

Izbor optimalne tehnologije građenja

Sašo Kovačec, Andrej Štrukelj, Mirko Pšunder, Rudolf Lončarić, Igor Pšunder

Ključne riječi

tehnologija građenja, modeli tehnologije, izvedba građevina, troškovi, kvaliteta, graditeljsko poduzeće Ptuj d.o.o.

Key words

construction technology, technological models, construction of structures, costs, quality, construction company Ptuj d.o.o.

Mots clés

technologie de construction, modèles technologiques, construction des structures, coûts, qualité, société de construction Ptuj d.o.o.

Ключевые слова

технология строительства, модели технологии, постройка объекта, расходы, качество, строительное предприятие Ptuj d.o.o.

Schlüsselworte

Bautechnologie, Technologiemodelle, Ausführung von Bauwerken, Kosten, Qualität, Baufirma Ptuj GmbH

S. Kovačec, A. Štrukelj, M. Pšunder, R. Lončarić, I. Pšunder

Pregledni rad

Izbor optimalne tehnologije građenja

Polazi se od konstatacije da je izbor najpovoljnije tehnologije građenja ključno za postizanje uštede na troškovima te za pojednostavljenje i olakšavanje procesa izvedbe građevina. Prikazuju se modeli tehnologije koji se mogu upotrebljavati i na temelju kojih se mogu donositi odluke o izboru najpovoljnijeg načina izvedbe s najmanjim troškovima i traženom kvalitetom. Za provjeru je provedeno ispitivanje primjene u pripremi rada u graditeljskom poduzeću Ptuj d.o.o. u Ptuj.

S. Kovačec, A. Štrukelj, M. Pšunder, R. Lončarić, I. Pšunder

Subject review

Selecting an optimum construction technology

It is initially stressed that the selection of the most favourable construction technology is of crucial significance for making cost savings and for simplifying and facilitating the construction process. Appropriate technological models that can be used as basis for making decision about the most favourable construction method, with the lowest cost and full compliance with quality requirements, are presented. The implementation has been tested during preparations for work at the construction company Ptuj, d.o.o. in Ptuj.

S. Kovačec, A. Štrukelj, M. Pšunder, R. Lončarić, I. Pšunder

Ouvrage de syntèse

Sélection d'une technologie optimale de construction

Il est souligné au début que la sélection de la technologie de construction la plus favorable est d'une importance cruciale puisque cela nous permet de réduire les couts et de simplifier et faciliter le procédé de construction. Les auteurs décrivent les modèles technologiques qui peuvent servir de base dans la définition des méthodes de construction les plus favorables, présentant les coûts minimes et satisfaisant en même temps les exigences de qualité. L'efficacité à été testée au cours des préparations de travail dans la société de construction Ptuj d.o.o. à Ptuj.

С. Ковачец, А. Штрукель, М. Пшундер, Р. Лончарич, И. Пшундер

Обзорная работа

Выбор оптимальной технологии строительства

Предпосылкой является констатация того, что выбор самой выгодной технологии строительства имеет ключевое значение для обеспечения экономии расходов, а также для упрощения и облегчения процесса постройки объектов. Приведены модели технологии, которые могут применяться и на основании которых могут приниматься решения о выборе самого выгодного способа строительства с минимальными расходами и требуемым качеством. Для проверки проведено испытание применения при подготовке работы на строительном предприятии Ptuj d.o.o. в Птуе.

S. Kovačec, A. Štrukelj, M. Pšunder, R. Lončarić, I. Pšunder

Übersichtsarbeit

Auswahl der optimalen Bautechnologie

Man geht von der Konstatierung aus dass die Auswahl der optimalen Technologie des Bauens das Wichtigste für Kostenminderung und Vereinfachung und Erleichterung des Prozesses der Ausführung von Bauwerken ist. Dargestellt sind Technologiemodelle die man benützen und auf Grund derer man Entscheidungen bringen kann über die Auswahl des optimalen Ausführungsverfahrens mit mindesten Kosten und verlangter Qualität. Zur Beglaubigung wurde eine Prüfung der Anwendung in der Vorbereitung der Arbeit in der Baufirma Ptuj GmbH. in Ptuj durchgeführt.

Autori: **Sašo Kovačec**, dipl. ing. građ.; doc. dr. sc. **Andrej Štrukelj**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Mirko Pšunder**, dipl. ing. građ.; doc. dr. sc. **Igor Pšunder**, dipl. ing. građ., Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, Slovenija; prof. dr. sc. **Rudolf Lončarić**, dipl. ing. građ.; Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

1 Uvod

Investitori pri traženju ponuda za izvedbu građevina traže od izvođača nove i oštre uvjete pogodbe što za građevinska poduzeća predstavlja nove izazove. Jedan je od najvažnijih uvjeta jamstvo za dovršenje projekta u ugovorenom roku i, dakako, s konkurentnom cijenom. Traženim uvjetima svakako pripada i kvaliteta izvedbe što se samo po sebi razumije.

