

Suvremeni načini temeljenja

Karlović, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:918893>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-11**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD
SUVREMENI NAČINI TEMELJENJA

Karlo Karlović

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD
SUVREMENI NAČINI TEMELJENJA

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Nikolina Vezilić Strmo

Student:

Karlo Karlović

Zagreb, 2023.



TEMA ZAVRŠNOG ISPITA

Ime i prezime studenta: **Karlo Karlović**

JMBAG: **0082066213**

Završni ispit iz predmeta: **Visokogradnje**

Naslov teme
završnog ispita:

HR	Suvremeni načini temeljenja
ENG	Modern foundation methods

Opis teme završnog ispita:

Rad se bavi istraživanjem suvremenih načina temeljenja u visokogradnji. Istražuju se njihove tipološke karakteristike, načini te uvjeti njihove izvedbe. Teoretske postavke istraživanja dodatno se prezentiraju kroz analizu nekoliko izvedenih primjera.

Datum: **17.04.2023.**

Komentor:

(Ime i prezime komentora)

Mentor:

doc.dr.sc.Nikolina Vezilić Strmo

(Ime i prezime mentora)

N. Vezilić Strmo

(Potpis mentora)

SAŽETAK

Suvremeni načini temeljenja predstavljaju inovativne tehnike i metode koje se koriste za osiguranje sigurne i stabilne temeljne strukture građevina. Ovaj završni rad istražuje različite suvremene metode temeljenja koje su se razvile kao odgovor na zahtjeve održivijeg, efikasnijeg i ekološki prihvatljivijeg građenja, brže izvedbe i ekonomičnosti. Rad se fokusira na glavne vrste temelja koje se trenutno koriste u građevinarstvu. Za manje građevine su to temeljne trake i ploče dok se za veće građevine koje moraju preuzeti veća opterećenja koriste piloti i hibridno temeljenje. Piloti su se pokazali kao najisplativija metoda dubokog temeljenja zbog svoje relativno brze i jednostavne izvedbe. Kroz povijest su temelji postajali sve funkcionalniji te su se tehnike temeljenja razvijale tijekom vremena i tako se prilagođavale potrebama i uvjetima različitih razdoblja. Suvremeni načini temeljenja izrasli su iz kontinuiranog razvoja građevinskih tehnologija, materijala i znanja o tlima i mehanici. Najbolji materijal za izvedbu temelja se pokazao beton odnosno armirani beton zbog svojih najboljih karakteristika u odnosu na ostale materijale i lake dostupnosti. U radu su opisani i zahtjevniji suvremeni načini temeljenja koji su rjeđe korišteni, ali itekako važni za temeljenja zahtjevnih građevina i bitni za daljnji razvoj novih metoda temeljenja. U posljednjem su poglavlju i opisane jedne od poznatijih građevina u svijetu za koje su korištene najmodernije tehnike temeljenja.

Ključne riječi: razvoj temelja kroz povijest, plitki temelji, duboki temelji, piloti, duboki masivni temelji, zahtjevniji načini temeljenja, hibridno temeljenje, posebne vrste temeljenja, primjeri suvremenih načina temeljenja, temeljenje Pelješkog mosta

ABSTRACT

Modern foundation methods represent innovative techniques, and methods used to ensure a safe, and stable foundation structure of buildings. This final paper investigates various modern foundation methods that have been developed in response to the demands of more sustainable, efficient, and environmentally friendly construction, faster performance, and economy. The paper focuses on the main types of foundations currently used in construction. For smaller buildings, these are foundation strips and slabs, while for larger buildings that must take on greater loads, piles, and hybrid foundations are used. Piles have proven to be the most cost-effective deep foundation method due to their relatively quick and simple performance. Throughout history, foundations have become more and more functional, and foundation techniques have developed over time, and thus adapted to the needs, and conditions of different periods. Modern foundation methods have grown out of the continuous development of construction technologies, materials and knowledge about soils, and mechanics. The best material for the construction of the foundation turned out to be concrete or reinforced concrete due to its best characteristics compared to other materials and its easy availability. The paper also describes more demanding modern foundation methods that are less often used, but very important for the foundations of demanding buildings, and essential for the further development of new foundation methods.

