

Primljen / Received: 14.10.2011.

Ispravljen / Corrected: 18.1.2013.

Prihvaćen / Accepted: 21.2.2013.

Dostupno online / Available online: 15.3.2013.

# Troškovi izgradnje zgrada pomoću tunelske oplatae

## Autori:



Mr.sc. **Zeynep Yeşim İlerisoy**  
Gazi Univerzitet u Ankari, Turska  
Odjel za arhitekturu  
[zyharmankaya@gazi.edu.tr](mailto:zyharmankaya@gazi.edu.tr)



Prof.dr.sc. **Mehmet Emin Tuna**  
Karabük Univerzitet u Karabükü, Turska  
Odjel za arhitekturu  
[mtuna@gazi.edu.tr](mailto:mtuna@gazi.edu.tr)

Stručni rad

[Zeynep Yeşim İlerisoy, Mehmet Emin Tuna](#)

## Troškovi izgradnje zgrada pomoću tunelske oplatae

U radu se kao referentni primjer razmatra stambena zgrada opremljena sustavom otpornim na bočna opterećenja. Sustav je sastavljen od posmičnih zidova izvedenih primjenom tehnologije bazirane na korištenju tunelske oplatae. Zgrada je modelirana za razni broj katova, a pomoću modela razmatrana je prihvatljivost tehnologije s obzirom na troškove građenja. Razmatran je u i utjecaj vrste tla na troškove građenja. Dobiveni rezultati ukazuju da greške u određivanju kategorije tla mogu dovesti do krivih odluka pri odabiru najpogodnijeg broja katova, te pri projektiranju konstruktivnih elemenata i temelja građevina.

### Ključne riječi:

troškovi građenja, broj katova, tehnologija tunelske oplatae, sustav posmičnih zidova, vrsta tla

Professional paper

[Zeynep Yeşim İlerisoy, Mehmet Emin Tuna](#)

## Construction costs of tunnel form buildings

A residential building with a lateral load resisting system, adopted as a reference example, is considered in the paper. The system is made of shear walls realized using the tunnel form technology. The building is modelled for a varying number of floors, and the model is also used to consider the applicability of the technology with regard to construction costs. The influence of the type of soil on construction costs is also considered. The results obtain show that mistakes made in determining the soil class may lead to inadequate decisions during selection of the most favourable number of floors, and in the design of structural elements and foundations of buildings.

### Key words:

construction costs, number of floors, tunnel form technology, shear wall system, type of soil

Fachbericht

[Zeynep Yeşim İlerisoy, Mehmet Emin Tuna](#)

## Baukosten der Gebäudekonstruktion mit Hilfe von Tunnelschalungen

In der vorliegenden Arbeit wird ein Wohngebäude mit einem auf seitliche Belastungen widerständigem System aus Wandscheiben, die durch eine auf der Anwendung von Tunnelschalungen beruhenden Bautechnologie ausgeführt worden sind, betrachtet. Das Gebäude ist für eine variierende Anzahl von Stockwerken modelliert worden, um mit Hilfe des Modells die Technologie in Bezug auf Baukosten zu untersuchen. Der entsprechende Einfluss des Bodentyps ist ebenfalls ermittelt worden. Die erhaltenen Resultate weisen darauf hin, dass Fehleinschätzungen der Bodenkatgorie sowohl in der Bestimmung der optimalen Anzahl von Stockwerken als auch im Entwurf konstruktiver Elemente und Fundamente, zu fehlerhaften Entscheidungen führen kann.

### Schlüsselwörter:

Baukosten, Anzahl von Stockwerken, Tunnelschalungstechnik, Wandscheibensystem, Bodentypen

## 1. Uvod

U visokogradnji nije samo važno udovoljiti funkcionalnim zahtjevima i iznalaziti estetska rješenja već treba uvelike uzimati u obzir donošenje odluka o dostupnim resursima i ekonomskim okolnostima. Građevinarstvo se od ostalih područja razlikuje po tome što su građevinski proizvodi izuzetno skupi, a proces građenja obavlja se samo jednom. Procjena troškova od velike je važnosti za inženjere zaposlene u tom području (kako za pojedince tako i za poduzeća) naročito kada trebaju donositi odluke o provedbi/održavanju postupka te o korištenju resursa na što djelotvorniji način [1]. Zakoni i propisi svih država definirani su imajući tu postavku u vidu. Građevinski propisi sadrže niz pravila za ekonomično projektiranje uz minimalne zahtjeve čvrstoće te minimalno korištenje resursa.

