

OPTIMIZATION OF COSTS IN CONSTRUCTION PROJECTS IN THE REPUBLIC OF CROATIA

OPTIMALIZACIJA TROŠKOVA PROJEKATA U GRAĐEVINARSTVU NA PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE

COBOVIC, Mirko & VRETENAR, Maja

Abstract: Authors of this paper analyze the costs of construction projects in the Republic of Croatia. Based on the analysis of costs and comparison of direct and indirect costs conclude that it is possible to implement proper planning projects optimization. For planning projects, the authors preferred the matrix method: CPM/PERT method and linear method for determining the dependence of duration and cost of projects.

Key words: Optimization, projects, planning, CPM/PERT, direct and indirect costs

Sažetak: Autori u radu analiziraju troškove projekata u građevinarstvu na području Republike Hrvatske. Na temelju provedene analize troškova te usporedbom direktnih i indirektnih troškova zaključuju da je moguće provesti optimalizaciju pravilnim planiranjem projekata. Za planiranje projekata autori su odabirali mrežnu metodu: CPM/PERT metodu te linearnu metodu za određivanje ovisnosti trajanja i troškova projekata.

Ključne riječi: Optimalizacija, projekti, planiranje, CPM/PERT, direktni i indirektni troškovi



Authors' data: Mirko, **Cobovic**, mag.ing.el., univ.spec.oec., Veleučilište u Slavonskom Brodu, Dr. Mile Budaka 1, Slavonski Brod, Mirko.Cobovic@vusb.hr; Maja, **Vretenar**, dipl.oec., Veleučilište u Slavonskom Brodu, Dr. Mile Budaka 1, Slavonski Brod, Maja.Vretenar@vusb.hr

1. Uvod

Prilikom izrade svakog proizvoda ili pružanja usluge javljaju se određeni troškovi. Troškovi su rezultat utroška materijala i drugih faktora proizvodnog procesa, kao što su: radna snaga, alat, energija, trošenje osnovnih sredstava itd. [1]

Svaka aktivnost koju treba izvršiti za ostvarenje prihoda, u pravilu za sobom povlači određene troškove. Troškovi su dakle, redovna pojava u poslovanju svakog poslovnog sustava. [1]

Troškovi su središte ekonomije, i u literaturi ekonomije zauzimaju središnje mjesto zato što je pojam ekonomije usko vezan za uspješnost poduzeća koja je ovisna o troškovima. Projekti u građevini usko vezani za vremenska trajanja i troškove. Temeljem dosadašnjeg rada i istraživanja u građevini, svaki se građevinski projekt detaljno planira raznim metodama. Doprinos ovoga rada je optimalizacija troškova i trajanja projekata kombinacijom mrežnih i linearnih metoda programiranja. Ušteda je postignuta grupiranjem direktnih i indirektnih troškova u odnosu na optimalne vremenske rokove u kojima se projekt izvodi.

2. Direktni i indirektni troškovi

Troškove je općenito moguće grupirati u:

- osnovne ili prirodne grupe troškova,
- ekonomske i neekonomske troškove,
- direktne i indirektno troškove,
- troškove po mjestima i nositeljima,
- ukalkulirane, realizirane i naplaćene troškove,
- stvarne planske i standardne troškove,
- apsorbirane, preapsorbirane i neapsorbirane indirektno (opće) troškove,
- kratkoročne i dugoročne troškove,
- troškove koji se mogu kontrolirati i troškove izvan kontrole,
- troškove proizvodnje i troškove prometa i
- fiksne i varijabilne troškove. [2]

U ovom radu u obzir su uzeti direktni i indirektni troškovi.