Keywords: *development of foundations throughout history, shallow foundations, deep foundations, piles, deep massive foundations, more demanding foundation methods, hybrid foundations, special types of foundations, examples of modern foundation methods, foundation of the Pelješac Bridge*

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
1.1.	Izbor problema za završni rad	1
1.2.	Cilj i zadaci završnog rada.....	1
2.	OSNOVNO O TEMELJENJU	3
2.1.	Povijesni razvoj temeljenja	3
2.2.	Osnovne vrste temeljenja.....	4
2.2.1.	Plitki temelji.....	5
2.2.1.1.	Temelji samci	5
2.2.1.2.	Temeljne trake.....	6
2.2.1.3.	Temeljne ploče	6
2.2.1.4.	Temeljni roštilji	7
2.2.2.	Duboki temelji	8
2.2.2.1.	Piloti.....	8
2.2.2.2.	Duboki masivni temelji.....	16
3.	ZAHTJEVNIJI NAČINI TEMELJENJA	21
3.1.	Plutajući temelji.....	21
3.2.	Hibridno temeljenje	22
3.3.	Mikropiloti	22
3.4.	Posebne vrste temelja	23
3.4.1.	Nadoknadni temelji	23
3.4.2.	Plivajući temelji	24
3.4.3.	Vlačni temelji.....	25
4.	PRIMJERI SUVREMENIH NAČINA TEMELJENJA	26
4.1.	Burj Khalifa.....	26
4.2.	Jeddah Tower	27
4.3.	Pelješki most	29

5.	ZAKLJUČAK	32
6.	LITERATURA	33

1. UVOD

1.1. Izbor problema za završni rad

Temelji su dio građevine koji su neophodni za njenu postojanost i trajnost. Po definiciji građevine, to je cjelina koja mora biti kruto povezana s tlom, a da bi mogla biti kruto povezana potrebni su temelji. Ovisno o zahtjevnosti građevine koriste se različiti oblici temeljenja koji svi imaju jednaku svrhu, a to je adekvatan prijenos sila i opterećenja gornje konstrukcije na tlo. Izbor problema ovog završnog rada je detaljnija obrada suvremenih načina temeljenja te njihova primjena u praksi. Iako se temelji ne vide jer su zakopani u tlo, oni se nalaze svuda naokolo te su bitan faktor u graditeljstvu. Isto tako, važnost ispravno napravljenog temelja je vrlo bitna jer ona ovisi o trajnosti cjelokupne građevine.

1.2. Cilj i zadaci završnog rada

Cilj je ovog Završnog rada prikazati na adekvatan način koje se sve tehnologije temeljenja koriste u današnje vrijeme, koje su se tehnologije temeljenja koristile prije stotine ili čak tisuće godina, ali su i dalje u ono vrijeme bile suvremene. Vrste temelja su podijeljene u grupe i podgrupe samo radi lakšeg razvrstavanja, ali stvarna podjela temelja je nastala radi potreba izgradnje određenih manje ili više zahtjevnih građevina. Stoga, za potrebe izgradnje obiteljskih kuća, manjih i jednostavnih zgrada na povoljnijem tlu se koriste manje zahtjevi plitki temelji dok se duboki temelji koriste za izgradnju težih i složenijih građevina na povoljnom ili nepovoljnom tlu. U ovom su radu opisani sve vrste temelja koje se danas koriste, odnosno suvremene tehnologije izgradnje temelja. Neke od zahtjevnijih metoda temeljenja koje se ujedno i manje koriste su rijetke pa gotovo ih i nema u Hrvatskoj. S druge strane, plitki temelji koji su naizgled jednostavni, ali su i dalje suvremeni, nailaze na veliku primjenu u Hrvatskoj, a pogotovo na hrvatskom Jadranu gdje izgradnja kuća za odmor i vila punom brzinom raste. Za svaku spomenutu građevinu u ovom radu, od prije nekoliko tisuća godina pa sve do onih koje se nisu još izgradile kao Jeddah Tower, korišteni su suvremeni načini temeljenja za razdoblje u kojem su građene.



