procena je u tome što najčešće zahtevaju dosta vremena i dobro poznavanje svih detalja projekta.
- *Procena u tri tačke*. Tačnost procene troškova se može unaprediti uzimanjem u obzir procenu neizvesnosti i rizika. Ova procena se bazira na PERT tehnici. PERT koristi tri procene kako bi se definisao približan raspona za troškove aktivnosti:
  - Najverovatniji troškovi ( $C_m$ ). Troškovi aktivnosti zasnovani na realnoj proceni napora potrebnih za izvršenje aktivnosti.
  - Optimistički troškovi ( $C_o$ ). Troškovi aktivnosti zasnovani na analizi najboljeg scenarija za datu aktivnost.
  - Pesimistički troškovi ( $C_p$ ). Troškovi aktivnosti zasnovani na analizi najgoreg scenarija za datu aktivnost.

Srednja vrednost troškova  $C_e$  date aktivnosti prema PERT tehnici izračunava se na sledeći način:

$$C_e = \frac{C_o + 4 \cdot C_m + C_p}{6}, \quad (1)$$

dok se disperzija troškova određuje kao:

$$\sigma_{C_e}^2 = \left( \frac{C_p - C_o}{6} \right)^2. \quad (2)$$

Procena troškova bazirana na izrazima (1) i (2) može da obezbedi veću preciznost i da pojasni raspon neizvesnosti procene troškova.

- *Analiza rezervi.* Procena troškova može da obuhvati i rezerve koje pokrivaju nepredviđene izdatke koji nastaju usled neizvesnosti troškova aktivnosti. Rezerve za nepredviđene izdatke mogu predstavljati procenat procenjenih troškova aktivnosti ili konkretan iznos NJ. Što više informacija o projektu postaje dostupno, rezerve za nepredviđene troškove se mogu koristiti, smanjiti ili eliminisati. Nepredviđeni izdaci treba jasno da se identifikuju u projektnoj dokumentaciji.
- *Troškovi kvaliteta (COQ).* Pretpostavke o troškovima kvaliteta se mogu koristiti za procenu troškova aktivnosti.
- *Softver za upravljanje projektom.* Softverske aplikacije za upravljanje projektom, obradu tabela, simulaciju i statističku obradu podataka su postale opšte prihvaćene kao pomoć pri proceni troškova. Ovi alati mogu da pojednostave korišćenje nekih tehnika za procenu troškova čime se olakšava i ubrzava razmatranje alternativa za procenu troškova.
- *Analiza ponuda dobavljača.* Procena troškova projekta može da obuhvati i analizu koliko bi projekat trebalo da košta zasnovanu na odgovarajućim ponudama kvalifikovanih dobavljača.

### Utvrđivanje budžeta

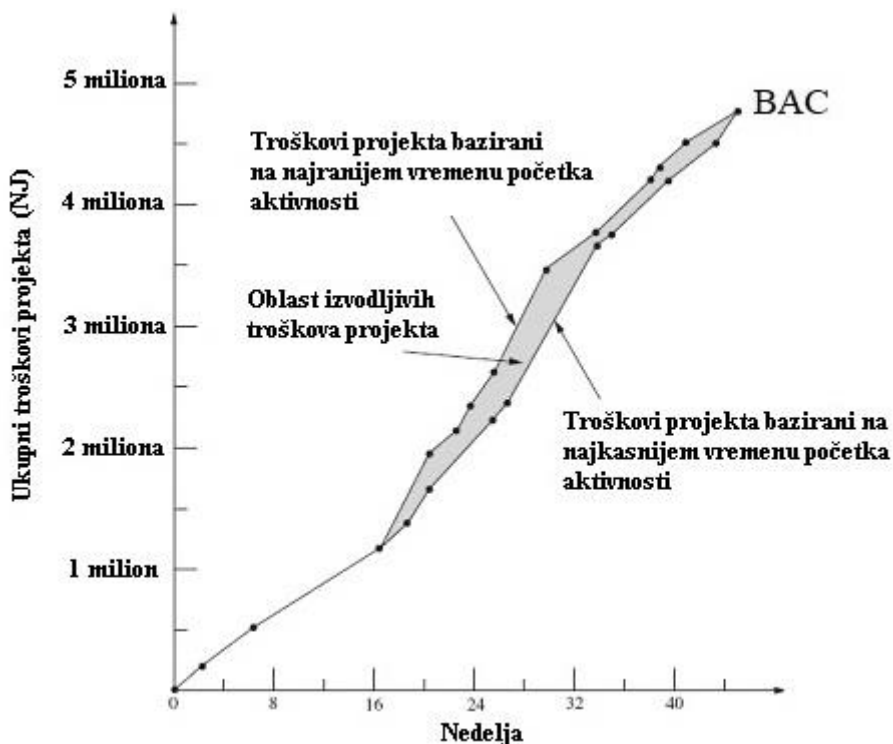
Utvrđivanje budžeta je proces sakupljanja procenjenih troškova pojedinačnih aktivnosti da bi se odredila potrebna novčana sredstva za realizaciju projekta. Jednom kad se utvrdi budžet projekta on predstavlja sredstva koja su odobrena za izvršenje projekta i predstavlja tzv. *Osnovu troškova izvođenja* projekta. Troškovi izvođenja projekta se upoređuju sa odobrenim budžetom. \*16

*Osnova troškova izvođenja.* Osnovu troškova izvođenja predstavljaju odobreni planirani troškovi u zavisnosti od vremena nastajanja koji se koriste za merenje, nadgledanje i kontrolu ukupnih troškova projekta. Osnova troškova izvođenja projekta predstavlja zbir odobrenih troškova aktivnosti u vremenu i obično je prikazana u obliku tzv. *S – krive* (Slika P2-3). \*17

*Drugim rečima, budžet projekta se dobija se kada se saberu troškovi izvođenja svih aktivnosti projekta.*

Vremena početaka i troškovi izvršenja aktivnosti na osnovu kojih je nacrtan dijagram na slici P2-3 su samo procene onoga što će se stvarno dogoditi. Slika P2-3 daje *najbolju prognozu* ukupnih troškova projekta bilo da se prati termin plan

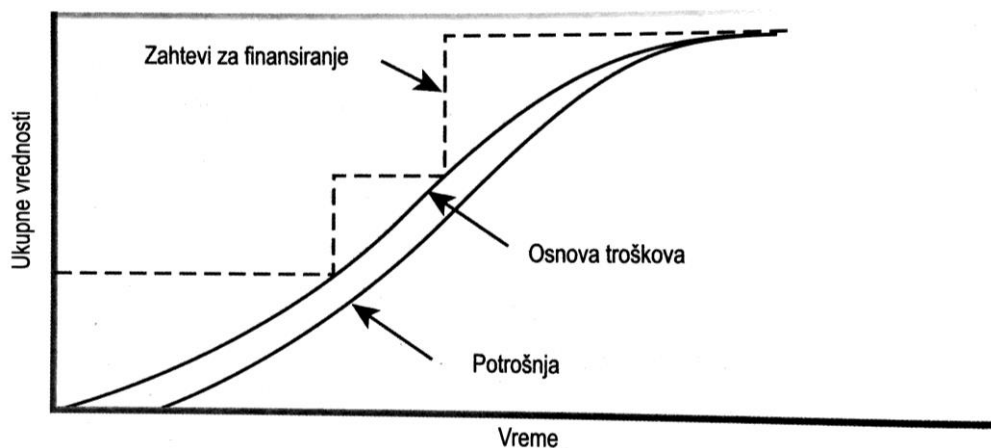
izvršenja aktivnosti prema najranijim ili najkasnijim vremenima početka aktivnosti. Izborom bilo kojeg termin plana izvršenja aktivnosti, ova najbolja prognoza postaje (odobreni) *budžet* projekta koga se treba, što je moguće striktnije, pridržavati. Budžet projekta u šrafiranoj oblasti, između dve krive troškova, takođe se može ostvariti ako se usvoji termin plan početka svake od aktivnosti koji je između najranijeg i najkasnijeg vremena početka. *Izvodljivi* budžeti nalaze se u šrafiranoj oblasti ili na jednoj od krivih troškova. Krajnja tačka na dijagramu na slici P2-3 predstavlja planirane troškove za realizaciju projekta (budžet) – BAC *budget at completion*.