Direktni troškovi još se nazivaju pojedinačnim ili izravnim troškovima, jer se mogu izravno razvrstati po proizvodima i uslugama u knjigovodstvu poslovne tvrtke.[2]

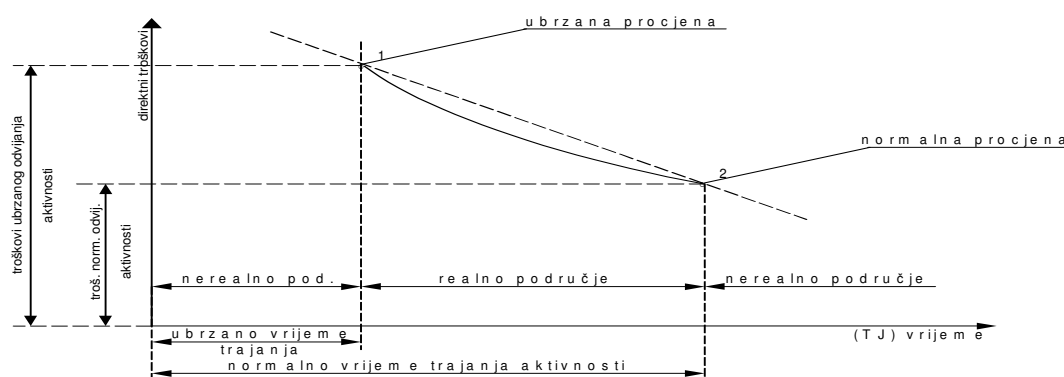
Grupiranje ovih troškova moguće je već u trenutku njihova nastanka, jer se tada zna na koji se proizvod i/ili uslugu odnose. Direktni su troškovi, na primjer, direktne plaće izrade, pričuvni dijelovi i materijal za izradu, a u izvjesnim slučajevima i troškovi osnovnih sredstava. Indirektni troškovi se još nazivaju i općim, odnosno zajedničkim troškovima. Pod indirektnim se troškovima podrazumijevaju oni troškovi koji se u trenutku nastanka ne mogu izravno razgraničiti na pojedine proizvode i/ili usluge. To su zajednički troškovi jednog mjesta, radionice, pogona ili faze, ili su pak zajednički za cijelu poslovnu tvrtku.

Svaka aktivnost se može izvoditi uz manje ili veće troškove što se odnosi i na samo vrijeme odvijanja aktivnosti. Ako se želi ubrzati odvijanje aktivnosti, to će tražiti

povećanje troškova kao što su više strojeva, veći broj izvršitelja, rad neradnim danima, produljeni rad itd.

Za daljnju obradu problema optimalizacije troškova uzeta je linearna aproksimacija za pomoćne kalkulacije (procjene) između točke 1 i 2 slika 1. Kako točke 1 i 2 predstavljaju dvije krajnje procjene troškova i vremena zvat će se točka 1 ubrzana procjena vremena, a točka 2 normalna procjena vremena i troškova.

Ubrzana procjena podrazumijeva izvođenje neke aktivnosti u minimalnom vremenu i za to izvođenje potrebnim troškovima, što znači da je naglasak na vremenu. Normalna procjena podrazumijeva izvođenje neke aktivnosti uz minimalne troškove, što znači da je primarna cijena i o njoj se vodi računa. Pomoćne procjene su sve veličine između točke 1 i 2.



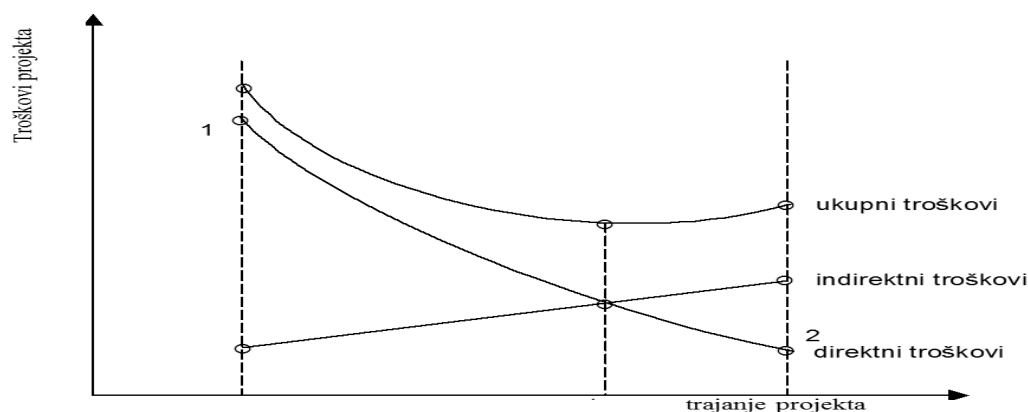
Slika 1 Aproksimacija troškova [4]

Na slici 1 koristi se za označavanje troškova slovo "C", a za označavanje vremena uobičajeno "t". Karakteristične veličine su: vrijeme normalne procjene (t_n), vrijeme ubrzane procjene (t_s), troškovi normalne procjene (C_n), troškovi ubrzane procjene (C_s).