Problem izvedbe u zahtijevanom kratkom roku često iziskuje povećanje troškova. Navedeni uvjeti traže od građevinske operative da radove izvode s optimalnom tehnologijom i tehnološkom opremom s izuzetno osposobljenim i stručnim kadrovima. Izbor najpovoljnije tehnologije građenja ključ je rješenja u postizanju prije navedenih uvjeta. Cilj je svake proizvodnje u traženju najpovoljnije tehnologije uz optimalnu organizaciju vođenja graditeljskog projekta.

Najpovoljnija će se tehnologija građenja postići ako budu ispunjeni ciljevi da proizvodnja ispunjava sljedeće uvjete:

- najmanji troškovi
- najmanji udio uloženog rada i energije
- najmanji utrošak radnih sati
- najmanje utrošeno vrijeme po m³ ili m² građevine i za ukupni graditeljski projekt
- maksimalnu kvalitetu radova
- osiguran kontinuitet proizvodnje i kontinuirana uporaba raspoloživih kapaciteta
- najmanje poslovne teškoće
- rješavanje raznih specifičnih ciljeva građevinskog poduzeća, društva i okoline.

Graditeljski se tehnolozi često nalaze u praksi pred dilemom pojedinih tehnoloških rješenja i u kratkom vremenu moraju donijeti odluku između više mogućih rješenja. Pri tome se želi primijeniti odluka koja osigurava najbolji uspjeh, a to je moguće jedino izborom između više varijanata rješenja i optimizacijom iznaći najpovoljniju.

Najpovoljnija izvedba cjelokupnoga graditeljskog projekta, uz osiguranje profita graditeljske proizvodnje, uvijek je imperativni cilj graditeljstva.

To se može postići provedbom minimalizacije troškova i rokova građenja te maksimalizacijom kvalitete, odnosno traženjem najpovoljnijeg odnosa između troškova, vremena i kvalitete izvedbe.

2 Metode za postizanje najpovoljnije tehnologije građenja

2.1 Općenito

U praksi ima više modela i metoda za provedbu optimizacije tehnoloških sustava u građenju graditeljskih projekata.

Modeli mogu biti jednostavniji i pogodni za brzu uporabu, odnosno složeniji, ali primjenom tih modela dobivamo točnija i sigurnija rješenja.

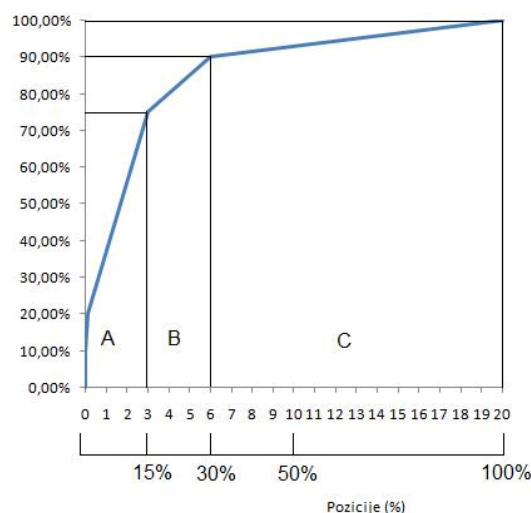
Modeli u primjeni mogu biti:

1. ABC analiza
2. SWOT (SPIN) analiza
3. Analiza vrijednosti
4. Komparativna analiza

Najjednostavniji su modeli svakako ABC i SWOT analiza jer te analize ne traže primjenu posebnih proračuna te mogu poslužiti za brzu analizu između velikog broja varijanata. Nadalje mogu poslužiti da se utvrdi koje su varijante najkvalitetnije te da se eliminacijom isključe nepovoljnije. S povoljnim se varijantama tada provodi optimizacija s točnijim i složenijim modelima.

2.2 ABC analiza

ABC analiza temelji se na karakteristici da manji postotak pozicija, odnosno stavki čini velik postotak troškova pri izvedbi graditeljskih projekata. U tom se slučaju u analizi obrađuje samo taj manji dio pozicija i varijanta koja će imati najmanje troškove bit će optimalna.



Slika 1. Dijagram ABC analize

Na slici 1. prikazan je karakteristični dijagram ABC analize s krivuljom troškova pojedinih pozicija tehnološkog sustava.

Iz slike je vidljivo da 15 % pozicija čini 75 % ukupnih troškova, 30 % pozicija čini 90 % troškova, dok preostalih 70 % pozicija čini ukupno 10% troškova.

Pri izboru najpovoljnije tehnologije utvrdimo od kojih se pozicija sastoji promatrani tehnološki sustav od kojega je sastavljena cijena za jedinicu mjere sustava. Nakon toga izradimo dijagram za ABC analizu i utvrdimo koji postotak pozicija predstavlja površinu krivulje A i koji je to postotak ukupne vrijednosti troškova promatranoga tehnološkog sustava. Taj postupak najvjerojatnije iznosi između 60 % do 85 % ukupne vrijednosti tehnološkog sustava.