Slika P2-3. Prikaz ukupnih troškova projekta za najranija vremena početka svih aktivnosti (gornja kriva troškova) kao i za najkasnija vremena početka svih aktivnosti (donja kriva troškova) \*18

### Zahtevi za finansiranje projekta

*Zahtevi za finansiranje projekta (tokovi novca)*. Odobreni budžet projekta daje informacije potrebne za izradu zahteva za finansiranje projekata. Npr., određeni projekti dobijaju sva sredstva na početku projekta, dok se drugi finansiraju periodično (stepenasti oblik krive na slici P2-4) radi izbegavanja problema sa novčanim tokovima. Ako osnova troškova ukazuje da je u pojedinim periodima (nedeljama, mesecima) potrebno više novčanih sredstava nego što se očekuje da će biti dostupno, preduzeće mora vršiti određena prilagođavanja, kako bi izbeglo finansijske probleme u vidu nelikvidnosti.



Slika P2-4. Osnova troškova (budžet), rashodi i zahtevi finansiranja projekta. \*19

„Radni primer“ - nastavak

Procena troškova aktivnosti

Procedura PERT/Cost počinje (napornim) radom na određivanju (proceni) troškova svake od aktivnosti kada se ona izvodi na planirani način (uključujući tu i planirano smanjenje vremena trajanja). U ovoj fazi projekta, rukovodilac projekta ne planira nikakvo smanjenje vremena trajanja aktivnosti, tako da se procenjeni troškovi aktivnosti, projekta Construction Co., odnose na normalno vreme trajanja aktivnosti i dati su u četvrtoj koloni tabele P2-1. Ovi troškovi takođe su prikazani i u tabeli P2-4, koja pored datih troškova – *budžeta projekta* sadrži i procenjena vremena trajanja aktivnosti (takođe data u tabeli P2-1 – *Normalno* vreme trajanja).

Tabela P2-4. Budžet projekta Construction Co.

Aktivnost	Procenjeno vreme trajanja (nedelja)	Procenjeni troškovi (NJ)	Troškovi po nedelji trajanja aktivnosti (NJ/ned.)
A	2	180.000	90.000
B	4	320.000	80.000
C	10	620.000	62.000
D	6	260.000	43.333
E	4	410.000	102.500
F	5	180.000	36.000
G	7	900.000	128.571
H	9	200.000	22.222
I	7	210.000	30.000
J	8	430.000	53.750
K	4	160.000	40.000
L	5	250.000	50.000
M	2	100.000	50.000
N	6	330.000	55.000
Budžet projekta (BAC)		4.550.000	

Kada se procedura PERT/Cost primenjuje kod projekata sa velikim brojem aktivnosti, uobičajeno je da se srodne aktivnosti svrstaju u odgovarajuće grupe (work package). U tom slučaju, dalja analiza budžeta projekta i planiranje realizacije troškova projekta u vremenu, se sprovodi sa formiranim grupama aktivnosti a ne sa pojedinačnim aktivnostima. Rukovodilac projekta je odlučio da ne formira grupe srodnih aktivnosti jer ceo projekat ima samo 14 aktivnosti.

### Planiranje realizacije – osnova za praćenje tekućih troškova projekta u vremenu

Rukovodilac projekta treba da zna koliko novca je potrebno da se pokriju troškovi izvršenja projekta iz nedelje u nedelju tj. koliki su tekući troškovi projekta. Korišćenjem procedure PERT/Cost moguće je odrediti troškove izvršenja projekta za svaku nedelju trajanja projekta. Koristeći desnu kolonu tabele P2-4, prvo se određuju nedeljni (tekući) troškovi izvršenja projekta pod pretpostavkom da je vreme početka svake aktivnosti projekta jednako vremenu njenog najranijeg početka. Nakon toga, da bi se odredilo koliko je moguće odložiti plaćanje pojedinih troškova, određuju se nedeljni (tekući) troškovi izvršenja projekta pod pretpostavkom da je vreme početka svake aktivnosti projekta jednako vremenu njenog najkasnijeg početka.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Template for PERT/Cost								
2									
3			Estimated						
4			Duration	Estimated	Start	Cost Per Week	Week	Week	...
5	Activity	(weeks)	Cost	Time	of Its Duration	1	2		
6	A	2	\$180,000	0	\$90,000	90000	90000		
7	B	4	\$320,000	2	\$80,000	0	0		
8	C	10	\$620,000	6	\$62,000	0	0		
9	D	6	\$260,000	16	\$43,333	0	0		...
10	E	4	\$410,000	16	\$102,500	0	0		
11	F	5	\$180,000	20	\$36,000	0	0		
12	G	7	\$900,000	22	\$128,571	0	0		
13	H	9	\$200,000	29	\$22,222	0	0		...
14	I	7	\$210,000	16	\$30,000	0	0		
15	J	8	\$430,000	25	\$53,750	0	0		
16	K	4	\$160,000	33	\$40,000	0	0		
17	L	5	\$250,000	33	\$50,000	0	0		...
18	M	2	\$100,000	38	\$50,000	0	0		
19	N	6	\$330,000	38	\$55,000	0	0		
20						0	0		
21									
22					Weekly Project Cost	90000	90000		...
23					Cumulative Project Cost	90000	180000		...
24									
25			Data						
26			Results						

	F	G	H	I
6	=D6/C6	=IF(AND(G5>E6,G5<=E6+C6),F6,0)	=IF(AND(H5>E6,H5<=E6+C6),F6,0)	
7	=D7/C7	=IF(AND(G5>E7,G5<=E7+C7),F7,0)	=IF(AND(H5>E7,H5<=E7+C7),F7,0)	
8	=D8/C8	=IF(AND(G5>E8,G5<=E8+C8),F8,0)	=IF(AND(H5>E8,H5<=E8+C8),F8,0)	
9	=D9/C9	=IF(AND(G5>E9,G5<=E9+C9),F9,0)	=IF(AND(H5>E9,H5<=E9+C9),F9,0)	...
10	:	:	:	
11	:	:	:	
22		=SUM(G6:G20)	=SUM(H6:H20)	...
23		=G22	=G23+H22	...

Slika P2-5. Primena procedure PERT/Cost, za projekat Construction Co. za vremena najranijeg početka aktivnosti.

Na slici P2-5 prikazana je primena procedure PERT/Cost, korišćenjem Microsoft Excel-a (u donjem delu slike prikazane su formule koje unose u odgovarajuće ćelije Excel tabele). (MS Project može da generiše u osnovi istu vrstu informacija izborom opcije *Table: Cost* sa horizontalnog menija *View* i nakon toga sa horizontalnog menija *Report* opciju *Reports*, pa *Costs* i na kraju *Cash Flow report*.) Slika P2-5 prikazuje troškove, u početnim nedeljama, izvršenja projekta Construction Co. bazirane na vremenima najranijeg početka aktivnosti. Kolone B, C i D su preuzete iz tabele P2-4 (prve tri kolone). Slika P2-6 prikazuje istu Excel tabelu (primer) za period od 17-te do 25-e nedelje. Kako aktivnosti D, E i I imaju vreme najranijeg početka po završenoj 16-oj nedelji (16 nedelja posle početka projekta), sve one počinju u 17-oj nedelji, dok aktivnosti F i G počinu kasnije u prikazanom periodu. Kolone od W do AE prikazuju nedeljne troškove (u NJ) svake od ovih aktivnosti, prikazane u koloni F (slika P2-5), tokom trajanja date aktivnosti (kolona C, slika P2-5). Red 22 prikazuje nedeljne troškove izvršenja aktivnosti, iz nedelje u nedelju.

Red 23, Excel tabele, (slike P2-5 i 6) prikazuje ukupne troškove izvršenja projekta od prve nedelje pa do posmatrane nedelje. Npr. pre 17-te nedelje, aktivnosti A, B i C su u potpunosti završene ali nijedna druga aktivnost nije počela, tako da su ukupni troškovi projekta za prvih 16 nedelja projekta (treća kolona tabele P2-4)  $180,000 + 320,000 + 620,000 = 1,120,000$  NJ. Dodavanjem troškova za izvršenje aktivnosti u 17-oj nedelji dobijaju se ukupni troškovi projekta za prvih 17 nedelja izvršenja projekta  $1,120,000 + 175,833 = 1,295,833$  NJ.