Kada se pomoćne procjene između točke 1 i 2 kreću po linearnoj zakonitosti, kao što je prikazano isprekidanom crtom na slici 1, prosječno povećanje troškova po jedinici skraćivanja aktivnosti određuje se prema izrazu 1[5]:

$$a = \frac{\Delta C}{\Delta t} = \frac{C_s - C_n}{t_s - t_n} \quad (1)$$

Na slici 2. prikazana je ovisnost direktnih i indirektnih troškova o duljini trajanja projekta.



Slika 3 Ovisnost troškova o duljini trajanja projekta [4]

točki 1 i točki 2 mogu se izračunati iz podataka o troškovima kod ubrzanog i normalnog trajanja projekta. Za izgled cijele krivulje direktnih troškova između točke 1 i 2 trebat će izračunati podatke o troškovima za više pomoćnih procjena trajanja projekta. Kada se nacrtaju indirektni i direktni troškovi, možemo zbrajanjem dobiti krivulju ukupnih troškova koja ima svoj minimum. To trajanje projekta treba odabrati, jer su kod tog trajanja troškovi najmanji.

Ova metoda u literaturi je poznata kao metoda PERT/TROŠKOVI, a ciljevi koji se postižu primjenom ove metode su: dobiti pouzdaniju i realniju procjenu troškova projekta, te u tijeku realizacije projekta, dobiti eksplicitno poboljšanje u kontroli i ekonomičnosti trošenja planiranih sredstava.

3. PERT/TROŠKOVI

Jedan od temeljnih rezultata primjene metode PERT/TROŠKOVI sastoji se u jače izraženoj komponenti upravljanja, čime se postiže osjetno sniženje troškova bilo kojeg projekta, a čije se planiranje izvodi tehnikom mrežnog planiranja. Najčešće se analizi troškova izvodi na istom mrežnom modelu koji se koristi u analizi vremena.

Kako bi se moglo izvršiti skraćivanje vremena ovisno o troškovima potrebno je aktivnostima prema kojima je napravljen kritični put dodati optimistična i pesimistična vremena. Prikaz aktivnosti sa optimističnim (t_s), realnim (t_n) i pesimističnim (t_p) vremenima nalazi se u tablici 1.

Akt.	Grupa aktivnosti	Aktivnost	Prethodna aktivnost	Trajanje		
				t_s	t_n	t_p
1		Početak		0	0	0
2	Građevinski radovi	GR Pripremni radovi	1	5	7	9
3	Građevinski radovi	GR Radovi rušenja, demontaže i čišćenja	2	5	7	9
...
67	Čišćenje	Č Čišćenje	18;23;47;63;61;26	26	30	34
68		Priprema za tehnički pregled	67;55;59;65;38;66	2	2	2

Tablica 1. Tablica aktivnosti. Izvor: Izrada autora.

Na osnovi vrijednosti t_s , t_n i t_p može se izračunati očekivano vrijeme prema izrazu:

$$t_e = \frac{t_s + 4t_n + t_p}{6} \quad (2)$$

Prikaz očekivanog vremena nalazi se u tablici 1.