Nakon toga se za svaku varijantu tehnološkog sustava koje se optimiziraju, izrađuje dijagram ABC analize i traži koja je varijanta optimalna. Optimalna je ona varijanta koja ima najmanji postotak pozicija koje čine najveći postotak troškova.

S obzirom na to da se u analizi promatra mali broj pozicija, koje se nalaze u A području krivulje, smatra se da je ta analiza nedovoljno točna za dobivanje realnih podataka koja je varijanta tehnoloških sustava optimalna.

2.3 SWOT analiza

Kako su u graditeljstvu često potrebne brze odluke o odabiru određenoga tehnološkog sustava da bi se u kratkom vremenu provela analiza, u tom se slučaju može primijeniti SWOT analiza. To je zapravo logička analiza za koju nisu potrebni proračuni, već su potrebne informacije o pojedinim karakteristikama tehnološkog sustava koji se analizira.

SWOT analiza provodi se kroz 3 faze:

1. je faza utvrđivanje tehnološkog sustava odnosno utvrđivanje ideja koji će se sustav analizirati
2. faza razvrstava ideje po važnosti i određuje što će se u 3. fazi analizirati
3. u ovoj fazi analizom se utvrđuju sljedeće karakteristike:
 - prednosti
 - nedostaci
 - mogući posebni zahtjevi
 - nesigurnosti.

Prednosti o manjkavosti odnose se na unutarnje čimbenike tehnologije, a posebni zahtjevi i nesigurnost povezani su s vanjskim čimbenicima.

Ova analiza daje pregled osnovnih karakteristika pa može poslužiti za primjenu kada se analizira i odluku treba donijeti u kratkom vremenu, bez uporabe proračuna.

2.4 Analiza vrijednosti

U primjeni analize vrijednosti postupak se provodi u više faza:

- Prikupljanje potrebnih informacija
- Izbor ideja za varijantne prijedloge
- Odluka o potrebnim funkcijama i kriterijima
- Ocjena težine i relativnih vrijednosti varijanata
- Odluka o optimalnoj varijanti.

2.4.1 Prikupljanje potrebnih informacija

To je prva faza analize vrijednosti koja je značajna po tome što se prikuplja što više podataka o promatranjoj varijanti tehnologije s obzirom na složenost njenih funkcija i troškova.

Kad odaberemo varijantu tehnološkog sustava prije početka vrijednosnog analiziranja pristupamo izboru kriterija i što većeg broja informacija o tom sustavu i kriterijima. Izvori informacija mogu biti: prospekti, literatura, cjenici, nacrti, posjeti i pregledi na gradilištu te intervjui sa stručnjacima koji promatrani tehnološki sustav primjenjuju u praksi.

U provedbi analize to je vrlo važno jer što imamo više informacija i podataka bit će ocjena i odluka o izboru optimalne tehnologije bliža realnosti.

2.4.2 Izbor ideja za varijantne prijedloge

Nakon prikupljanja potrebnih informacija o složenosti, funkciji i troškovima promatranoga tehnološkog sustava započinje postupak izbora prijedloga varijanata.

Od većeg broja stručnjaka treba prikupiti informacije za racionalno utvrđivanje funkcija, kriterija pojedinoga tehnološkog sustava i prijedloga za smanjenje troškova tehnološkog sustava koji se analizira.

Opis ideje mora biti kratak i treba sadržavati što više podataka o funkciji, složenosti i troškovima. Nadalje treba utvrditi prednosti i nedostatke tehnološkog sustava. Varijante koje ne zadovoljavaju osnovne zahtjeve prema funkcijama i složenosti tehnološkog sustava treba isključiti već u ovoj fazi.

2.4.3 Odluka o potrebnim funkcijama i kriterijima

Nakon što odredimo potrebne kriterije tehnološkog sustava, pristupamo provedbi ocjene njihovih težina odnosno vrijednosti i nakon toga izračunavamo relativne vrijednosti pojedinih varijanata.

2.4.3.1 Vrednovanje kriterija i određivanje pondera

Kriterije promatramo sustavno a vrednovanje provodimo po principu da se svaki kriterij uspoređuje sa svakim te im dodjeljujemo vrijednosti od 0 do 3. Kako sve teži-

ne nisu jednake, ponderiramo ih tako da važnije imaju veću težinu tj. veći ponder.

Iz praktičnih razloga izražavamo ponder u postocima tako da zbroj svih težina bude 100 %.

2.4.3.2 Vrednovanje kriterija i alternativa

Za vrednovanje alternativa i njihovih kriterija potrebno je sastaviti tablicu (tablica 1.) sa sljedećim podacima:

Tablica 1. Vrednovanje kriterija

KRITERIJ	1				2				3			
	e	p	K	T	e.m.	p	K	T	e.m.	p	K	T
1.												
2.												
3.												
4.												