Slika 1 Iskop tla prije temeljenja

2. OSNOVNO O TEMELJENJU

2.1. Povijesni razvoj temeljenja

Povijest temeljenja proteže se tisućama godina, a impresivni projekti izgrađeni su prije stotine ili čak tisuće godina. Na primjer, prije 4000 do 5000 godina stanovnici alpskih jezera u Europi koristili su drvene pilote za podupiranje svojih kuća. Također, 55. godine prije Krista Julije Cezar izgradio je most na stupovima preko rijeke Rajne kako bi mogao osvojiti Galiju. [1]



Slika 2 Temeljenje na drvenim stupovima

Drevni Egipćani su svoje piramide temeljili na kamenim blokovima polegnutim na čvrstu stijenu. Grci su svoje zgrade temeljili uglavnom na kamenju. Najveći razvoj temelja dogodio se u drevnom Rimu, gdje su postavljena odgovarajuća pravila i korišten je pucolanski beton. [2]. Uvođenje čelika i armiranog betona dovelo je do postupnog prijelaza s krutih zidanih konstrukcija na fleksibilnije građevine, racionalnijih metoda projektiranja, početka onoga što danas nazivamo građevinskim inženjerstvom. Novi materijali također su omogućili građevinama da budu više i teže nego prije. Osim toga, kako je dobrih mjesta za temeljenje postajalo sve manje, graditelji su bili prisiljeni razmotriti mjesta s lošijim uvjetima tla, što je znatno otežalo projektiranje i izgradnju temelja. Geotehničko inženjerstvo, koje je razvilo tijekom 1920-ih, dodatno je doprinijelo razumijevanju temelja i mehaničkih procesa prijenosa opterećenja u tlo. Ovaj napredak u analizi i dizajnu bio je popraćen ogromnim poboljšanjima u građevinskim metodama i

opremi. Danas je moguće izgraditi pouzdane, isplative temelje visokog kapaciteta za širok raspon modernih konstrukcija, čak i na vrlo zahtjevnim mjestima. Napredak u dizajnu i konstrukciji nastavlja se razvijati u dvadeset prvom stoljeću, tako da će budući inženjeri imati prostora za razvoj novih vrsta temeljenja u narednim godinama. [1]



Slika 3. Temeljenje na kamenu

2.2. Osnovne vrste temeljenja

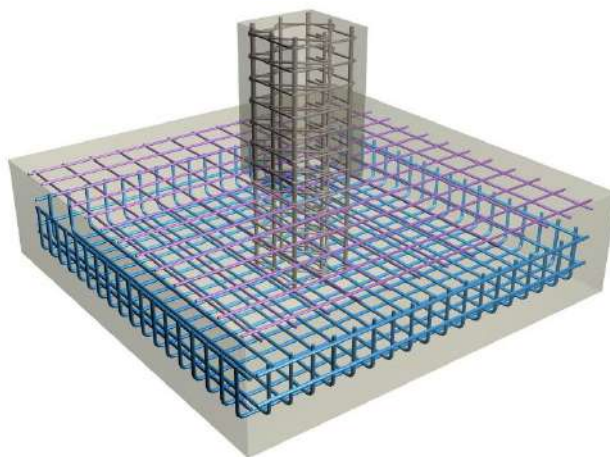
Temelj je jedan od bitnijih dijelova građevine. Definira se kao dio građevine koji prenosi vanjsko opterećenje konstrukcije, kao i njezinu vlastitu težinu na veliku površinu tla ne prelazeći granicu nosivosti tla i tako da slijeganje cijele konstrukcije ostane unutar dopuštene granice. Općenito, svi temelji se dijele u dvije kategorije, plitke i duboke temelje. Razlika je u odnosu na dubinu temeljenja. [3] Pod dubinom temeljenja obično se podrazumijeva dubina, mjerena od površine terena, do temeljne plohe preko koje temelj prenosi opterećenje konstrukcije na tlo. Dubina temeljenja mora odgovarati zahtjevima sigurnosti protiv sloma, gdje će nakon nanošenja opterećenja slijeganje građevine u cjelini biti u prihvatljivim granicama. Dubina temeljenja također je uvjetovana i lokalnim klimatskim uvjetima. Minimalna vrijednost iste ovisi o dubini smrzavanja tla koja je definirana prema najnižoj temperaturi zraka u hladu za povratno razdoblje od 50 godina. Pri smrzavanju tla voda se iz veće dubine kapilarno privlači u smrznutu zonu pa kota temeljenja mora biti ispod moguće dubine smrzavanja. [4]