Ne može se smatrati da je zgrada od šezdeset katova ista kao i četiri superponirane zgrade od po petnaest katova. Stoga se odabir konstrukcijskih elemenata i materijala, tj. trošak građenja zgrade, mijenja u ovisnosti o broju katova. Nažalost, neke se stambene zgrade u Turskoj grade na bazi gore iznesene pretpostavke, naročito kada ih izvode oni koji rade po načelu izgradi i prodaj. Kako takovi graditelji žele ostvariti dobit na temelju jednostavnog izračuna, bez traženja racionalnih rješenja, zgrade koje oni izvode znatno stradaju bilo u potresima ili tijekom samog korištenja.

U fazi projektiranja trebaju se u obzir uzeti svi faktori koji bi mogli uzrokovati oštećenja tijekom potresa, te se trebaju poduzeti odgovarajuće mjere. Faktori koji mogu uzrokovati oštećenja tijekom potresa mogu se svrstati u tri skupine: svojstva potresa, svojstva konstrukcije i kategorija tla. Od tih faktora, kategorija tla može prouzročiti različite razine oštećenja, čak i kod zgrada koje su izvedene jedne blizu drugih u okviru istog projekta, i to zbog sljedećih razloga:

- a) tlo se ne ponaša isto pod utjecajem dinamičkih i statičkih opterećenja i
- b) slojevi tla mogu se bitno razlikovati po vrsti, debljini i razini podzemnih voda [2, 3].

Stoga se pogodnost gradilišta treba ocijeniti na bazi uvjeta tla, i to usporedo s analizom ekonomskih pokazatelja. U Turskoj ne postoje precizni podaci o ekonomskim aspektima kategorije tla, iako je to pitanje vrlo značajno u fazi projektiranja. Tek je u okviru nekoliko studija obavljeno stvarno istraživanje važnosti kategorije tla u proračunima bočnog potresnog opterećenja. Na primjer, pokazano je da pogreška u ocjenjivanju kategorije tla može promijeniti bočno potresno opterećenje građevine za 25 posto kada se radi o osmerokatnoj armiranobetonskoj zgradi smještenoj u potresnoj zoni 3 [4]. Rezultati pokazuju da je određivanje uvjeta tla na mjestu građenja posebno važno za projektiranje kako same građevine tako i njenih temelja. U ovom se radu analiziraju utjecaji uvjeta tla na troškove građenja.

Odabran je prototip zgrade čija se konstrukcija sastoji od posmičnih zidova koji se mogu izvesti pomoću sustava

tunelske oplate. Razlog za to je činjenica da se tunelski oplatni sustavi često koriste u gradnji stambenih zgrada i to zato što tradicionalni/konvencionalni oplatni sustavi ne mogu udovoljiti zahtjevima povećanja broja katova uz smanjenje rokova građenja [5]. Cilj je analizirati projekte na kojima je korištena tunelska oplata, s naglaskom na troškove građenja. U konačnici bi analize troškova, koje se provode na osnovi nalaza prikazanih u ovom radu mogle bitno utjecati na donošenje odluka u fazi projektiranja.

## 2. Izrada modela

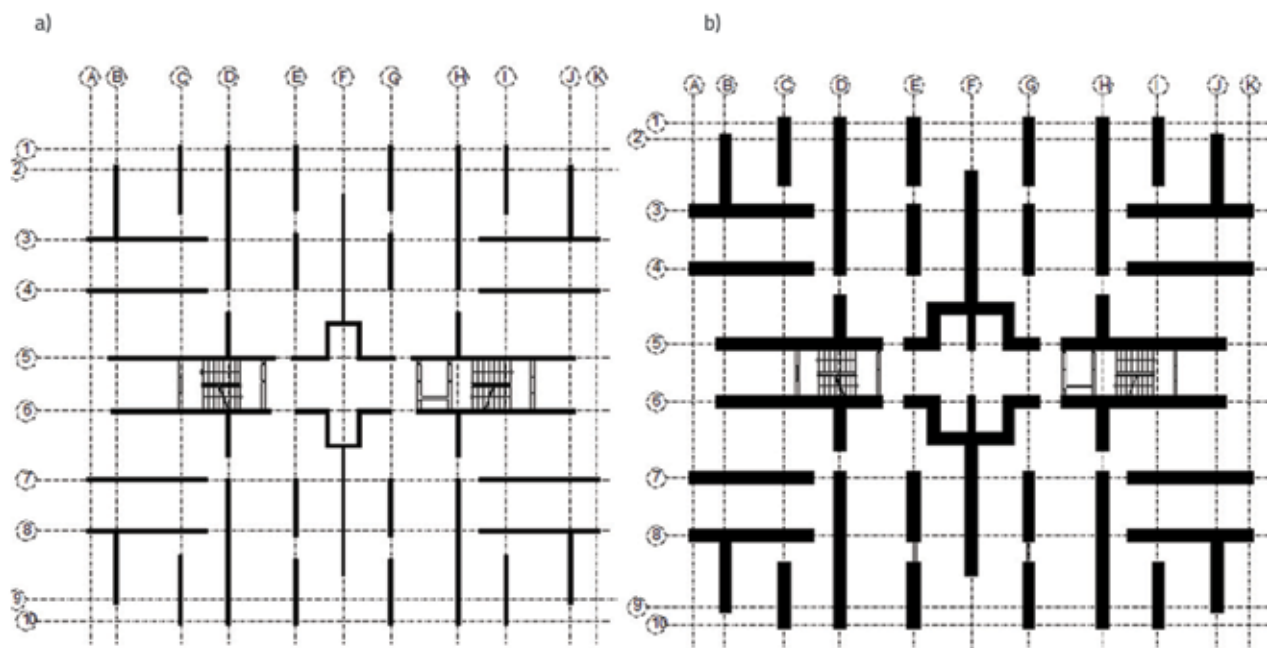
U ovom istraživanju generirano je ukupno devet modela građevine. Svi su modeli simetričnog rasporeda, kao što se to vidi na tlocrtu prikazanom na slici 1. U svakom se modelu broj katova mijenja u intervalima od po šest katova, pa tako imamo 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 i 54 kata.