Horizontalno se u tablicu unose varijante odnosno tehnološki sustavi, a vertikalno kriteriji.

Za svaki se kriterij određuju i unose u tablicu sljedeće veličine:

e - jedinica mjere za pojedini kriterij

p - ponder

K - koeficijent za ocjenu težine

T - umnožak pondera i koeficijenta K , odnosno broj dostignutih točaka za svaki kriterij i varijantu posebno.

2.4.4 Ocjena relativnih vrijednosti i rangiranje varijanata

Ocjena koju dobijemo s tehničkim parametrima je apsolutna.

Potrebno je provesti usporedbu varijanata s obzirom na odnos dostignutih točaka i troškova za pojedini kriterij.

Usporedba se provodi prema tablici 2.

Tablica 2. Ocjena relativnih vrijednosti

VARIJANTA	DOSTIGNUTE TOČKE	TROŠKOVI (€/jed. mere)	VRIJEDNOST (T/S)	Relativni rang
1.				1
2.				3
3.				4
4.				2

Relativna usporedba varijanata provodi se prema obrascu:

$V - F/S$

V - vrijednosti

$F(T)$ - funkcija odnosno točka ocjene težine kriterija

S - troškovi, odnosno cijena

U daljnjem ćemo tekstu prikazati primjer ocjene varijanata tehnološkog sustava oplata s provedbom optimizacije i prikazanim najpovoljnijim rješenjem.

2.4.5 Određivanje optimalne varijante

Optimalna je ona varijanta, koja ima najveći rang vrijednosti.

Ako nije moguće odrediti optimalnu varijantu kada se međusobno suprotstavljaju rangovi ocjenjivanja

relativne vrijednosti i težine kriterija, tada se postupak nastavlja. Taj se slučaj rijetko događa. Kombinacijom elemenata iz raznih varijanata pokušava se pronaći neku novu varijantu i uključiti je u postupak optimizacije.

2.5 Komparativna analiza

2.5.1 Općenito

Komparativna je analiza pogodna za provedbu optimizacije tehnoloških sustava u gradjenju. Tom se analizom mogu uspoređivati i optimizirati samo dva tehnološka sustava u jednom postupku. Ako optimiziramo više tehnoloških sustava tada se postupno optimiziraju po dva sustava, a nakon toga se dva najpovoljnija rješenja iz pojedinog postupka opet međusobno uspoređuju. Postupak se provodi tako dugo dok se ne usporede svi sustavi.

Tehnološki sustavi koji se mogu optimizirati primjenom komparativne analize odnose se na:

- tehnologiju proizvodnje, transporta i ugradbe betona i mortova
- izradu, montažu i demontažu oplata
- izradu i montažu armature za armiranobetonske konstrukcije
- izradu, transport i montažu montažnih elemenata
- i druge tehnološke sustave.

2.6 Osnovni elementi komparativne analize

Najvažniji su kriterij postupka komparativne analize troškovi budući da je minimiziranje troškova osnovni cilj izlaznog prostora proizvodnog sustava. Utvrđivanje minimalnih troškova traži izradu kalkulacije za odabrani postupak proizvodnje.

Pri proračunu komparacije troškova vrlo je važna točnost pa treba uključiti sve veličine koje bi je mogle smanjiti.

Najveće pogreške mogu nastati:

- zbog neuzimanja u obzir otežavajućih utjecaja u postupku usporedbe
- zbog netočnih podataka određivanja veličina za postupak usporedbe
- zbog mogućih pogrešaka u pogonskoj dokumentaciji u kojoj se vode troškovi.

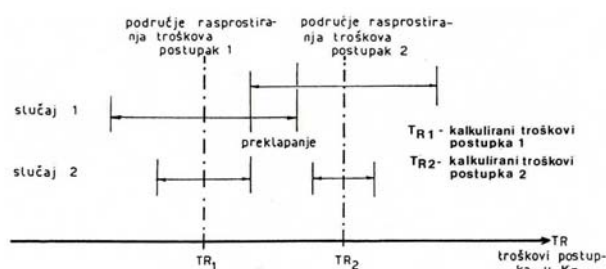
U graditeljskoj se proizvodnji upotrijebljene vrijednosti u komparativnoj kalkulaciji ne mogu prenijeti iz drugih gradilišta jer vanjski i unutarnji uvjeti dovode do različitih vrijednosti sa širokim područjem djelovanja. Zbog toga je potrebno provjeravanje vrijednosti da bi se uzeli u obzir promijenjeni odnosi.

Isto je i s drugim utjecajima kao što je na primjer uvježbanost i uigranost jedne radne grupe u odnosu na druge, pa uzimanje rezultata učinka te grupe u proračun može dati nerealnu sliku komparativnog proračuna.

To vrijedi i za sva sredstva rada različitog kapaciteta, što daje različito vrijeme proizvodnje kod građevina iste veličine i vrste.