Prema tome, slika P2-6 (proširena sa ranijim i kasnijim nedeljama) prikazuje rukovodiocu projekta koliko je potrebno novca da se pokriju troškovi izvršenja projekta iz nedelje u nedelju (tekući troškovi), kao i ukupne troškove projekta od prve do posmatrane nedelje, pod pretpostavkom izvršenja projekta sa najranijim vremenom početka aktivnosti.

	A	B	E	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1	Template for PERT/Cost											
2												
3												
4			Start	Week	Week	Week	Week	Week	Week	Week	Week	Week
5		Activity	Time	17	18	19	20	21	22	23	24	25
6		A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7		B	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8		C	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9		D	16	43333.3	43333.3	43333.3	43333.3	43333.3	43333.3	0	0	0
10		E	16	102500	102500	102500	102500	0	0	0	0	0
11		F	20	0	0	0	0	36000	36000	36000	36000	36000
12		G	22	0	0	0	0	0	0	128571	128571	128571
13		H	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14		I	16	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	0	0
15		J	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16		K	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17		L	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18		M	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19		N	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21												
22		Weekly Project Cost=		175833	175833	175833	175833	109333	109333	194571	164571	164571
23		Cum. Project Cost=		1295833	1471667	1647500	1823333	1932667	2042000	2236571	2401143	256571

Slika P2-6. Nastavak Excel tabele sa slike P2-5 za nedelje 17 do 25.



Dalje, procedure PERT/Cost na isti način određuje odgovarajuće informacije u slučaju kada je vreme početka svake aktivnosti jednako vremenu njenog najkasnijeg početka. Vremena najkasnijeg početka aktivnosti prvi put su prikazana na slici P1-3, ponovo su prikazana u koloni *E* tabele na slici P2-7. Ostale kolone tabele se generišu na isti način kao i na slikama P2-5 i 6. Npr., kako aktivnost *D* ima vreme najkasnijeg početka po završenoj 20-oj nedelji (nasuprot vremena najranijeg početka po završenoj 16-oj nedelji), njeni nedeljni troškovi izvršenja, u iznosu od 43.333 NJ/nedeljno, počinu u 21-oj nedelji za razliku od prethodnog slučaja (najranije vreme početka) kada počinu u 17-oj nedelji. Slično, aktivnost *G* ima vreme najkasnijeg početka po završenoj 26-oj nedelji, tako da njeni nedeljni troškovi nisu prikazani na slici P2-7.

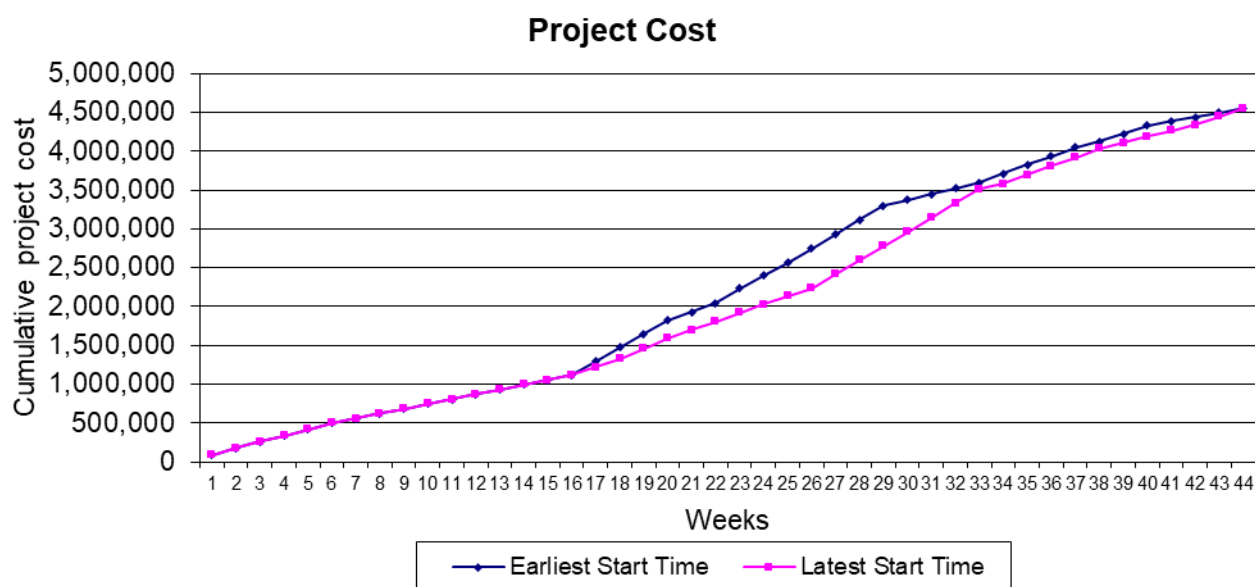
Slika P2-7 (proširena sa ranijim i kasnijim nedeljama) prikazuje rukovodiocu projekta nedeljne (tekuće) i ukupne troškove izvršenja projekta ako se odluči da odloži svaku od aktivnosti koliko je to moguće a da se pri tome ne odloži planirano vreme završetka projekta (pretpostavljajući da se neplanirana kašnjenja neće dogoditi). Poređenje 23-ćeg reda na slikama P2-6 i P2-7 pokazuje da se znatna *privremena* ušteda može postići ovim odlaganjem početka aktivnosti, što je veoma dobro ukoliko kompanija ima problema sa nedostatkom novca. Međutim, ovakva odlaganja početka izvršenja aktivnosti nije preporučljivo koristiti zato što će ona potrošiti postojeću vremensku rezervu koja, u nekim slučajevima, može da se iskoristiti da se spreči odlaganje izvršenja projekta ako se pri izvršavanju neke od aktivnosti dogode neplanirana kašnjenja.

	A	B	E	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1	Template for PERT/Cost											
2												
3												
4			Start	Week	Week	Week	Week	Week	Week	Week	Week	Week
5	Activity	Time	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
6	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	B	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	C	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	D	20	0	0	0	0	43333.3	43333.3	43333.3	43333.3	43333.3	43333.3
10	E	16	102500	102500	102500	102500	0	0	0	0	0	0
11	F	20	0	0	0	0	36000	36000	36000	36000	36000	36000
12	G	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	H	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	I	18	0	0	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
15	J	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	K	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	L	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	M	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	N	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21												
22	Weekly Project Cost=		102500	102500	132500	132500	109333	109333	109333	109333	109333	109333
23	Cum. Project Cost=		1222500	1325000	1457500	1590000	1699333	1808667	1918000	2027333	2136667	2136667

Slika P2-7. Primena procedure PERT/Cost, za projekat Construction Co., u periodu od 17-te do 25-te nedelje, za vremena najkasnijeg početka aktivnosti.

Da bi se bolje vizuelno uporedile vrednosti ukupnih troškova projekta (23-ći red u Excel tabelama na slikama P2-6 i 7), pogodno je prikazati vrednosti iz ova dva

reda na dijagramu za sve 44 nedelje trajanja projekta, kao što je prikazano na slici P2-8. Pošto su vremena najranijih i najkasnijih početaka prve tri aktivnosti A, B i C ista, što obuhvata prvih 16 nedelja, ukupni troškovi projekta su isti za oba slučaja početka aktivnosti u posmatranom periodu. Posle 16-te nedelje, dobijaju se dve odvojene krive troškova koje prikazuju razliku između 23-ćih redova u Excel tabelama na slikama P2-6 i P2-7. Pošto praćenje bilo koje krive ukupnih troškova, zavisno od početka aktivnosti (najranijeg ili najkasnijeg), dovodi do završetka projekta po isteku 44 nedelje, dve krive troškova se ponovo spajaju u toj (krajnjoj) tački sa ukupnim troškovima projekta (BAC) od 4.55 miliona NJ. Tačke na svakoj od krivih prikazuju nedelje kada se nedeljni (tekući) troškovi projekta menjaju.