Analize su obavljene pomoću računalnog programa Sta4-Cad [6] koji je posebno prilagođen za obavljanje analiza konstrukcija. Statičke analize i proračuni armiranog betona obavljani su u skladu sa TS 500 i 2007 turskog zakona o potresima [7, 8]. Pretpostavljeno je da su stambene zgrade locirane u potresnoj zoni 4 i to zato da bi se što više umanjio utjecaj na troškove. Bočna potresna opterećenja izračunana su na bazi koeficijenta spektralnog ubrzanja,  $A(T)$ , koji se definira kao "elastični spektar projektiranja ubrzanja definiran za petpostotno prigušenje podijeljeno sa silom težom  $g$ ", a određuje se kako slijedi:

$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (1)$$

gdje je  $A_0$  koeficijent stvarnog ubrzanja tla, dok je  $I$  faktor važnosti građevine, s tim da se obje vrijednosti mogu preuzeti iz odgovarajućih tablica sadržanih u zakonu.  $A_0$  iznosi 0,1 za seizmičku zonu 4, dok  $I$  iznosi 1,0 s obzirom na to da su modelirane zgrade stambeni objekti [8]. Ostali parametri traženi u proračunu su: perioda karakterističnog spektra ( $T_A/T_B = 0,15/0,4$ ) jer je prihvaćeno da se radi o kategoriji tla Z2, faktor umanjenja seizmičkog opterećenja ( $R = 6$ ) jer su dotične zgrade sustavi sastavljeni od posmičnih zidova, faktor zastupljenosti pokretnog opterećenja ( $n = 0,3$ ), koeficijent smanjenja pokretnog opterećenja ( $C_z = 1$ ), dok modelirani omjer minimalnog opterećenja ( $B$ ) iznosi 0,9.

U razvijenim državama, na primjer u članicama Europske unije ili u SAD-u, tlačna čvrstoća betona ne smije biti manja od 25 MPa (C 20/25), a vrlo često se koriste klase betona C 25/30 i C 30/37. Općenito je usvojeno da se za gradnju kvalitetnih i održivih zgrada treba koristiti beton klase C 25/30 ili betoni viših kvaliteta. Kako betoni niže čvrstoće nisu prikladni za visoke zgrade, te da bi se u okviru ove studije postigli realni i valjani rezultati, u analizama je usvojen beton klase C 25/30. Minimalne debljine posmičnih zidova dobivene su na temelju rezultata statičke analize, pri čemu je ustanovljeno da minimalna debljina treba iznositi 15 cm. Debljina zida



Slika 1. Tlocrtni prikaz građevine: tlocrt s dva dizala, b) tlocrt s četiri dizala

povećavana je u intervalima od po 5 cm, i u svim je slučajevima ispitivana primjenljivost tunelske oplatae. Debljine posmičnih zidova kod modela s različitim brojem katova prikazane su u tablici 1.

Rezultati dobiveni tijekom analize upotrijebljeni su za uspoređivanje jediničnih cijena stanova. Izračunan je broj stanova u zgradi uključujući sve katove, osim podruma i katova za instalacije (tj. analizirani su samo tipski katovi). Za svaki model, raspored katova i ukupan broj stanova prikazan je u tablici 2. Kod modela s više od 30 katova, broj dizala je udvostručen jer su modeli predviđeni za stambene zgrade [9]. Imajući na umu veće širine posmičnih zidova i veći broj dizala u višim zgradama, osi tih zgrada malo su proširene da bi se

održali stanovi "iste veličine". Nakon tih izmjena, stanovi su se po veličini razlikovali za 2-3 %. U svakom slučaju, manje razlike zanemarene su u analizi.