U graditeljskoj se proizvodnji najčešće ne uspijeva u jednom postupku usporedbe isključiti sve utjecaje koji su rezultat raznih vanjskih i unutarnjih faktora iz prethodnog razdoblja pa se u rezultatima komparacije najčešće nalazi odgovarajući proizvodni rizik.

Rezultat se, doduše, može poboljšati ako je moguće kvantificirati nesigurnost u kalkulativnim veličinama, odnosno ako su moguća odstupanja u tijeku izvedbe. Prema navedenoj pretpostavci mogu se pomoću definiranja područja rasprostiranja troškova i izračunavanja prosječne pogreške odrediti ukupni troškovi postupka u kojem se tada očekuju stvarni ukupni troškovi.



Slika 2. Slučaj nesigurnosti pri proračunu razlike troškova između dvaju postupaka

Ako se područja rasprostiranja troškova dvaju postupaka koji predstavljaju dvije mogućnosti rješenja preklapaju, ne može se sa sigurnošću utvrditi koji je od tih dvaju postupaka jeftiniji. Objašnjenje navedene konstatacije vidi se na slici 2.

2.7 Postupak proračuna

Ako treba pronaći apsolutnu razliku između dviju veličina, primijenit će se proračun razlike vrijednosti.

Za provedbu su potrebne sve poznate utjecajne veličine. Proračun se može pojednostaviti ako se uzmu u obzir samo promjenljive veličine koje se javljaju u postupcima građenja koji se proračunski uspoređuju. Nepromjenjive će se veličine u početku isključiti.

Apsolutna razlika dviju veličina T_{R1} i T_{R2} iznosi $R = (T_{R1} - T_{R2})$, s tim da dimenzije veličina T_{R1} i T_{R2} moraju biti iste, npr. eur/m³ i sl.

I kod proračuna razlike izražene u postotnom iznosu dimenzije veličina moraju biti iste.

$$R_{P1} = \frac{|T_{R1} - T_{R2}|}{T_{R1}} 100 \text{ ili } R_{P2} = \frac{|T_{R2} - T_{R1}|}{T_{R2}} 100$$

Nakon proračuna razlike potrebno je proračunati granicu ekonomičnosti proučavanih postupaka.

Proračun granice ekonomičnosti dvaju postupaka provest će se pod pretpostavkom da je razlika troškova jednaka nuli ($R = T_{R1} - T_{R2} = 0$).

Time se mogu ograničiti područja ekonomičnosti. U tom slučaju moraju se postaviti jednadžbe troškova s jednom nepoznatom veličinom.

$$T_{R1} = A_1 + B_1 \cdot X_1$$

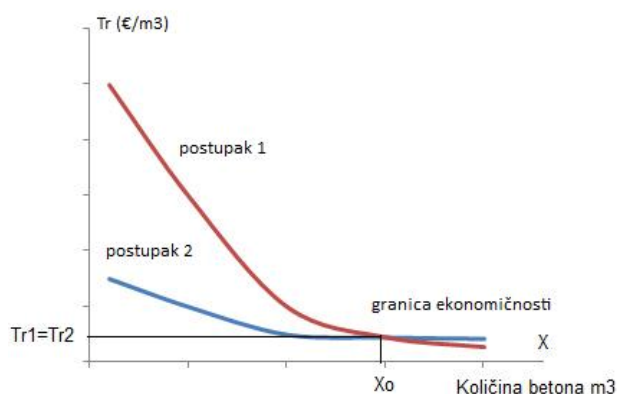
$$T_{R2} = A_2 + B_2 \cdot X_2$$

»A« i »B« su apsolutne veličine.

Traže se granične vrijednosti koje se nalaze u sjecištu krivulja troškova promatranih postupaka.

$$X_0 = X_1 = X_2 \text{ za } T_{R1} = T_{R2}$$

Na slici 3. prikazan je dijagram granice ekonomičnosti dvaju proizvodnih postupaka, odnosno izvedbe dvaju različitih tehničkih rješenja građevine.



Slika 3. Dijagram granice ekonomičnosti dvaju postupaka

X - proizvodne jedinice ili vrijeme građenja

Tr - troškovi u eurima

3 Primjeri provedbe optimizacije tehnoloških sustava

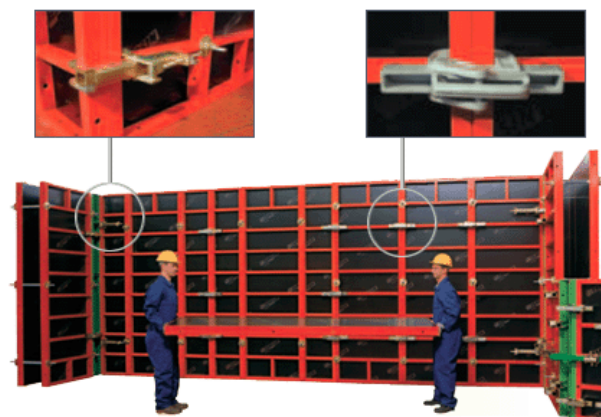
Autori članka su u građevnom poduzeću PTUJ d.o.o. u Ptuj, Slovenija, u pripremi rada proveli istraživanje s oplatnim sustavima uz primjenu prikazanih modela analize.