Slika P2-8. Prikaz ukupnih troškova projekta za najranija vremena početaka svih aktivnosti (gornja kriva troškova) kao i za najkasnija vremena početaka svih aktivnosti (donja kriva troškova)

Kompanija Construction Co. ima odgovarajuće fondove da pokrije troškove dok ne stignu uplate od strane investitora. Prema tome, rukovodilac projekta je izabrao redosled izvođenja aktivnosti baziran na vremenima najranijeg početka aktivnosti da bi obezbedio najbolje uslove za završetak projekta bez odlaganja. (razlog: značajna verovatnoća da se projekat ne završi u roku od 47 nedelja i plate penali u iznosu od 300.000 NJ). Prema tome, predviđeni budžet projekta odgovara gornjoj krivi troškova na slici P2-8.

---

## Praćenje i kontrola troškova projekta

Kontrola troškova je proces nadgledanja statusa projekta radi ažuriranja budžeta projekta i upravljanja promenama u osnovi troškova izvođenja. Ažuriranje budžeta predstavlja beleženje stvarnih troškova utrošenih do trenutka posmatranja. Svako

povećanje usvojenog budžeta mora biti odobreno kroz proces realizacije integrisane kontrole promena. \*20

Nadgledanje novčanih rashoda bez uzimanja u obzir vrednosti posla koji se izvršio za date rashode ima mali značaj za onoga ko vrši kontrolu osim što omogućava da se ostane u vremenskom okviru odobrenog finansiranja. Najveći deo angažovanja u kontroli troškova obuhvata analiziranje odnosa između potrošnje novčanih sredstava projekta i fizičkog posla koji je obavljen za predmetne rashode.

Praćenje i kontrola troškova vrši se na osnovu: \*21

- plana upravljanja projektom,
- zahteva za finansiranje, i
- informacija o izvršenom radu.

*Informacije o izvršenom radu.* Izveštaji o napredovanju posla obuhvataju, npr. koje su aktivnosti započete, njihovo napredovanje (procenat završenosti) i koje su aktivnosti završene. Takođe izveštaji obuhvataju i informacije o troškovima koji su planirani (odobreni), troškovima izvršenja i stvarnim troškovima u trenutku preseka stanja (pravljena izveštaja) kao i procene preostalih troškova do završetka posla.

Tabela P2-5. Izveštaj o napretku projekta, presek stanja posle 22 nedelje.

Aktivnost	Najraniji početak ...	Najraniji završetak kraj ...	Procenjeni troškovi (budžet)	Planirani procenat završenosti	Planirana Vrednost PV	Stvarni procenat završenosti	Ostvarena Vrednost EV	Stvarni troškovi AC
A	1	2	180.000	100	180.000	100	180.000	200.000
B	3	6	320.000	100	320.000	100	320.000	330.000
C	7	16	620.000	100	620.000	100	620.000	600.000
D	17	22	260.000	100	260.000	75	195.000	200.000
E	17	20	410.000	100	410.000	100	410.000	400.000
F	21	25	180.000	40	72.000	25	45.000	60.000
I	17	23	210.000	85,71428	180.000	50	105.000	130.000
Ukupno					2.042.000		1.875.000	1.920.000

U tabeli P2-5 prikazan je jedan od mogućih oblika izveštaja o napredovanju projekta. Prikazani izveštaj predstavlja presek stanja (izveštaj) posle isteka polovine predviđenog vremena trajanja projekta (22 nedelje) na osnovu usvojenog termin plana prema najranijim počecima aktivnosti. U prvoj koloni navedene su aktivnosti koje su se završile ili koje su samo počele do posmatranog trenutka. U drugoj i trećoj koloni su prikazani najraniji počeci i završetci aktivnosti. Sledeća kolona prikazuje procenjene troškove potrebne za izvršenje datih aktivnosti – budžet. Peta kolona prikazuje *planirani procenat završenosti* svake od navedenih aktivnosti po isteku 22. nedelje. Sedma kolona predstavlja (procenjeni) *stvarni procenat završenosti* svake od navedenih aktivnosti po isteku 22. nedelje.

U procesu kontrole realizacije projekta najčešće se koristi metoda *Upravljanje ostvarenom vrednosti*.

Upravljanje ostvarenom vrednosti (EVM - *Earned Value Management*) je najčešće korišćena metoda u merenju učinka/realizacije projekta. Ona integriše podatke o obimu projekta, troškove i podatke o vremenu (rokove). Metoda EVM, poređenjem stvarnih informacija o realizaciji projekta sa osnovom troškova i termin planom, omogućuje merenje učinka i procenu stepena realizacije projekta. Principi EVM mogu da se primene na sve projekte i u bilo kojoj industriji. \*22

Primena metode EVM biće prikazana na podacima za aktivnost D (postavljanje krova) čije su informacije o troškovima i izvršenju date tabeli P2-5. Sledeće informacije za aktivnost D su takođe potrebne radi primene metode EVM:

- Procenjeno trajanje: 6 nedelja (tabela P1-1),
- Vreme (najranijeg) početka: 1 dan, 17 nedelja,
- Vreme (najranijeg) završetka: 5 dan, 22 nedelja.

Upravljanje ostvarenom vrednosti obuhvata izračunavanje tri vrednosti za svaku aktivnost ili sumarnu aktivnost WBS-a i to:

- *Planirana vrednost* (PV – *Planned Value*) \*23 je odobreni budžet dodeljen određenom poslu koji treba da se izvrši u okviru aktivnosti ili grupe poslova WBS-a do posmatranog datuma (preseka stanja). Planirana vrednost je takođe poznata pod pojmom planirani troškovi aktivnosti (projekta). Planirana vrednost za datu aktivnost se dobija množenjem odobrenog budžeta aktivnosti sa planiranim procentom završenosti (šesta kolona u tabeli P2-5, dobijena množenjem četvarte i pete kolone). Za aktivnost D za koju je planirano da se završi na kraju 22-ge nedelje, planirani procenat završenosti iznosi 100 %. Na osnovu toga, planirana vrednost za aktivnost D iznosi  $PV = 260.000,00$  NJ.
- *Stvarni troškovi* (AC – *Actual Costs*) \*24 predstavljaju sumu direktnih i indirektnih troškova koji nastaju prilikom obavljanja posla u okviru aktivnosti ili grupe poslova WBS-a do posmatranog datuma (preseka stanja). Npr., na osnovu podataka iz tabele P2-5 može se pretpostaviti da će aktivnost D trajati 8 umesto 6 nedelja i da će se troškovi povećati i iznositi 266.666,67 NJ. Stvarni troškovi za prvih 6 nedelja iznose  $AC = 200.000,00$  NJ, dok će stvarni troškovi za poslednje dve nedelje (produžetka trajanja aktivnosti) iznositi 66.666,67 NJ.
- *Ostvarena vrednost* (EV – *Earned Value*) \*25 predstavlja vrednost obavljenog posla izražena u zavisnosti od odobrenih planiranih troškova (budžeta) za datu aktivnost (projekat) i stvarnog procenta završenosti aktivnosti (projekta) do posmatranog datuma (preseka stanja). Na osnovu termin plana posle 22 nedelje (kad je rađen presek stanja) aktivnost D je trebala da bude 100 % završena a završeno je 75 % (tabela P2-5). Prema tome, ostvarena vrednost (osma kolona u tabeli P2-5, dobijena množenjem četvarte i sedme kolone), posle 6 nedelja, iznosi  $EV = 195.000,00$  NJ.