2.2.1. Plitki temelji

Plitko temeljenje primjenjuje se u slučajevima kada je dobro nosivo tlo na relativno maloj dubini. Prema Eurokodu plitkim temeljima smatraju se temelji čija je širina veća od dubine temeljenja ($D < B$). Plitki temelji prema obliku mogu se podijeliti na: temelje samce, temeljne trake, temeljne ploče i temeljne roštilje. U pravilu, plitko temeljenje znatno je ekonomičnije od dubokog te ga se treba primjenjivati tamo gdje se odgovarajućim mjerama i postupcima može postići potrebna pouzdanost građevine u pogledu krajnjeg graničnog stanja (slom tla ispod temelja) i graničnog stanja uporabivosti (dozvoljena slijeganja). [4]

2.2.1.1. Temelji samci

Temelji samci su vrsta plitkog temeljenja koja uobičajeno prenose točkasto opterećenje s konstrukcije (jedno stupište, oslonac, itd.) na temeljno tlo. Temelji samci su se nekada izvodili kao zidane konstrukcije od složenih kamenih blokova, opeke te kasnije i nearmiranog betona. U današnje vrijeme se izbjegavaju ovakvi tipovi masivnih temelja te se izvode armiranobetonski temelji samci znatno manjih dimenzija zbog uporabe armature, odnosno povećanja iskoristivosti betonskih presjeka.



Slika 4 Temelj samac

Zbog zahtijevane brzine u gradnji vrlo su često u upotrebi predgotovljeni temelji samci koji se polažu na pripremljenu podlogu. Spoj predgotovljenog temelja (čašice) i buduće konstrukcije (stupa) provodi se zapunjavanjem mikrobetonom. [4] Ovo je najkorišteniji i najjednostavniji tip plitkog temelja, jer je ujedno i najekonomičniji. [3].

2.2.1.2. Temeljne trake

Temeljne trake se izvode ispod niza stupova ili nosivih zidova te u slučaju kada je naprezanje na temeljno tlo ispod temelja samca veliko. Temeljne trake također sprječavaju horizontalno razmicanje pojedinih temelja te ih ukrućuju. U uzdužnom smjeru temeljna traka se ponaša kao kontinuirani nosač pod djelovanjem sila od stupova/zidova. [4] Širina temelja zida obično je 2-3 puta veća od širine zida. [3]



Slika 5 Izvedba temeljnih traka

2.2.1.3. Temeljne ploče

Temeljne ploče predstavljaju plitke temeljne konstrukcije koje se izvode ispod cijele građevine u sljedećim slučajevima: kada bi temelji samci/trakasti temelji bili međusobno preblizu, kod temeljenja visokih građevina te onih sa velikim opterećenjem (industrijski objekti, skladišta), kod rješavanja problema diferencijalnih slijeganja (temeljno tlo različitih karakteristika čvrstoće i deformabilnosti). Temeljne ploče se armiraju kao ploče nosive u dva smjera opterećene kontinuiranim opterećenjem. Preporučuje se armiranje i u gornjoj i donjoj zoni radi prihvaćanja momenata savijanja izazvanih reakcijom tla. [4]