U postupku analize razmatrani su sljedeći oplatni sustavi:

- EPIC ECO® – aluminijska plastična oplata (slika 4.)
- EPIC SUSTAV 3000 – metalna oplata s veznim pločama (slika 5.)
- STERLING ZIDNA OPLATA – metalna oplata s veznim pločama (slika 6.)
- FRAMAX XLIFE oplata s veznim pločama (slika 7.).



Slika 4. EPIC ECO® - plastična oplata



Slika 5. EPIC SUSTAV 3000



Slika 6. STERLING ZIDNA OPLATA



Slika 7. FRAMAX XLIFE

3.1 Optimizacija primjenom analize vrijednosti

Prikupljanjem informacija i na temelju iskustva iz prakse odabrane su četiri varijante tehnoloških sustava oplate.

U provedbi analize vrijednosti za oplatne sustave primijenjeni su sljedeći kriteriji:

- Težina u kilogramima po m² radi što lakše montaže
- Različite dimenzije oplatnih elemenata radi što lakše montaže
- Mogućnost višekratne uporabe oplate
- Dopuštena nosivost oplate
- Složenost montaže radi što jednostavnije i kraće montaže
- Troškovi oplate, odnosno najma oplate ako se koristi u najmu.

U tablici 3. prikazane su sve veličine po odabranim kriterijima za svaku promatranu varijantu tehnološkog sustava oplate. Veličine po kriterijima navedene su u horizontalnim redovima po pojedinim varijantama koje su u vertikalnim stupcima.

Izabrane su u utvrđene težine pojedinih varijantnih prijedloga. Nakon toga je obavljena ocjena težina i relativnih vrijednosti po varijantama, vrednovanje kriterija i određivanje pondera.

Kriteriji se uspoređuju i vrednuju po principu da se svaki kriterij uspoređuje sa svakim te im se dodjeljuju vrijednosti prema sljedećoj raspodjeli:

- 2 - najpovoljnije
- 1 - povoljno
- 0 - najmanje povoljno.

Tablica 3. Veličine po kriterijima pojedinih oplatnih sustava

Oplatni sustav	1. EPIC ECO®	2. EPIC SUSTAV 3000	3. STERLING ZIDNA OPLATA	4. FRAMAX XLIFE
Kriteriji:				
a) težina u kg	5-22 kg/m ²	32-140 kg/m ²	35-238 kg/m ²	31-259 kg/m ²
b) dimenzije	20/140, 30/140, 40/140,50/140, 70/140, 30/70,70/70	(20,25,30,40,45,50,55,60,65, 70,75,80,90, 100,120,200)x 300	(30,45,55,60,90,135,240)x 330, (25,30,45,50,55,60,90,135,240)x270, (25-135)x135	(30,45,60,90,135)x330, (30-135)x135, (30-135)x270,90x90, 240x270,240x330
c) broj uporaba	200 puta	200 puta	300 puta	300 puta
d) opterećenje	60 kN/m ²	80 kN/m ²	80 kN/m ²	90 kN/m ²
e) normativ montaže	5 minut/m ²	10 min/m ²	10 min/m ²	12 min/m ²
f) troškovi najma	0,80€/dan	0,80€/dan	0,70€/dan	1,00€/dan

Veličine pondera prikazane su u tablici 4.

Tablica 4. Vrednovanje kriterija

KRITERIJI	a	b	c	d	e	f	UKUPNO	PONDER (%)
a težina	1	0	0	1	2	2	6	13,3
b dimenzije	1	1	0	1	2	2	7	15,6
c broj uporaba	0	0	1	0	2	2	5	11,1
d opterećenje	1	0	1	1	2	2	7	15,6
e normativ montaže	2	2	2	2	1	1	10	22,2
f troškovi najma	2	2	2	2	1	1	10	22,2
45	100							

U tablici 5. prikazane su vrijednosne veličine alternativa pri čemu su:

Tablica 5. Vrijednosne veličine alternativa

VARIJANTA	TEŽINA				DIMENZIJE				BROJ UPORABA				
	kg/m ²	p	K	T	Br.	p	K	T	Br.	p	K	T	
EPIC ECO®	5-22	13,3	4	53,2	7	15,6	2	31,2	200	11,1	3	33,3	
EPIC SUSTAV 3000	32-140	13,3	3	39,9	16	15,6	3	46,8	200	11,1	3	33,3	
STERLING	35-238	13,3	2	39,9	24	15,6	4	62,4	300	11,1	4	44,4	
FRAMAX XLIFE	31-259	13,3	2	26,6	18	15,6	3	46,8	300	11,1	4	44,4	
OPTEREĆENJE		NORMATIV MONTAŽE				TROŠKOVI NAJMA				UKUPNO			
kN/m ²	p	K	T	min/m ²	p	K	T	€/dan	p	K	T	točke	aps. rang
60	15,6	2	31,2	5	22,2	4	88,8	0,8	22,2	3	66,6	304,3	2
80	15,6	3	46,8	10	22,2	3	66,6	0,8	22,2	3	66,6	300,0	3
80	15,6	3	46,8	10	22,2	3	66,6	0,7	22,2	4	88,8	348,9	1
90	15,6	4	62,4	12	22,2	2	44,4	1,0	22,2	2	44,4	269,0	4

p - ponder

K - koeficijent za ocjenu težine koji je 4 za dobro rješenje, a 1 za slabo rješenje

T - broj dostignutih točaka ($T = p \cdot K$) za svaku veličinu i pojedinu varijantu.

Nakon prikaza vrijednosnih veličina alternativa obavlja se ocjena relativnih vrijednosti i rangiranje alternativa. Ocjena koja je dobivena s pomoću tehničkih parametara jest apsolutna veličina.

Za međusobnu usporedbu varijanata što se tiče odnosa dostignutih točaka i troškova, relativna se usporedba provodi prema jednadžbi:

$$\text{vrijednost } V = \frac{F}{S}$$

U tablici 6. prikazana je međusobna usporedba varijanata i rangiranje varijanata.

Tablica 6. Ocjena relativnih veličina i rangiranje varijanata

VARIJANTA	TOČKE	TROŠKOVI (€/m ²)	VRIJEDNOST (T/S)	Relativni rang
EPIC ECO®	304,3	190,00	1,60157	1
EPIC SUSTAV 3000	300,0	250,00	1,20000	3
STERLING	348,9	260,00	1,34192	2
FRAMAX XLIFE	269,0	400,00	0,6725	4

Najpovoljnija je ona varijanta koja je dostigla najviši rang relativne vrijednosti, što je prema ovoj analizi tehnološki sustav oplate PIC ECO® (dostignut prvi (1) rang).

3.2 Optimizacija primjenom ABC analize

Kod primjene prije navedenih oplatnih sustava cijena 1m² oplata sadrži ove elemente:

- radnik PK h 49,13 %
- radnik KV h 47,39 %
- panelna ploča m² 2,81 %
- oplatno ulje 0,67 %

U ovom slučaju vrijednost rada u izvedbi oplata iznosi 96,52 % po m² oplata.

Zaključuje se da ABC analiza nije najpovoljnija za primjenu provedbe optimalizacije kod tehnoloških sustava oplata jer je prisutno premalo stavaka koji čine cijenu oplata po m² budući da već samo dvije stavke čine gotovo 100 % cijene.

ABC analiza je povoljnija u provedbi optimizacije kada je prisutno u cijeni tehnološkog sustava bar 15 % elemenata (stavki) koje čine približno 75 % troškova.

3.3 Optimizacija primjenom komparativne analize

Za provedbu optimizacije komparativnom analizom izabrana su dva tehnološka sustava oplata koji su prema rezultatima iz analize vrijednost imali najveći rang, a to su oplatni sustavi EPIC EKO® i EPIC SUSTAV 3000.

Tablica 7. Troškovi oplatnog sustava EPIC SUSTAV 3000

	KOLIČINA	JEDINIČNA CIJENA (€)	UKUPNA CIJENA (€)
PK RADNIK	0,69 h	10,80 €	7,45 €
KV RADNIK	0,55 h	12,50 €	6,87 €
OPLATNA PLOČA	1,00 m ²	0,49 €	0,49 €
OPLATNO ULJE	0,05 kg	2,35 €	0,12 €
UKUPNO			14,93 €/m²

U tablicama 7. i 8. prikazani su za navedene sustave troškovi pojedinih elemenata po m² oplata koji čine ukupnu cijenu oplatnog sustava po m².

Iz tablice 7. proizlazi da varijanta 1 (T_{R1}) oplatni sustav EPIC SUSTAV 3000 ima cijenu 14,93 €/m².

Za varijantu 2 – oplatni sustav EPIC EKO® troškovi su T_{R2} prikazani u tablici 8.

Tablica 8. Troškovi oplatnog sustava EPIC EKO®

	KOLIČINA	JEDINIČNA CIJENA (€)	UKUPNA CIJENA (€)
PK RADNIK	0,59 h	10,80 €	6,37 €
KV RADNIK	0,45 h	12,50 €	5,62 €
OPLATNA PLOČA	1,00 m ²	0,44 €	0,44 €
OPLATNO ULJE	0,05 kg	2,35 €	0,12 €
UKUPNO			12,55 €/m²

Provedbom optimalizacije proizlazi da je varijanta 2 (T_{R2}) s oplatnim sustavom EPIC EKO® povoljnija jer ukupna cijena za montažu i demontažu iznosi 12,55 €/m² i 18,96 % je jeftinija od varijante 1.