Odstupanja od odobrenih osnova (troškova, vremena) se mogu pratiti preko:

- *Odstupanje od termin plana* ( $SV$  – *Schedule variance*) je mera realizacije termin plana projekta. Odstupanje od termin plana predstavlja razliku između ostvarene vrednosti ( $EV$ ) i planirane vrednosti ( $PV$ ), tj.  $SV = EV - PV$ . Negativno odstupanje od termin plana ( $SV < 0$ ) znači da je za obavljanje posla trebalo više vremena nego što je planirano, dok pozitivno odstupanje ( $SV > 0$ ) znači da je za obavljanje posla trebalo manje vremena. Za aktivnost D, odstupanje od termin plana iznosi:

$$SV = 195.000,00 - 260.000,00 = - 65.000,00 \text{ NJ,}$$

što znači da realizacija aktivnosti D kasni i da će trebati više vremena od planiranog za njeno izvršenje. \*26

- *Odstupanje troškova* ( $CV$  – *Cost Variance*) je mera realizacije troškova projekta. Odstupanje troškova predstavlja razliku ostvarene vrednosti ( $EV$ ) i stvarnih troškova ( $AC$ ), tj.  $CV = EV - AC$ . Ako je odstupanje troškova negativno ( $CV < 0$ ), obavljanje posla košta više nego što je planirano. U slučaju pozitivnog broja ( $CV > 0$ ), obavljanje posla košta manje nego što je planirano. Za aktivnost D, odstupanje troškova iznosi:

$$SV = 195.000,00 - 200.000,00 = - 5.000,00 \text{ NJ,}$$

što znači da će realizacija aktivnosti D koštati više nego što je planirano. \*27

Vrednosti  $SV$  i  $CV$  mogu da se konvertuju u indekse efikasnosti koji prikazuju realizaciju troškova i termin plana u formi koja omogućuje poređenje realizacije troškova i termin plana datog projekta sa drugim projektima u okviru npr. portfelja.

- *Indeks termin plana* ( $SPI$  – *Schedule Performance Index*) je ocena postignutog napretka u poređenju sa planiranim napretkom projekta. Ako vrednost indeksa termin plana iznosi jedan, odnosno 100 %, to znači da se aktivnost (projekat) izvodi u skladu sa termin planom. Ako je indeks termin plana veći od jedan ili 100 %, aktivnost (projekat) se izvodi brže nego što je planirano, a ako je manji od jedan ili 100 % izvršenje aktivnosti (projekta) kasni u odnosu na osnovu termin plana. Indeks termin plana ( $SPI$ ) je jednak odnosu između ostvarene vrednosti ( $EV$ ) i planirane vrednosti ( $PV$ ) tj.  $SPI = EV/PV$ . Za aktivnost D, indeks termin plana iznosi:

$$SPI = 195.000,00 / 260.000,00 = 0,75.$$

što znači da će realizacija aktivnosti D trajati duže nego što je planirano. \*28

- *Indeks troškova* ( $CPI$  – *Cost Performance Index*) je odnos ostvarene vrednosti ( $EV$ ) i stvarnih troškova ( $AC$ ) i može se koristiti za predviđanje (procenu) troškova završetka aktivnosti (projekta). Ako indeks troškova iznosi jedan, odnosno 100 %, planirani i stvarni troškovi su jednaki. Ako je indeks troškova manji od jedan, odnosno manji od 100 %, projekat (aktivnost) je probio budžet, a ako je veći od jedan ili 100 %, projekat (aktivnost) košta manje nego što je planirano. Indeks troškova se izračunava kao:  $CPI = EV/AC$ . Za aktivnost D, indeks troškova iznosi:

$$\text{CPI} = 195.000,00 / 200.000,00 = 0,975.$$

što znači da će realizacija aktivnosti D koštati više nego što je planirano. \*29

### Procena konačnih troškova i vremena trajanja projekta

Odstupanja (SV i CV) i indeksi (SPI i CPI) su korisni za određivanje statusa projekta i procenu troškova i vremena završetka projekta.

Kako projekat napreduje, ako postane očigledno da planirani troškovi – budžet (BAC) nisu više održivi projektni tim može da napravi procenu konačnih troškova (EAC – *Estimate at completion*). Procene konačnih troškova se uglavnom zasnivaju na stvarnim troškovima nastalim da bi se projekat uradio kojima se dodaje procena preostalih troškova. Projektni tim, na osnovu dosadašnjeg iskustva članova tima, treba da predvidi šta sve treba uzeti u obzir u toku procene preostalih troškova. Indeks troškova (CPI) se može koristiti za procenu konačnih troškova (EAC), koja daje ukupne troškove završetka projekta na osnovu trenutnog učinka. Slično tome, indeks termin plana (SPI) se može koristiti za i procenu vremena potrebnog za završetak projekta.

Na osnovu podataka iz poslednjeg reda tabele P2-5, mogu se odrediti indeksi troškova (CPI<sub>P</sub>) i termin plana (SPI<sub>P</sub>) za ceo projekat, do trenutka preseka stanja (pravljenja izveštaja – 22 nedelja) kao:

$$\text{SPI}_P = \text{EV}_P / \text{PV}_P = 1.875.000,00 / 2.042.000,00 = 0,918,$$

$$\text{CPI}_P = \text{AC}_P / \text{PV}_P = 1.875.000,00 / 1.920.000,00 = 0,977.$$

Prvobitni ukupni budžet projekta (BAC) u ovom primeru iznosi 4,55 miliona NJ, dok je prvobitno procenjeno vreme trajanja projekta 44 nedelje.

Procenjeni konačni troškovi (EAC) u ovom primeru iznose 4,66 miliona NJ. Ova vrednost je dobijena deljenjem BAC (4,55 miliona NJ), sa CPI<sub>P</sub>, koji je u ovom slučaju 97,7 %.

Procenjeno vreme završetka iznosi 47,93 nedelje. Ova vrednost je dobijena na osnovu prvobitne procene od 44 nedelje, koja je zatim podeljena sa SPI<sub>P</sub>, koji iznosi 91,8 %.

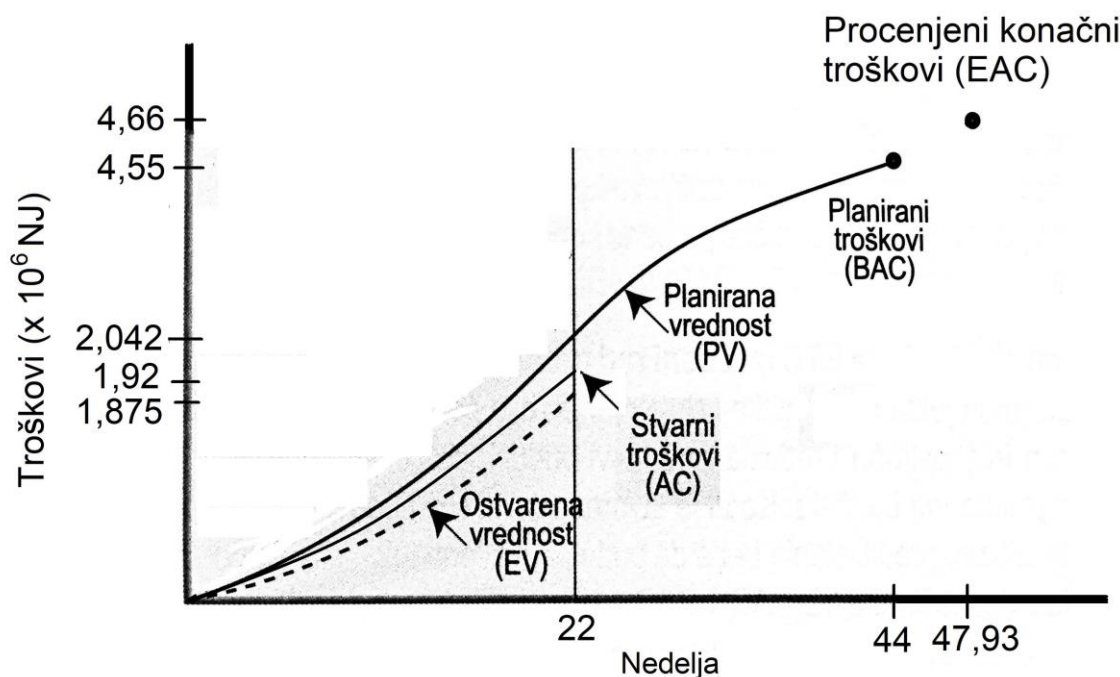
Tri parametra: planirana vrednost (PV), ostvarena vrednost (EV) i stvarni troškovi (AC) treba da budu stalno nadgledani i da se o njihovim promenama prave izveštaji na periodičnoj (nedeljnoj, mesečnoj) osnovi. Na osnovu takvih izveštaja moguće je izraditi dijagram ostvarene vrednosti (EV) radi lakšeg praćenja napretka na projektu (slika P2-9).