Analize troškova su za svaki model napravljene definiranjem količina za beton, oplatu i armaturu koje ulaze u konstrukcijski sustav (posmični zidovi, ploče, temelji), a sve na bazi tržišnih cijena [10]. U analizu je uključena izolacija krova i troškovi iskopa. Posebne cijene za tunelsku oplatu koja se koristi za nadzemni dio, te cijene temeljenja na pilotima ako se pokaže da su postojeći temelji nedovoljni, dobivene su na bazi analize sadašnjih tržišnih cijena. Dakle, sve su procjene obavljene u skladu s trenutnim uvjetima na tržištu.

Tablica 1. Debljine posmičnih zidova ovisno o broju katova

Broj katova u zgradi	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Debljina posmičnog zida [cm]	15	15	20	20	20	20	40	70	80

Tablica 2. Raspored katova u modelima

Broj katova	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Podrum	1	1	1	2	2	2	3	3	3
Visina konstrukcije [m]	16.80	33.60	50.40	67.20	84.00	100.80	117.60	134.40	151.20
Kat za instalacije	0	0	0	1	1	2	2	3	3
Tipski kat	5	11	17	21	27	32	37	42	48
Stan	20	44	68	84	108	128	148	168	192

### 3. Analiza troškova

Statičke analize tla obavljene su za svaki model, pri čemu su se modeli razlikovali po broju katova, a svaki od njih je imao posmične zidove jednake veličine, koji su simetrično postavljeni u oba smjera. Zatim su rezultati analize troškova ocijenjeni s dva aspekta. Najprije su modeli međusobno uspoređeni prema broju katova bez obzira na troškove, da bi se odredila racionalnost upotrebe sustava tunelske oplata. Zatim je promijenjena dopuštena nosivost tla da bi se ispitao utjecaj vrste tla na ukupne troškove građenja.

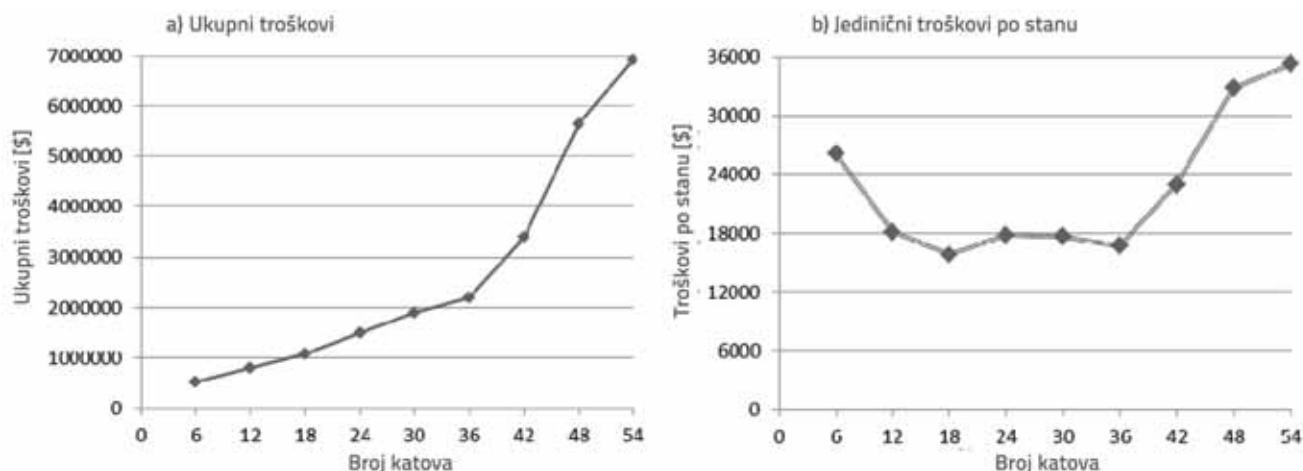
#### 3.1. Analiza troškova tunelske oplata na zgradama različite katnosti

Očito je da kod svih konstrukcijskih sustava troškovi građenja rastu usporedo s povećanjem broja katova. Međutim, ipak bi bilo netočno pretpostaviti da postoji određeni odnos između broja katova i povećanja troškova. U stvari, na povećanje troškova utječu i drugi značajni parametri kao što su odabir konstrukcijskog sustava i materijala. U ovom se istraživanju procjenjuju troškovi građenja na projektima na kojima dopuštena nosivost iznosi  $250 \text{ kN/m}^2$ , a upotrebljava se beton klase C 25/30, dok je broj katova varijabilan. Ukupni troškovi

građenja zgrada, te jedinični troškovi građenja stanova u odnosu na broj katova, prikazani su na slici 2.