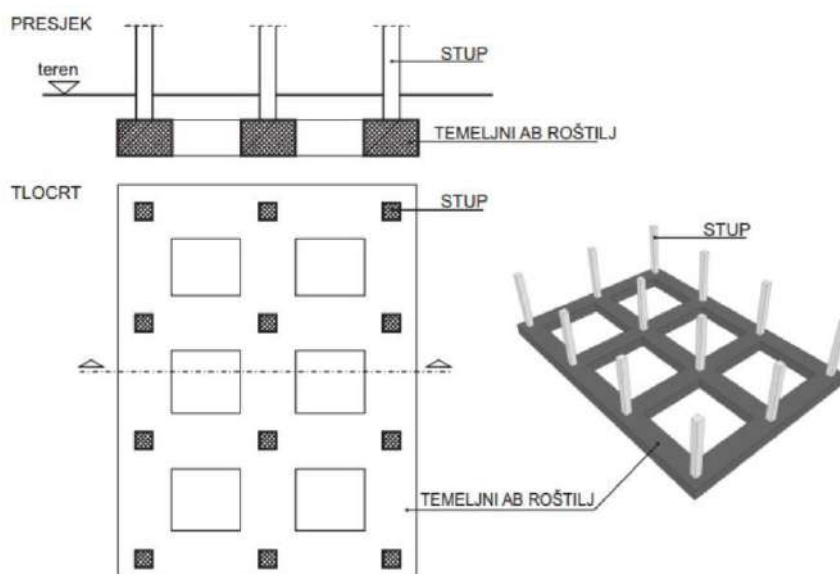


Slika 6 Betoniranje temeljne ploče

Ukupno opterećenje konstrukcije ravnomjerno se raspoređuje po cijeloj površini temeljne ploče. Postoje različite vrste temeljnih ploča: pločasta (obična), podebljana ploča ispod stupova, ploča s postoljima, ploča s pilotima, podloga s čvrstim okvirom. [3]

2.2.1.4. Temeljni roštilji

Temeljni roštilj čine međusobno povezane temeljne trake. Ovaj tip plitkog temeljenja prikladan je u slučaju kada se stupovi prostiru u dva pravca u približno kvadratnom rasteru te se temeljne grede tada mogu izvesti u dva ortogonalna smjera formirajući temeljni roštilj. Na taj način se osigurava velika kontaktna površina i dobra povezanost konstrukcije u oba smjera. [4]



Slika 7 Shema temeljnog roštilja

2.2.2. Duboki temelji

Duboko temeljenje je svako ono temeljenje pri kojem se opterećenje na tlo osim preko dodirnog pritiska temeljne plohe na tlo, prenosi i trenjem po plaštu tijela ugrađenog u tlo ispod najniže kote građevine koju temelj nosi. Iznimku čine jedino piloti koji opterećenje predaju izravno na čvrstu stijensku podlogu. Duboko temeljenje primjenjuje se kod složenijih građevinskih zahvata, kada temeljno tlo, na dohvatljivoj dubini koja odgovara plitkom ili produbljenom temeljenju, nema svojstva koje mogu zadovoljiti traženu kakvoću s obzirom na dozvoljena slijeganja i/ili dozvoljenu nosivost.



Slika 8 Duboko temeljenje na primjeru mosta

Duboko temeljenje primijeniti će se i kod temeljenja u dubokoj vodi u kombinaciji sa složenim geotehničkim zahvatima. Upravo je temeljenje u dubokoj vodi uzrokovalo razvoj tehnologija koje danas omogućuju radove svrstane pod naziv duboko temeljenje. Duboko temeljenje velikim je dijelom izvodljivo zahvaljujući naglom razvoju tehnologije. Duboki temelji se mogu podijeliti na podskupine ovisno o obliku temelja i prijenosu sila u tlo. [5]

2.2.2.1. Piloti

Piloti su štapni elementi koji se ugrađuju u tlo bušenjem, zabijanjem ili utiskivanjem, a prenose opterećenje gornje konstrukcije trenjem po svom plaštu i preko donjeg kraja ili stope. Grade se od različitih materijala: nekad od drveta, a danas u pravilu od čelika, armiranog ili prednapetog betona. Obično se rade u grupi te spajaju s naglavnom pločom

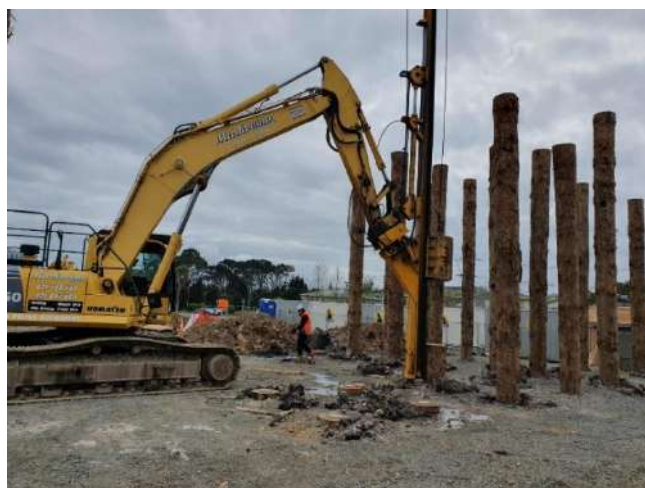
(ili gredom ako su tlocrtno poredani u pravcu) na mjestu priključenja stupa gornje konstrukcije. Koriste se kad temeljenje nije moguće izvesti plitko jer su znatno skuplji od plitkog temelja. [9] Piloti se također koriste za osiguranje stabilnosti konstrukcije od izdizanja i bočnih sila prevrtanja. [3]