Dijagram sadrži tri linije i dve tačke, i to: \*30

- *Planirana vrednost* (PV), kumulativni planirani troškovi za sve aktivnosti na npr. nedeljnom nivou. Linija planirane vrednosti se završava u tački BAC.
- *Stvarni troškovi* (AC), kumulativni stvarni troškovi za sve aktivnosti na nedeljnom nivou.



- *Ostvarena vrednost (EV)*, kumulativni iznosi ostvarene vrednosti za sve aktivnosti na nedeljnom nivou.
- *Budžet na završetku (BAC)*, prvobitni ukupni budžet projekta od 4.55 miliona NJ. Tačka BAC se nanosi na grafik sa prvobitno procenjenim vremenom trajanja projekta od 44 nedelje.
- *Procenjeni konačni troškovi (EAC)*, Tačka EAC (4,66 miliona NJ) se nanosi na grafik sa procenjenim vremenom završetka projekta od 47,93 nedelje.



Slika P2-9. Dijagram ostvarene vrednosti. \*31

Upravljanje ostvarenom vrednošću predstavlja značajnu tehniku iz razloga što uz efikasnu primenu, pomaže rukovodstvu preduzeća i menadžeru projekta da ocene učinak i donesu što kvalitetnije odluke.

Suštinu metode upravljanje ostvarenom vrednošću (EVM) čine procene. Čitav proces započinje od procena, a kada procene nisu dobre, neće biti dobra ni sva dalja izračunavanja. Upravljanje ostvarenom vrednošću je metod prevashodno namenjen integrisanju podataka o učinku, troškovima i vremenskom planu i može biti moćan alat, koji će rukovodstvu i menadžerima projekta koristiti za ocenu napretka na projektu.

---

„Radni primer“ - nastavak

#### Određivanje verovatnoće završetka projekta primenom simulacije

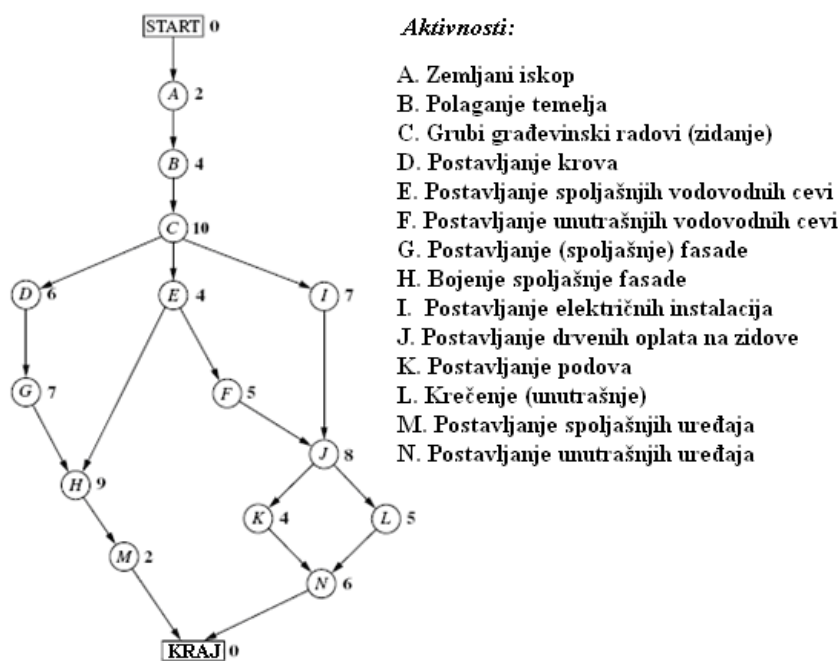
Grubu procenu verovatnoće završetka projekta za dati plan (redosled) aktivnosti moguće je odrediti primenom PERT metode koja se zasniva na tri aproksimacije koje omogućuju (pojednostavljaju) izračunavanje ove verovatnoće. Zbog uvedenih



aproksimacija, procena verovatnoće završetka projekta je uvek optimistička, što može navesti projektni tim da donese neke pogrešne odluke.

U današnjoj projektantskoj praksi postalo je uobičajeno da se verovatnoća završetka projekta određuje primenom simulacije. Postupak simulacije u ovom slučaju podrazumeva određivanje vremena trajanja aktivnosti preko generisanja slučajnih brojeva na osnovu raspodela vremena trajanja pojedinih aktivnosti projekta. Koristeći mrežni dijagram projekta tj. redosled i međuzavisnost aktivnosti, simulacijom se određuje kad koja aktivnost počinje odnosno kad se završava i konačno kad se završava projekat. Ponavljanjem postupka simulacije hiljadama puta (u jednom eksperimentu), moguće je odrediti verovatnoću završetka projekta sa zadovoljavajućom tačnošću.

Kratko podsećanje vezano za primer, preduzeće Construction Co. je pobedilo na tenderu i postalo glavni izvođač u izgradnji nove fabrike. Između ostalog ugovor sadrži velike penale ukoliko izgradnja ne bude završena u roku od 47 nedelja. U tom smislu osnovni element za evaluaciju alternativnih planova izgradnje jeste verovatnoća završetka do zadanog roka. U usvojenom izvođačkom projektu postoji 14 velikih aktivnosti čiji je raspored i međuzavisnost prikazana na slici P2-10.



Slika P2-10. Mrežni dijagram projekta.

Broj pored aktivnosti u mrežnom dijagramu projekta predstavlja očekivano vreme trajanja aktivnosti u nedeljama, ako se aktivnost izvodi na normalan način. Najduža putanja u mrežnom dijagramu, kritičan put, iznosi 44 nedelje. Kako je vreme trajanja projekta jednako vremenu trajanja najduže putanje u mrežnom dijagramu zaključuje se da se projekat može završiti za 44 nedelje, 3 nedelje pre roka.

Kako su vremena trajanja aktivnosti pretpostavljena kao očekivane vrednosti određene iskustveno, postoji velika neizvesnost u vezi sa stvarnim trajanjem aktivnosti pa samim tim i sa trajanjem čitavog projekta. Drugim rečima postoji mogućnost da se vreme trajanja projekta značajno razlikuje od 44 nedelje pa čak i da premaši krajnji rok od 47 nedelja.

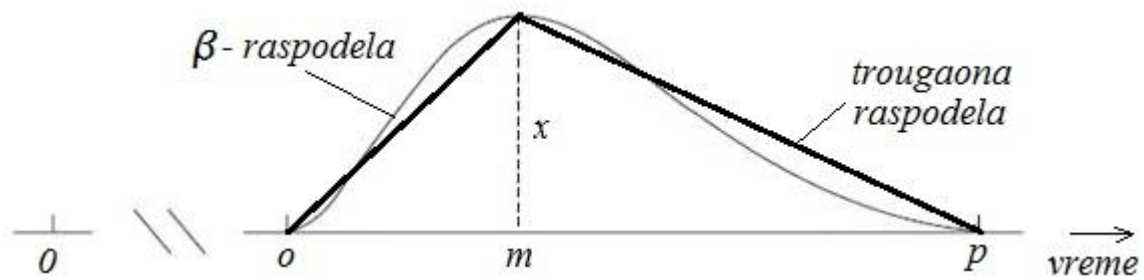
Iz tih razloga se uvodi neizvesnost u vremena trajanja aktivnosti. Trajanje aktivnosti se definiše preko tri vremena i to: optimističkog (*o*), najverovatnijeg (*m*) i pesimističkog (*p*) vremena trajanja (vidi tabelu P2-6). Takođe uvodi se pretpostavka da se trajanje svih aktivnosti ponaša po zakonu Beta raspodele. Ovako definisana vremena trajanja aktivnosti uz tri aproksimacije koje uvodi metoda PERT omogućuju da se analitički odredi gruba procena verovatnoće završetka projekta do zadanog roka.

Tabela P2-6. Optimistička, najverovatnija i pesimistička vremena trajanja aktivnosti.