Usporedba ukupnih troškova pokazuje da za projekte iskazanih geometrijskih karakteristika građevinski troškovi zgrada sa 6, 12, 18, 24, 30 i 36 katova rastu ravnomjerno, dok se za zgrade s 42 i više katova uočava nagli porast troškova (slika 2.). Ovo povećanje troškova može se objasniti povećanjem debljine posmičnih zidova usporedo s povećanjem broja katova. To je povećanje također prikazano u tablici 1., pri čemu treba uzeti u obzir činjenicu da debljine zidova moraju udovoljavati minimalnim statičkim zahtjevima. S druge strane, prvo što upada u oči pri usporedbi jediničnih cijena stanova je to da su troškovi građenja šestokratnice treći po veličini te slijede odmah nakon troškova zgrada sa 54 i 48 katova. Razlog za visoku cijenu zgrada sa šest katova dovodi se u vezu s uvođenjem troška tunelske oplata. Ako međusobno usporedimo prva tri modela, najniži su troškovi kod zgrada s 18 katova. Također možemo zamijetiti da se kod modela s istom debljinom zidova jedinične cijene stanova smanjuju usporedo s porastom broja katova.

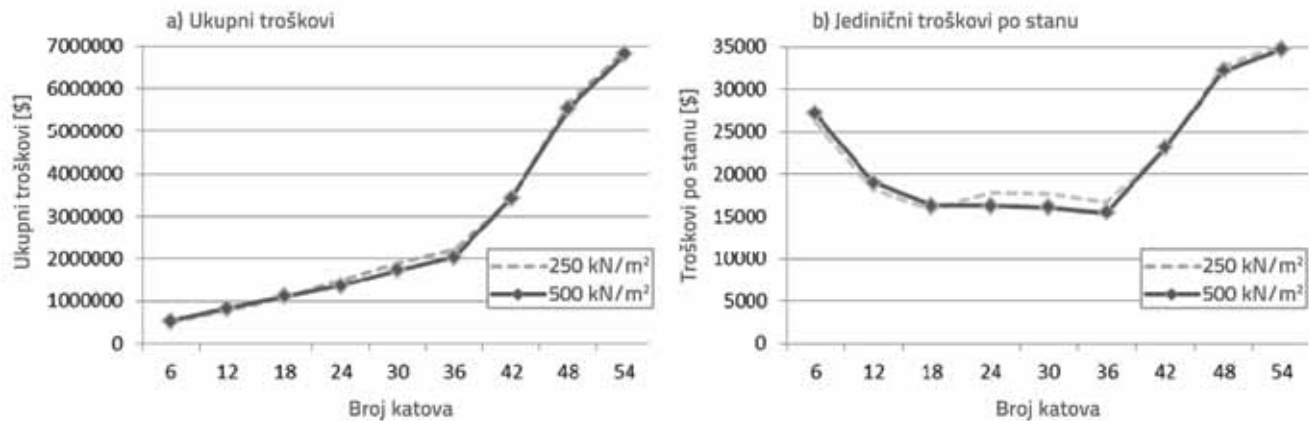
Neke značajne činjenice mogu se uočiti i uspoređivanjem troškova građenja konstrukcijskih elemenata građevine. Raspodjela građevinskih troškova komponenata tunelske oplata iskazana je u postocima u tablici 3.



Slika 2. Promjena troškova u ovisnosti o broju katova

Tablica 3. Trošak komponenata (materijali, konstrukcijski elementi, radovi) u odnosu na ukupne troškove građenja

Broj katova \ Komponente	Oplata [%]	Armatura [%]	Beton [%]	Temelji [%]	Krov [%]	Zemljani radovi [%]
6	43,76	18,06	15,09	16,64	5,18	1,27
12	40,70	23,99	20,00	11,2	3,49	0,86
18	36,59	27,17	24,78	8,37	2,48	0,61
24	33,08	28,41	27,94	7,97	1,80	0,79
30	31,30	32,47	27,96	7,16	1,49	0,90
36	31,08	33,53	28,11	6,19	1,20	0,80
42	22,98	37,77	32,28	5,60	0,85	0,53
48	16,39	40,69	35,90	6,11	0,58	0,36
54	14,72	40,98	36,28	7,55	0,42	0,30