Zabijeni piloti

Najstarija vrsta dubokog temeljenja su zabijeni piloti, koji se sastoje od dugačkog, vitkog, unaprijed izrađenog konstrukcijskog elementa zabijenog ili vibriranog u tlo. Inženjeri koriste zabijene pilote na kopnu i u moru za temeljenje mnogih vrsta konstrukcija. Zabijeni piloti izrađuju se od različitih materijala, promjera i duljina prema potrebama projekta. Najčešće se izrađuju od drva, betona ili čelika. Svaki materijal ima svoje prednosti i nedostatke te je najprikladniji za određene primjene. [1]

Drveni piloti

Drveni piloti se koriste tisućama godina i nastavljaju biti dobar izbor temeljenja za mnoge primjene. Izrađuju se od debla ravnih stabala koji nalikuju telefonskim stupovima. Budući da su stabla prirodno sužena prema vrhu, drveni se piloti zabijaju naopako, tako da je najveći promjer na vrhu. Drveni se piloti smatraju pilotima velikog pomaka jer njihovim zbijanjem istiskuju cijeli svoj volumen tla. Njihova primarna prednost je niska cijena, posebno kada su pogodna stabla dostupna u blizini. Često se koriste na konstrukcijama uz obalu zbog svoje otpornosti na udarna opterećenja, poput onih od brodova. Obično nisu prikladni za gušća ili tvrđa tla. [1]



Slika 9 Zabijeni drveni piloti

Čelični piloti

Čelični se piloti zbog svoje velike čvrstoće i duktilnosti mogu zabijati kroz tvrda tla i nositi velika opterećenja. Imaju najveću vlačnu čvrstoću od bilo koje vrste pilota, tako da su pogodni za primjenu pilota gdje dolazi do vlačnih naprezanja. Jednostavno se spajaju pa su često dobar izbor kada je potrebna duljina veća od 18 m. Nedostaci su visoka cijena, proizvodnja buke prilikom zabijanja te izloženost prekomjernoj koroziji u određenom okruženju. [1]



Slika 10 Čelični piloti

Preporuča se da čelični piloti oko morskog područja, bilo da su potpuno uronjeni ili unutar zone zapljuskivanja valova, budu potpuno zaštićeni od korozije. Moguće mjere zaštite od korozije koje se mogu koristiti jesu upotreba bakrenih ili visokovrijednih čeličnih ležajeva, upotreba zaštitnih boja ili premaza (od polietilena, epoksida ili asfalta), zajedno s katodnom zaštitom. Za čelične pilote na kopnu, mogu biti zaštićeni premazima ili betonskim okvirom unutar zone fluktuacije podzemne vode. [6]

H - piloti

H-piloti su piloti malog pomaka jer istiskuju relativno mali volumen tla dok se zabijaju. To ih, u kombinaciji s njihovom velikom čvrstoćom, čini izvrsnim izborom za tvrda tla kao što su stijene. Ako pilot naiđe na pretvrdu stijenu, potrebno je na vrh pilota staviti zaštitu od kaljenog čelika. [1]