Također, potrebno je izračunati odstupanja od podataka koji se uzimaju kao reprezentativni. Odstupanje se računa preko varijance σ^2 .

$$\sigma^2_{t_e} = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2 \quad (3)$$

Što su odstupanja manja, vrijeme trajanja aktivnosti je pouzdanije. Varijanca daje mjeru grubosti definiranosti polaznih podataka. Odstupanje optimističke i pesimističke ocjene od očekivanog vremena određuje mjeru pouzdanosti. Prikaz varijanci nalazi se u tablici 2.

kt.	Optimistično vrijeme	Realno vrijeme	Pesimistično vrijeme	Trajanje aktivnosti	Varijanca
	a	m	b	t_e	σ²
1	0	0	0	0	0
2	5	7	9	7	0,67
3	5	7	9	7	0,67
...
67	26	30	34	30	1,33
68	2	2	2	2	0
Rezultati projekta					
Ukupno za kritične aktivnosti					78,5

Tablica 2. Prikaz optimističnog, realnog, pesimističnog i očekivanog vremena, te varijance. Izvor: Izrada autora

Ukoliko su odstupanja manja toliko su vremena trajanja aktivnosti pouzdanija. Varijanca daje mjeru grubosti definiranosti polaznih podataka. Odstupanje optimističke i pesimističke ocjene od određuju točku pouzdanosti. Kao i u CPM metodi, za svaki događaj računaju se najranije i najkasnije vrijeme nastupa. Najranije vrijeme događaja računa se prema izvodu:

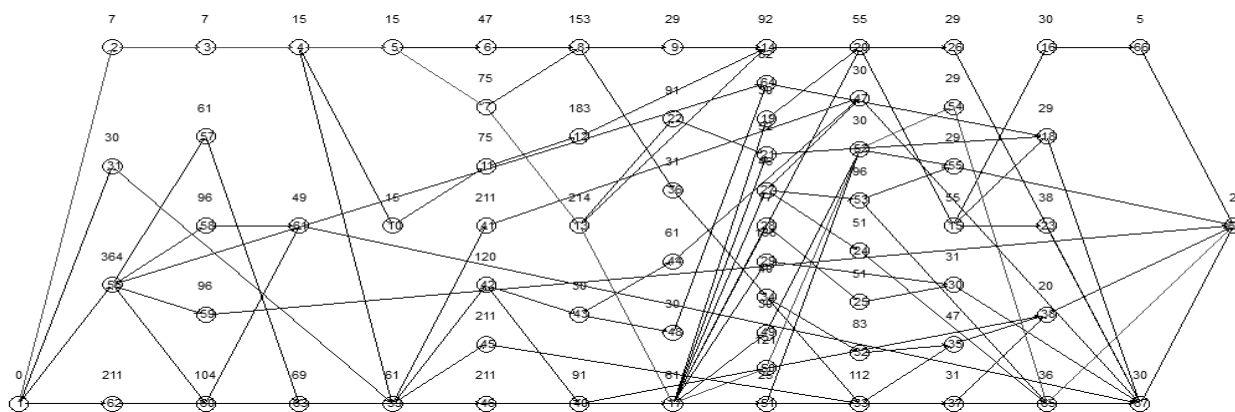
$$(T_E)_j = \max\{(T_E)_i + (t)_{ij}\}; \quad (T_E)_1 = 0, j = 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

A najkasnije vrijeme nastupa događaja prema izvodu:

$$(T_L)_i = \min\{(T_L)_j - (t)_{ij}\}; \quad (T_L)_n = (T_L)_n = 0, i = n - 1, n - 2, \dots, 2, 1 \quad (5)$$

Podaci o najranijim, najkasnijim nastupima događaja nalaze se u tablici 2.

Sada, kada su se izračunali svi podaci, potrebno je nacrtati mrežni graf sa kritičnim putem. Graf je prikazan na slici 4.



Slika 4. Mrežni dijagram PERT/CPM metoda. Izvor: Izrada autora

Kritični put čine aktivnosti: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 13, 17, 50, 52, 54, 65, 68

Aktivnosti koje ne čine kritični put imaju sadržavaju određenu vremensku rezervu, koja je po definiciji određena razlikom između najkasnijeg završetka svih aktivnosti koje prethode određenom događaju i najranijeg početka narednih aktivnosti koje neposredno slijede. Vremenska rezerva se računa prema izrazu:

$$S_i = (T_L)_i - (T_E)_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

Rezultati izračuna vremenskih rezervi nalaze se u tablici 3.