Slika 3. Promjena troškova u ovisnosti o broju katova za različite vrste tla

Prvo možemo uočiti da se odnos troškova oplatae i ukupnih troškova smanjuje usporedo s povećanjem broja katova. Trošak oplatae sudjeluje sa gotovo pedeset posto u ukupnim troškovima zgrada sa šest katova, dok taj trošak iznosi samo 17,79 % od ukupne cijene zgrada s 54 kata. To nam pokazuje koliko je važno pravilno odabrati vrstu oplatae za gradnju armiranobetonskih zgrada. U stvari, odabir oplatae trebao bi se bazirati na ekonomskim pokazateljima jer bitno sudjeluje u ukupnoj cijeni građevine. Također je zamiječeno da trošak betona i armature, u odnosu na ukupne troškove, raste usporedo s povećanjem broja katova. Potrebno je napomenuti da je u svim modelima trošak armature bio veći od troška betona. To nam pokazuje koliko je značajan trošak armature. Taj trošak je zapravo najznačajnija stavka kod viših zgrada. Trošak oplatae značajan je u raspodjeli troškova za zgrade s manje od 30 katova, dok trošak armature postaje dominantan kod zgrada s većim brojem katova. Racionalan odabir konstrukcijskog sustava značajniji je kod zgrada s većim brojem katova jer s porastom broja katova trošak konstrukcijskog sustava sve bitnije sudjeluje u ukupnim troškovima građenja. Odabir konstrukcijskog sustava smatra se najznačajnijim stadijem u projektiranju visokih građevina jer omogućuje donošenje optimalnih odluka o uvjetima za koje se građevina projektira, o funkcionalnim zahtjevima itd. U ovom se poglavlju analizira racionalnost konstrukcijskog sustava uspoređivanjem broja katova s troškovima građenja kada se koristi tunelska oplata. Zaključeno je da gradnja zgrada od 42 kata ili više nije primjenljiva za prototipnu građevinu (kod koje je korišten beton klase C 25/30, dok je dopuštena nosivost tla iznosila 250 kN/m<sup>2</sup>).

Tablica 4. Vrste temelja koje su korištene u modelima

Dopuštena nosivost (prema propisima u Turskoj)	Broj katova								
	6	12	18	24	30	36	42	48	54
250 kN/m <sup>2</sup>	Temeljna ploča	Temeljna ploča	Temeljna ploča	Temelj na pilotima	Temelj na pilotima	Temelj na pilotima	Temelj na pilotima	Temelj na pilotima	Temelj na pilotima
500 kN/m <sup>2</sup>	Temeljna ploča	Temeljna ploča	Temeljna ploča	Temeljna ploča	Temeljna ploča	Temeljna ploča	Temelj na pilotima	Temelj na pilotima	Temelj na pilotima

### 3.2. Analiza troškova zgrada s tunelskom oplatom za različite vrste tla

Stabilnost tla na kojem zgrada leži izuzetno je važna za projektiranje visokih građevina i to prije svega zato što su opterećenja koja se prenose na tlo kod takvih građevina mnogo veća upravo zbog većeg broja katova. Još jedno važno pitanje na koje bi projektanti trebali obratiti pozornost jest i točan odabir vrste temelja, jer je prijenos vertikalnih i bočnih opterećenja na tlo od ključnog značenja za uspješnost projekta. Činjenica je da tlo treba preuzeti sva opterećenja koja se na građevinu nanose. Zbog toga se odluka o vrsti temelja treba u što većoj mjeri bazirati na analizi geološke strukture tla. Kako je vrsta tla vrlo značajan čimbenik u projektiranju konstrukcije, u ovom se istraživanju analiziraju i utjecaji tla na troškove građenja. Za te je potrebe dopuštena nosivost (250 kN/m<sup>2</sup>) udvostručena na 500 kN/m<sup>2</sup>, te je obavljena usporedba ta dva slučaja.

Analizom rezultata ustanovljeno je da se temeljne ploče trebaju koristiti uvijek kada kvaliteta tla dopušta takvo rješenje. S druge strane, temelji na pilotima koriste se kada su naprezanja zbog konstrukcijskih opterećenja veća od dopuštane nosivosti tla, tj. temeljne ploče više nisu u stanju preuzeti tako velika naprezanja. Zanemaren je rizik likvefakcije, a piloti su projektirani tako da pružaju otpor silom trenja koja se javlja između tla i pilota. Vrste temelja korištene u modelima prikazane su u tablici 4.

Usporedbe građevinskih troškova sažeto su prikazane na slici 3. gdje se vide utjecaji raznih dopuštenih nosivosti na

Tablica 5. Postoci troškova u odnosu na broj katova

Broj katova Dopuštena nosivost	Usporedba troškova [%]								
	6	12	18	24	30	36	42	48	54
250 kN/m <sup>2</sup>	100	69,28	60,64	68,23	67,48	63,94	87,85	125,63	135,13
500 kN/m <sup>2</sup>	100	69,68	59,89	59,81	59,22	56,84	85,09	118,40	127,87

procijenjene troškove građenja, i to kako na ukupne troškove tako i na jedinične troškove po stanu. Uz to, u tablici 5. prikazani su i troškovi u postocima za razne slučajeve kako bi se omogućilo uspoređivanje, a i naglasili zaključci doneseni tijekom statičke analize.