Aktivnost	Optimističko vreme <i>o</i>	Najverovatnije vreme <i>m</i>	Pesimističko vreme <i>p</i>
A	1	2	3
B	2	$3\frac{1}{2}$	8
C	6	9	18
D	4	$5\frac{1}{2}$	10
E	1	$4\frac{1}{2}$	5
F	4	4	10
G	5	$6\frac{1}{2}$	11
H	5	8	17
I	3	$7\frac{1}{2}$	9
J	3	9	9
K	4	4	4
L	1	$5\frac{1}{2}$	7
M	1	2	3
N	5	$5\frac{1}{2}$	9

Prednosti određivanja verovatnoće završetka projekta primenom simulacije su sledeće: nije potrebno uvoditi aproksimacije kao kod analitičkog određivanja i velika fleksibilnost u izboru raspodele vremena trajanja aktivnosti.

Najčešće se za generisanje vremena trajanja aktivnosti koristi trougaona raspodela. Veza između beta raspodele, trougaone raspodele i optimističkog (*o*), najverovatnijeg (*m*) i pesimističkog (*p*) vremena trajanja aktivnosti data je na slici P2-11.



Slika P2-11. Raspodele vremena trajanja aktivnosti.

Da bi se dobio izraz za slučajni broj generisan po trougaonoj raspodeli potrebno je primeniti *metodu inverzne transformacije*. Kao prvo potrebno je odrediti gustinu trougaone raspodele. Kako površina ispod krive gustine trougaone raspodele mora biti jednaka 1 (interval između  $o$  i  $p$ ), veličina  $x$  ima sledeću vrednost:

$$\frac{1}{2} \cdot (m - o) \cdot x + \frac{1}{2} \cdot (p - m) \cdot x = 1 \rightarrow x = \frac{2}{p - o},$$

odakle se dobija gustina trougaone raspodele kao:

$$f(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ \frac{2}{p - o} \cdot \frac{t - o}{m - o}, & 0 \leq t \leq m \\ \frac{2}{p - o} \cdot \left(1 - \frac{t - m}{p - m}\right), & m \leq t \leq p \\ 0, & t > p \end{cases}$$

Funkcija trougaone raspodele je sledeća:

$$F(t) = \int_0^t f(t) \cdot dt = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ \frac{(t - o)^2}{(p - o) \cdot (m - o)}, & 0 \leq t \leq m \\ 2 \cdot \frac{t - m}{p - o} - \frac{(t - m)^2}{(p - o) \cdot (p - m)}, & m \leq t \leq p \\ 0, & t > p \end{cases}$$

Inverzna funkcija trougaone raspodele, tj. izraz za izračunavanje slučajnog broja generisanog po trougaonoj raspodeli, za  $o < m < p$ , je sledećeg oblika:

$$F^{-1}(r) = t = \begin{cases} o + \sqrt{r \cdot (p - o) \cdot (m - o)}, & 0 \leq r \leq \frac{m - o}{p - o} \\ p - \sqrt{(1 - r) \cdot (p - m) \cdot (p - o)}, & \frac{m - o}{p - o} \leq r \leq 1 \end{cases}$$

gde je  $r$  slučajan broj generisan po ravnomernoj raspodeli u intervalu od 0 do 1.

U slučaju da je  $o < m = p$  izraz za izračunavanje slučajnog broja generisanog po trougaonoj raspodeli je sledećeg oblika:

$$F^{-1}(r) = t = o + (m - o) \cdot \sqrt{r}, \quad 0 \leq r \leq 1.$$

U slučaju da je  $o = m < p$  izraz za izračunavanje slučajnog broja generisanog po trougaonoj raspodeli je sledećeg oblika:

$$F^{-1}(r) = t = p - (p - m) \cdot \sqrt{1 - r}, \quad 0 \leq r \leq 1.$$

Kada je  $o = m = p = \text{const.}$ , slučajan broj je konstanta tj.  $t = \text{const.}$  za  $0 \leq r \leq 1$ .

U zavisnosti od odnosa procenjenih optimističkih, najverovatnijih i pesimističkih vremena pojedinih aktivnosti na gore prikazani način se generišu (izračunavaju) vremena trajanja aktivnosti koja se koriste pri simulaciji izračunavanja verovatnoće završetka projekta do određenog roka. Praktično, na osnovu gornjih izraza preko procedure Function RiskTriang( $o$ ,  $m$ ,  $p$ ,  $SL$ ), izračunavaju se vremena trajanja aktivnosti. (slika P2-12)

```
Function RiskTriang(o, m, p, SL)
If ((o <= m) And (m <= p)) Then
  If ((o = m) And (m = p)) Then
    Vreme = m
  End If
  If ((o = m) And (m < p)) Then
    Vreme = p - (p - m) * Sqr(1 - SL)
  End If
  If ((o < m) And (m = p)) Then
    Vreme = o + (m - o) * Sqr(SL)
  End If
  If ((o < m) And (m < p)) Then
    If SL <= (m - o) / (p - o) Then
      Vreme = o + Sqr(SL * (p - o) * (m - o))
    Else
      Vreme = p - Sqr((1 - SL) * (p - m) * (p - o))
    End If
  End If
Else
  Vreme = -1
End If
End Function
```

Slika P2-12. Procedura za izračunavanje vremena trajanja aktivnosti.

Na slici P2-13 je prikazana Excel tabela za simulaciju vremena trajanja projekta preduzeća Construction Co.



trajanja projekta od njegove srednje vrednosti, takođe izračunato na osnovu svih 1000 vrednosti vremena trajanja projekta dobijenih u simulacionom eksperimentu. Konačno u polju *Verovatnoća* data je verovatnoća završetka projekta do zadatog roka kao odnos onih simulacija gde je ispunjen rok za završetak projekta od 47 nedelja i ukupnog broja izvršenih simulacija u eksperimentu (1000). Dobijena verovatnoća završetka projekta u predviđenom roku je 0,578. Treba primetiti da je dobijena relativno precizna vrednost dosta manja od vrednosti verovatnoće završetka projekta dobijene primenom metode PERT koja iznosi 0,84. Vrednost verovatnoće završetka projekta dobijena simulacijom daje bolju informaciju u kom smeru treba izmeniti plan izvođenja radova da bi se poboljšale šanse za završetak projekta u predviđenom roku.

Na kraju je prikazan još jedan značajan pokazatelj, a to je *Procena greške završetka projekta*. Kako je vreme trajanja aktivnosti dato u nedeljama to je i srednje vreme trajanja projekta izračunato u nedeljama. Greška iznosi 0,1154 nedelje što je približno 0,81 dan ili 19,39 časova.

Kao dodatak informaciji o verovatnoći završetka projekta do predviđenog roka, rukovodilac projekta je takođe zainteresovan raspodelu vremena trajanja projekta. Kako se simulacionim eksperimentom dobilo 1000 vrednosti vremena trajanja projekta moguće je odrediti blisku aproksimaciju raspodele vremena završetka projekta. Primenom  $\chi^2$  - testa verifikovano je da se uzorak dobijen simulacionim eksperimentom, za vreme trajanja projekta, može na zadovoljavajući način opisati Normalnom raspodelom  $N(46,231;3,651)$ . Drugim rečima vreme trajanja projekta u ovom slučaju raspodeljeno je po Normalnoj raspodeli, što odgovara trećoj pretpostavci PERT metode.

Na slici P2-15 je izveštaj testiranja uzorka simulacionog eksperimenta  $\chi^2$  - testom, poligon empirijske raspodele kao i gustina dobijene Normalne raspodele.

Na slici P2-16 prikazan je dijagram funkcije raspodele vremena trajanja projekta. Raspodela vremena trajanja projekta je Normalna raspodela sa parametrima  $N(46,231;3,651)$ . Pomoću dijagrama na slici P2-16 na jednostavan način je moguće odrediti verovatnoće završetka projekta do različitih unapred određenih datuma.