	Trajanje aktivnosti	Najraniji početci	Najraniji završetci	Najkasniji početci	Najraniji završetci	Vremenske rezerve
Project	612					
1	0	0	0	0	0	0
2	7	0	7	0	7	0
3	7	7	14	7	14	0
...
67	30	572	602	580	610	8
68	2	610	612	610	612	0

Tablica 3. Trajanje aktivnosti, najraniji početci, završetci, najkasniji početci i završetci, vremenske rezerve. Izvor: Izrada autora

4. Skraćivanje projekta

Skraćenje čitavog projekta moguće je ako se pridržava sljedećih heurističkih pravila. Na kritičnom putu skraćuju se aktivnosti koje imaju najmanje priraštaje prosječnih troškova do postizanja minimalnog vremena trajanja aktivnosti.

Dalje se skraćuju aktivnosti s neposredno većim prosječnim priraštajem troškova do pojave novog kritičnog puta ili do ostvarivanja željenog vremena skraćivanja odnosno postizanja predviđenog ubrzanog trajanja aktivnosti, ukoliko se pojavi više kritičnih puteva, skraćivanje se treba obaviti na aktivnostima sa različitim kritičnim puteva, samo za istu vrijednost terminskih jedinica. Skraćivanje aktivnosti po ovim pravilima obavlja se sve dok ne postignemo željeni rok trajanja cjelokupnog projekta ili dok ne skratimo sve aktivnosti do ubrzanog trajanja aktivnosti.

Skraćivanje se obavlja uključivanjem dodatnih kapaciteta, prebacivanje poslova na kooperante, prekovremeni rad, rad u više smjena i rad neradnim danima.

Skraćivanjem aktivnosti usporedno rastu i direktni troškovi. Cilj je skratiti aktivnosti na optimalno trajanje, a istovremeno imati minimalne troškove.

5. Analiza troškova

Temelj proračuna troškova predstavljaju aktivnosti, njihovo trajanje i događaji. Prema navedenom proračunavaju se vremena najranijeg početka i najkasnijeg završetka aktivnosti za svaki događaj, a nakon toga se određuje kritični put.

Izračun optimalnog trajanja projekta može se pokazati pomoću nekoliko temeljnih faza, od kojih svaka za sebe predstavlja jedan proračun mreže i kalkulaciju troškova.

1 faza: Izrada plana za normalno trajanje aktivnosti tj. potrebno je izračunati trajanje plana i pripadne troškove ako se sve aktivnosti izvode u normalnom trajanju.

Na početku je potrebno pronaći kritični put, jer je duljina trajanja cijelog projekta jednaka duljini trajanja kritičnog puta.

Akt.	Trajanje				Troškovi			Prosječni troškovi
	$t_{ij,p}$	$t_{ij,n}$	$t_{ij,s}$	$t_{ij,n} - t_{ij,s}$	$C_{ij,n}$	$C_{ij,s}$	$C_{ij,s} - C_{ij,n}$	
1	0	0	0	0	0 kn	0 kn	0 kn	0
2	9	7	5	2	12.000 kn	17.000 kn	5.000 kn	2500
3	9	7	5	2	16.000 kn	22.000 kn	7.000 kn	3500
...
67	34	30	26	4	10.000 kn	12.000 kn	2.000 kn	500
68	2	2	2	0	9.000 kn	9.000 kn	0 kn	0

Tablica 4. Troškovi po aktivnostima. Izvor: Izrada autora

Prosječni trošak po danu za aktivnost računa se prema izrazu:

$$a_{ij} = \frac{\Delta C_{ij}}{\Delta t_{ij}} = \frac{C_{ij,s} - C_{ij,n}}{t_{ij,n} - t_{ij,s}} \quad (7)$$

Izvršen je proračun naprijed - nazad, tj. izračunato je da projekt traje 616 dana, a kritične aktivnosti su 1, 2, 3, 4, 5, 7, 13, 17, 50, 52, 54, 65, 68

Iz tablice 4. izračunavaju se direktni troškovi za normalno trajanje aktivnosti te oni iznose:

$$C_n = C_{n1} + C_{n2} + \dots + C_{n30} + C_{n31} + \dots + C_{n67} + C_{n68} = 13.481.000 \text{ kn} \quad (8)$$

2 faza: Izrada plana za ubrzano trajanje aktivnosti tj. potrebno je izračunati trajanje plana i pripadne troškove ako se sve aktivnosti izvode ubrzanim trajanjem.