Prag ekonomičnosti između ovih dviju varijanti ne može se utvrditi budući da se troškovi razmjerno smanjuju s obzirom na činjenicu da je broj uporaba oplatnih sustava kod obje varijanata jednak.

3.4 Optimizacija primjenom SWOT analize

Kako je ovo logistička analiza, potrebno je utvrditi kriterije za ocjenu pogodnosti ili nepogodnosti uporabe, i to:

- prednosti
- nedostatke
- moguće posebne zahtjeve
- nesigurnosti.

U razmatranje se može uključiti više tehnoloških sustava pa se tada logističkom ocjenom utvrđuju pogodnosti ili nepogodnosti svakog sustava.

U ovom primjeru analizirat će se tehnološki sustav oplata EPIC EKO® koji je bio najpovoljniji prema prethodnim analizama.

Logističkom analizom prema prije navedenim elementima utvrđeno je sljedeće:

- a) Prednosti
- oplata je veoma lagana
 - montaža je jednostavna
 - cijena oplata je konkurentna

- prisutna je mogućnost uzimanje oplata u najam
 - kvaliteta oplaćivanja je zadovoljavajuća
 - praktična je za transport
- b) Nedostaci
- Nepovjerenje u umjetni materijal – plastiku
- c) Mogući posebni zahtjevi
- oplatni je sustav montažni – velikoplošni
 - mogućnost zamjene staro za novo
- d) Nesigurnosti
- slabija nosivost u kN/m².

3 Zaključak

Nakon provedbe optimizacije po svim prikazanim analizama najpovoljniji tehnološki sustav oplata jest sustav EPIS EKO® (slika 8.). Jedini je nedostatak tog sustava oplata premalo iskustva u primjeni i nepovjerenje u materijal (plastika) u odnosu na druge čvrste materijale. Međutim, taj oplatni sustav zadovoljava mnoge uvjete u primjeni kao što su: jednostavna prilagodljivost obliku betonskih konstrukcija, brzo sastavljanje i montaža, višenamjenska uporaba, otpornost na vremenske i klimatske prilike, beton se ne hvata za oplatnu površinu i djeluje kao trajna konstrukcija.

Graditelji u praksi više su skloni uporabi robusnih i provjerenih oplatnih sustava koji su manje osjetljivi u manipulaciji pri montaži i demontaži.



Slika 8. Sustav velikoplošne oplata EPIC EKO®

U prikazu modela analiza za provedbu optimizacije proizlazi da je najtočnija analiza vrijednosti budući da u postupku optimalizacije uključuje najviše elemenata pojedinoga tehnološkog sustava. Nisu uvijek najvažniji samo troškovi kao kod komparativne i ABC analize.

Izbor najpovoljnije tehnologije u građenju vrlo je važan čimbenik pri sastavljanju konačne cijene graditeljskog projekta i realnog roka građenja. Rezultat treba biti realna cijena graditeljskog projekta i osiguranje profita.

Za kvalitetno provedenu optimizaciju po bilo kojem modelu najvažniji je što veći broj podataka koji moraju biti provjereni, realni i točni.

LITERATURA

- [1] Aquilar, R. J.: *System Analysis and Design*, Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1973
- [2] DOKA Slovenija d.o.o., www.doka.si, 21.11.2008, informacije proizvođača
- [3] Epic d.o.o., www.epic.si, 21.11.2008, informacije proizvođača
- [4] Flašar, A.: *Analize i kalkulacije u građevinarstvu*, Građevinska knjiga, Beograd, 1984
- [5] Hupfer, P.: *Optimierung von Baukonstruktionen*, B.G. Teubner, Stuttgart, 1970
- [6] Jurecka, W.: *Operation Research im Bauwesen Optimierung und Entscheidung von Ingenieur Problemen*, Springer Verlag, Berlin, 1972
- [7] Lončarić, R.: *Organizacija izvedbe graditeljskih projekata*, Monografija, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Zagreb, 1995., str. 433
- [8] Lončarić, R.; Amadori, M.: *Optimalisation of Technological Konstruktion Processes by Application of the Value Analysis Method and the Comparative Analysis*, TECHSTA 2004, 4th International Conference, Prague, 2004
- [9] Pšunder, M.: *Ekonomika gradbene proizvodnje*, Fakulteta za gradbeništvo, Univerza v Mariboru, Maribor, 2008
- [10] National opažni sistem d.o.o., www.national-opazi, 22.11.2008.
- [11] Nemeč, V.: *Vrednostna analiza*, Gradbeni centar Slovenije, Ljubljana, 1978
- [12] Novaković, V.: *Analize i kalkulacije u građevinarstvu*, IRO Građevinarska knjiga, Beograd, 1984
- [13] Winkler, W.; Bauer, U.: *Operations Research*, Technische Universität, Graz, 1985