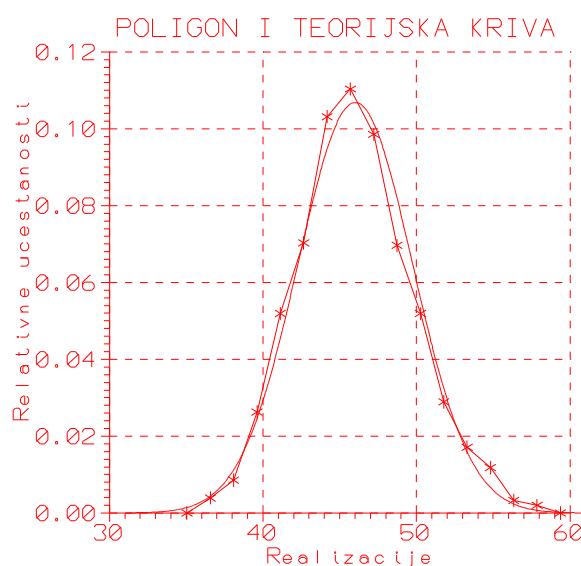
KARAKTERISTIKE UZORKA:

Obim uzorka ..... N = 1001  
 Minimalni clan ..... Xmin = 35.8110  
 Maximalni clan ..... Xmax = 58.6220  
 Srednja vrednost ..... Xsr = 46.2310  
 Disperzija ..... D[x] = 13.9462  
 Srednje kvadratno odstupanje ...  $\delta[x]$  = 3.6512  
 Broj intervala ..... Ki = 15  
 Duzina intervala ..... h = 1.5207

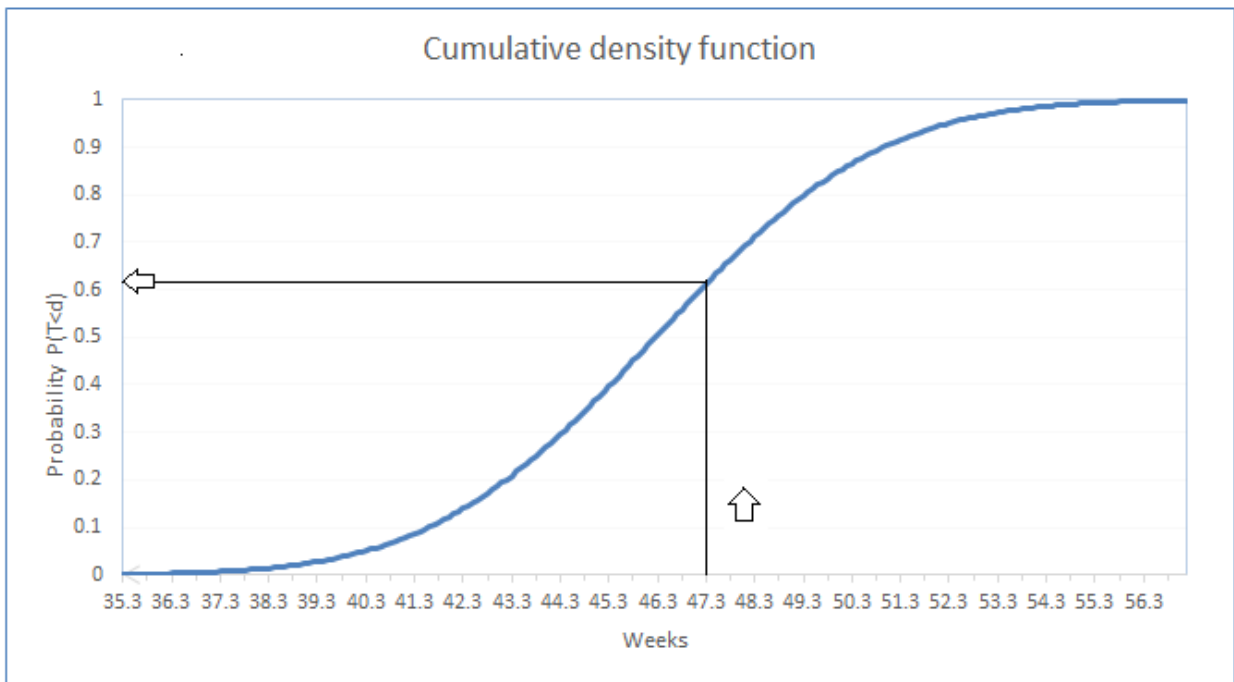
Intervali	Ucestanosti	Verovatnoce	HISR
35.8110 - 37.3317	6	0.0100	1.633
37.3317 - 38.8525	13	0.0175	1.185
38.8525 - 40.3732	40	0.0379	0.112
40.3732 - 41.8939	79	0.0695	1.274
41.8939 - 43.4147	107	0.1083	0.017
43.4147 - 44.9354	157	0.1432	1.307
44.9354 - 46.4561	168	0.1608	0.311
46.4561 - 47.9769	150	0.1533	0.077
47.9769 - 49.4976	106	0.1241	2.675
49.4976 - 51.0183	79	0.0853	0.480
51.0183 - 52.5391	44	0.0498	0.687
52.5391 - 54.0598	26	0.0247	0.067
54.0598 - 55.5805	18	0.0104	5.557
55.5805 - 57.1013	5	0.0037	0.444
57.1013 - 58.6220	3	0.0015	1.526
	1001	1.0000	17.353

IZVESTAJ :

Teorijska vrednost za 12 stepeni slobode i prag znacajnosti  $\alpha = 0.1000$  za HI-KVADRAT raspodelu iznosi  $H_{It} = 18.5490$   
 Posto je  $H_{It} > H_{Isr}$  [ $18.5490 > 17.3530$ ] mozemo prihvatiti hipotezu da uzorak ima Normalnu raspodelu sa parametrima  $m = 46.23$  i  $\delta = 3.65$  sa pragom znacajnosti  $\alpha = 0.01$ .



Slika P2-15. Testiranje uzorka – vreme trajanja projekta –  $\chi^2$  - testom, Normalna raspodela.



Slika P2-16. Funkcija raspodele vremena trajanja projekta  $N(46,231;3,651)$ .



## PITANJA:

1. Šta predstavlja kompresija termin plana.
2. Šta predstavlja "Crashing".
3. Iz kojih koraka se sastoji "Crashing".
4. Šta podrazumeva smanjenje vremena trajanja aktivnosti.
5. Šta podrazumeva smanjenje vremena trajanja projekta.
6. Iz čega se sastoji procedura skraćivanja vremena trajanja projekta po metodi CPM.
7. Koja se pretpostavka uvodi vezano za skraćivanje vremena trajanja svake aktivnosti projekta.
8. Šta predstavlja usiljeno vreme trajanja aktivnosti.
9. Šta predstavlja normalno vreme trajanja aktivnosti.
10. Dijagram zavisnosti troškova od vremena trajanja aktivnosti.
11. Koja metoda se koristi za određivanje najjeftinijeg načina za postupno smanjenje trajanja (manjih) projekta.
12. Postavka problema LP vezana za skraćivanje vremena trajanja projekta.
13. Šta predstavlja procena troškova projekta.
- 13a. Osnovni tipovi procene troškova projekta.
- 13b. Šta predstavlja procena troškova aktivnosti.
- 13c. Kako se određuju troškovi izvršenja aktivnosti po jedinici trajanja.
14. Kakav je intenzitet troškova izvođenja aktivnosti tokom trajanja aktivnosti.
15. Navesti alate i tehnike koje se koriste procesu procene troškova (min. 5).
16. Šta predstavlja proces utvrđivanja budžeta.
17. Šta predstavlja osnova troškova izvođenja projekta i način prikazivanja.
18. S – kriva.
19. Zahtevi za finansiranje projekta (dijagram).
10. Šta predstavlja kontrola troškova projekta.
21. Na osnovu čega se vrši praćenje i kontrola troškova projekta.
22. Šta predstavlja „Upravljanje ostvarenom vrednosti“.
23. Šta predstavlja i kako se određuje „Planirana vrednost“ aktivnosti ili grupe poslova.
24. Šta predstavljaju „Stvarni troškovi“ aktivnosti ili grupe poslova.
25. Šta predstavlja i kako se određuje „Ostvarena vrednost“ aktivnosti ili grupe poslova.
26. Šta predstavlja i kako se određuje „Odstupanje od termin plana“.
27. Šta predstavlja i kako se određuje „Odstupanje troškova“.
28. Šta predstavlja i kako se određuje „Indeks termin plana“.
29. Šta predstavlja i kako se određuje „Indeks troškova“.
30. Koje podatke sadrži dijagram ostvarene vrednosti.
31. Skicirati dijagram ostvarene vrednosti.