Izvršen je također proračun naprijed-nazad i izračunato je da projekt traje 560 dan, a kritične aktivnosti su 1, 2, 3, 4, 5, 7, 13, 17, 50, 52, 54, 65, 68.

Iz tablice 4. Izračunavaju se direktni troškovi za ubrzano trajanje aktivnosti koji iznose 15.421.000 kn

Ovakvo skraćivanje vremena je ujedno i najskuplje. Sve aktivnosti su skraćene na minimalna vremena.

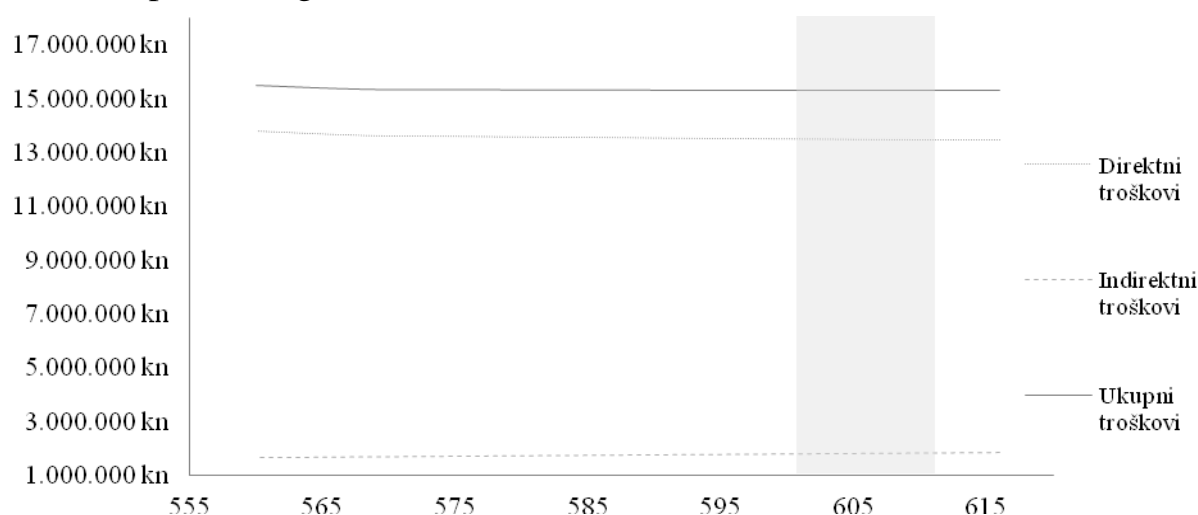
3 faza: Izrada plana minimalnih troškova kod ubrzanog trajanja. U ovoj fazi plan se izrađuje tako da se ubrzavaju aktivnosti koje se nalaze na kritičnom, a ostale aktivnosti se ubrzavaju ako pri ubrzavanju aktivnosti na kritičnom putu čine paralelne kritične puteve.

Ovaj plan ima niže troškove od plana u fazi 2 zato što se aktivnosti koje ne ulaze u kritični put ne ubrzavaju, a ujedno se ni troškovi tih aktivnosti ne povećavaju. Tijek ubrzavanja projekta prikazan je kroz tablicu 5.

Skraćena aktivnost	Trajanje u danima	Dodatni troškovi u kn	Troškovi u 000 kn	Indirektni troškovi u 000 kn	Ukupno u 000 kn
68	616	0	13.481	1.848	15.329
1	616	0	13.481	1.848	15.329
65	616	0	13.481	1.848	15.329
50	613	6.000	13.487	1.839	15.326
54	609	10.000	13.497	1.827	15.324
2	607	5.000	13.502	1.821	15.323
52	603	11.000	13.513	1.809	15.322
3	601	7.000	13.520	1.803	15.323
4	599	8.000	13.528	1.797	15.325
13	577	89.000	13.617	1.731	15.348
5	575	10.000	13.627	1.725	15.352
17	568	37.000	13.664	1.704	15.368
7	560	170.000	13.834	1.680	15.514

Tablica 5. Ubrzavanje projekta u odnosu vremena i troškova. Izvor: Izrada autora

Troškovi su prikazani grafom na slici 5.