U oba su slučaja ukupni troškovi bili jednaki (s dvije različite dopuštene nosivosti) za zgrade sa 6, 12 i 18 katova i to zato što se sustav temeljenja nije trebao mijenjati. Međutim, razlika se uočava kod zgrada sa 24, 30 i 36 katova. Ta se razlika objašnjava korištenjem temeljenja s pilotima za zgrade sa 24 i više katova, kada dopuštena nosivost iznosi 250 kN/m<sup>2</sup>. Ipak, taj je sustav primijenjen samo za zgrade s više od 42 kata kada je dopuštena nosivost iznosila 500 kN/m<sup>2</sup>. Usporedba jediničnih troškova po stanu prije svega pokazuje da je najpogodniji broj katova 18 i to kada dopuštena nosivost iznosi 250 kN/m<sup>2</sup>, dok se broj katova povećava do 36 kada dopuštena nosivost iznosi 500 kN/m<sup>2</sup>. Da bi se dodatno pojasnili zaključci doneseni statičkim proračunom, postoci troškova za razne slučajeve prikazani su u tablici 5. Kao što se može vidjeti iz te tablice, pretpostavljeno je da trošak zgrade od 6 katova iznosi sto posto. Prema tom pristupu, najpogodniji slučaj po katu je zgrada s 18 katova sa postotkom od 60,64 za temelje s nosivošću od 250 kN/m<sup>2</sup>, te zgrada od 36 katova sa postotkom od 56,84 za temelje s nosivošću od 500 kN/m<sup>2</sup>. Također je zaključeno da se slučajevi sa 48 ili više katova u ekonomskom smislu ne mogu smatrati profitabilnima.

Očito je da bi pogreška u određivanju kategorije tla mogla dovesti do krivih rezultata u projektiranju konstrukcijskih komponenata i temelja građevina. Također se može napomenuti da, u slučaju kada je nosivost veća, troškovi rastu vrlo naglo za zgrade s više od 42 kata. Stoga možemo još jednom zaključiti da se izvođenje zgrada koje imaju 42 kata ili više ne može smatrati racionalnim.

#### 4. Zaključak

U građevinarstvu se financijski model projekta treba precizno utvrditi već u inicijalnom postupku donošenja odluka tako da se na prikladan način mogu riješiti mogući financijski problemi, te da bi se u širem smislu spriječilo rasipanje državnih resursa. To se može postići samo preciznim ocjenjivanjem ukupnih troškova i to već u fazi koja prethodi izradi projekta. Raspodjela troškova varira u ovisnosti o konstrukcijskom sustavu zgrade te o veličini i vrsti konstrukcijskih elemenata. U posljednje se vrijeme u gradnji visokih armiranobetonskih zgrada sve više primjenjuju sustavi tunelske oplatae.

Projektanti trebaju ne samo poznavati načela projektiranja već se trebaju upoznati i s ekonomskim aspektima sustava tunelske oplatae. Unaprijed se trebaju ocijeniti utjecaji broja tipskih katova i lokalnih uvjeta tla na projekt konstrukcije. Investitori žele znati koliko će projekt stajati da bi mogli osigurati adekvatna sredstva za planiranu investiciju. Zato je važno u što ranijem stadiju realno procijeniti troškove projekta. U ovom su istraživanju analizirani brojni projekti tunelogradnje, i to na bazi više parametara. Rezultati analize troškova ukratko su prikazani kako slijedi.