Slika 5. Ovisnost direktnih i indirektnih troškova o vremenu. Izvor: Izrada autora

Prema rezultatima koji su prikazani grafom i tablicom može se zaključiti da se projekt može izvršiti u 560 dana, što je smanjenjem projekta za 56 dana, te povećanje troškovi od 185.000 kn.

Izvršitelj u ovom slučaju može kalkulirati koliko se treba smanjiti trajanje projekta. Prema grafu, optimalno bi bilo da izgradnja traje 603 dana jer su tada najmanji ukupni troškovi u iznosu od 15.322.000 kn.

Također, iz grafa se vidi da izvršitelj neće drastično povećati troškove ako radovi budu trajali između 599 i 613 dana. Troškovi će se kretati u rasponu od 15.322.000.kn do 15.326.000 kn.

Ova metoda omogućuje iskorištenje dobivenih podataka za optimalno ekonomiziranje, ravnomjerno opterećenje radne snage, optimalan izbor rokova

završetka projekta u odnosu na troškove, kao i za izradu plana racionalnog iskorištenja sredstava.

6. Zaključak

Planiranje i optimalizacija projekata kako u građevini tako i u ostalima djelatnostima složen je proces. Zahtijeva znanje, iskustvo i fleksibilnost managera i projektanta. Kako bi se olakšalo planiranje korištena je CPM/PERT metoda. Ova metoda prihvatljiva zbog toga što se u građevini jedan projekt može razložiti na mnogo aktivnosti koje imaju dugo vremensko trajanje.

CPM, odnosno metoda kritičnog puta, korištena je za određivanje vremenskog tijeka i trajanja projekta, odnosno određivanje kritičnog puta i vremenskih rezervi za aktivnosti koje se ne nalaze na kritičnom putu.

PERT metoda korištena je za određivanje optimističkih vremena, troškova, te optimalizaciju trajanja projekta. PERT metoda uvodi problematiku vjerojatnosti u trajanju pojedinih aktivnosti, a samim tim i u trajanju cijelog projekta. Kada se odrede vjerojatnosti trajanja pojedinih aktivnosti i kada se nađu mogućnosti ušteda vremena, mogu se i odrediti kako će sve to utjecati na troškove.

Optimalizacija projekta, u ovom radu rađena je na osnovi odnosa direktnih i indirektnih troškova s trajanjem projekta. Pokazano je koliki utjecaj smanjenje vremena trajanja ima na povećanje troškova same izgradnje.

Kroz graf se vidi da veliki utjecaj u ukupnim troškovima imaju indirektni troškovi, te da se u određenim trenucima smanjenjem vremena i povećanjem direktnih troškova smanjuju cjelokupni troškovi iz razloga što se smanjuju ukupni indirektni troškovi.

Može se zaključiti da planiranje projekata omogućava brzo, kvalitetno i ekonomično građenje.

7. Literatura

- [1] Selaković, M (1987): *Organizacija proizvodnje*, TFR, Rijeka
- [2] Medanić, B (1997): *Management u građevinarstvu*, Građevinski fakultet, Osijek, Zagreb, Split i Rijeka
- [3] Vila, A; Leicher, Z (1986): *Planiranje proizvodnje i kontrola rokova*, Informator, Zagreb
- [4] Jukić, J. (2006): *Prilog razvoja modela upravljanja remontom složenih tehničkih sustava*, Magistarski rad, Slavonski Brod
- [5] Barković, D (2004): *Operacijska istraživanja u investicijskom odlučivanju*, Ekonomski fakultet u. Osijeku, Osijek
- [6] Cobović, M (2010): *Planiranje projekata u građevini mrežnim programiranjem*, Specijalistički završni rad, Osijek
- [7]http://ascelibrary.org/coo/resource/1/jcemd4/v126/i3/p219_s1?isAuthorized=no 02-05-2012
- [8]<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786399000198> 04-05-2012
- [9]<http://www.jstor.org/discover/10.2307/2629469?uid=3738200&uid=2&uid=4&sid=21100776638391> 04-05-2012



Photo 024. Turbine / Turbina