- Zbog bitnog povećanja građevinskih troškova, nije opravdana gradnja građevina s posmičnim zidovima (ili sličnih građevina) pomoću tunelske oplatae u slučajevima kada visina tih građevina prelazi 42 kata. Kada se broj katova ne odabere u skladu s konstrukcijskim sustavom, tada se tijekom projektiranja konstrukcijskih elemenata definiraju veći elementi, što dovodi do pretjeranog korištenja materijala. S povećanjem debljine posmičnih zidova povećava se i težina čitave građevine pa se zbog toga trebaju izvoditi skuplji temelji, a povećava se i količina potrebne armature. Veća debljina posmičnih zidova opravdava se većim pomacima visokih građevina, tj. potrebni su deblji zidovi da bi se postigla odgovarajuća krutost te da bi se kod visokih građevina spriječio pretjerani međukatni pomak. Veličina konstrukcijskih elemenata ne bi se smjela bitno povećavati, a u obzir se svakako trebaju uzeti veća bočna opterećenja (potres i vjetar) zbog povećanja visine, i to odabirom djelotvornog konstrukcijskog sustava, a ne povećavanjem veličine elemenata.
- Iako ukupni troškovi građenja kontinuirano rastu usporedo s porastom visine građevine, može se reći da raspodjela komponenata koje čine ukupan trošak poprilično varira. Usporedba modela s identičnim parametrima pokazuje da se udio troškova betona i armature u ukupnim troškovima povećava usporedo s povećanjem broja katova. Ustanovljeno je da je armatura najskuplja komponenta. S druge strane, udio troškova oplatae smanjuje se s povećanjem broja katova, što jasno pokazuje da je upotreba tunelske oplatae opravdana u slučaju visokih građevina.
- Kako troškovi oplatae bitno sudjeluju u ukupnim troškovima, vrsta oplatae treba se birati na bazi ekonomskih kriterija. Racionalnost je važna prednost sustava baziranih na tunelskoj oplati, koji se u novije vrijeme sve više koriste. Projektanti trebaju biti svjesni dostupnosti i restrikcija tih sustava jer samo tako mogu iskoristiti sve prednosti ove



tehnologije. Na primjer, rezultati analize provedene u okviru ovog istraživanja pokazuju da primjena tunelske oplatae nije opravdana kod nižih građevina s posmičnim zidovima, i to zbog visoke jedinične cijene stanova. Stoga se može zaključiti da su sustavi tunelske oplatae puno prikladniji za gradnju velikih stambenih građevina jer je vijek trajanja tunelske oplatae duži u usporedbi s konvencionalnim oplatnim sustavima, iako je početna investicija veća. Također treba naglasiti da se upotreba tradicionalne

drvene oplatae može smatrati ekonomičnijim i prihvatljivijim rješenjem kada se radi o manjim građevinskim zahvatima.

Može se zaključiti da sustavi tunelske oplatae, koji se često koriste u gradnji armiranobetonskih građevina s posmičnim zidovima, gube svoju racionalnost u skladu s kriterijima koji su opisani u ovom istraživanju. U radu se daju korisne preporuke za inženjere projektante i to kroz usporedbu različitih modela a na temelju odgovarajućih kriterija.

## LITERATURA

- [1] Hall, M., Tomkins, C.: "A cost of quality analysis of a building project: towards a complete methodology for design and building" *Construction Management and Economics*, 19 (2001) 727-740..
- [2] Ansal, A. M., Lav, A.M.: "Geotechnical Factors in 1992 Erzincan Earthquake", 5th Conference on Seismic Zonation, Nice, Vol. 1, 667-674, 1995.
- [3] Ansal, A.M., Şengezer, B.S., İyisan, R. and Gençoğlu, S.: "The Damage Distribution in March 13, 1992 Earthquake and Effects of Geotechnical Factors", *Soil Dynamics and Geotechnical Earthquake Engineering*, Balkema, Rotterdam, 413-434, 1993.
- [4] Çanakçı, H., Göğüş, M.: "Effect of misdetecting local soil classes on lateral loads acting on buildings", XVI. Technical Congress of Civil Engineering, Ankara, 2001.
- [5] Harmankaya, Z. Y.: "Effects Of Number Of Storeys And Concrete Class On The Building Cost Of The Multi Storied Buildings In Turkey", Master thesis, Gazi University, Ankara, Turkey (in Turkish), 2010.
- [6] STA Computer Engineering and Consulting Limited Company "STA4-CAD V13, Analysis and Design of Multi-storey Reinforced Buildings", Ankara, Turkey, 2010.
- [7] Institute of Turkish Standards (TSE): "Regulations for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures, TS500", Ankara, Turkey, 2000.
- [8] Ministry of Public Works and Settlement, "Specification for Structures to be Built in Earthquake Areas", Government of the Republic of Turkey, Ankara, 2007.
- [9] Küçükçalı, N.: "Installation Methods in Multi-Storey Buildings", İsisan Press, Istanbul, Turkey, 2007.
- [10] Ministry of Public Works and Settlement, "Construction Unit Prices" Government of the Republic of Turkey, Ankara, 2003.
- [11] Polat, A. P., Çıracı, M.: "The database method for pre-design cost estimation in Turkey." *Journal of Istanbul Technical University/a*, 4 (2005) 2, 59-69.
- [12] Gupta, V.K., Trifunac, M.D.: "Seismic response of multistoried buildings including the effects of soil-structure interaction", *Soil Dynamic Earthquake Engineering*, 10 (1991) 8, 414-422.
- [13] Koca, C., Erkey, C., Karaesmen, E.: "A Survey of the effect of Concrete Quality on Cost Of Buildings", *Proceedings of the 17 th ERMCO Convention*, Lisbon, 1998.