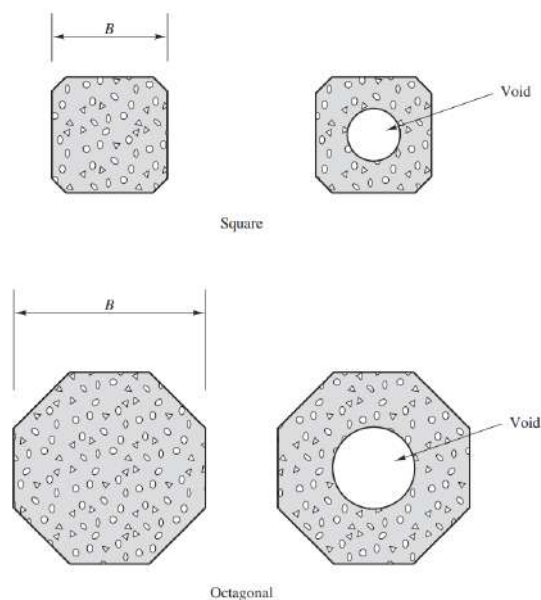
Slika 11 H-piloti zabijeni u tlo

Betonski piloti

Zabijeni betonski piloti su montažni armiranobetonski elementi koji se zabijaju u zemlju. Ova kategorija ne uključuje tehnike koje govore o ugradnji betona u zemlju. Betonski piloti obično imaju kvadratni ili osmerokutni presjek.



Slika 12 Betonski piloti na gradilištu



Slika 13 Poprečni presjek betonskog pilota

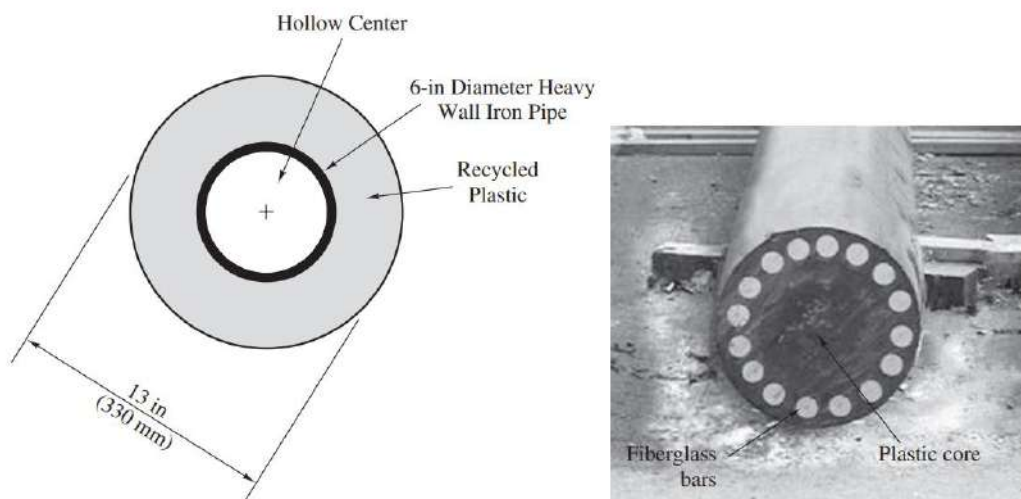
Obično su promjera 250 do 750 mm, dugački 12 do 37 m i preuzimaju promjenjiva aksijalna opterećenja od 450 do 4450 kN. Imaju veću vjerojatnost oštećenja tijekom rukovanja ili zabijanja te ne podnose jaka opterećenja zabijanja kao čelični piloti. Unatoč tome, betonski su piloti vrlo popularni jer su jeftiniji od čeličnih pilota uz dovoljno veliku nosivost. [1]

Piloti od čeličnih cijevi punjeni betonom

Ponekad se piloti čeličnih cijevi nakon zabijanja pune betonom. Takvi piloti imaju povećanu sposobnost smicanja i otpornost od vanjskih opterećenja zbog čvrstoće betona i duljeg vijeka trajanja u korozivnim okruženjima. [1]

Plastični kompozitni piloti

Plastika je općenito preslaba i rastezljiva da bi se mogla koristiti kao materijal za nosive pilote. Međutim, kompozitni piloti koji kombiniraju plastiku s čeličnim ili staklenim vlaknima našli su mjesto u određenim primjenama pilota. Kompozitni pilot od plastike i čelika sastoji se od jezgre čelične cijevi ili čeličnih šipki okruženih plastičnim pokrovom. Kompozitni piloti od plastike i stakla imaju šipke od staklenih vlakana ugrađene u plastičnu matricu. Plastični dio obično se izrađuje od recikliranog materijala, što ovaj dizajn čini atraktivnim iz perspektive očuvanja resursa.

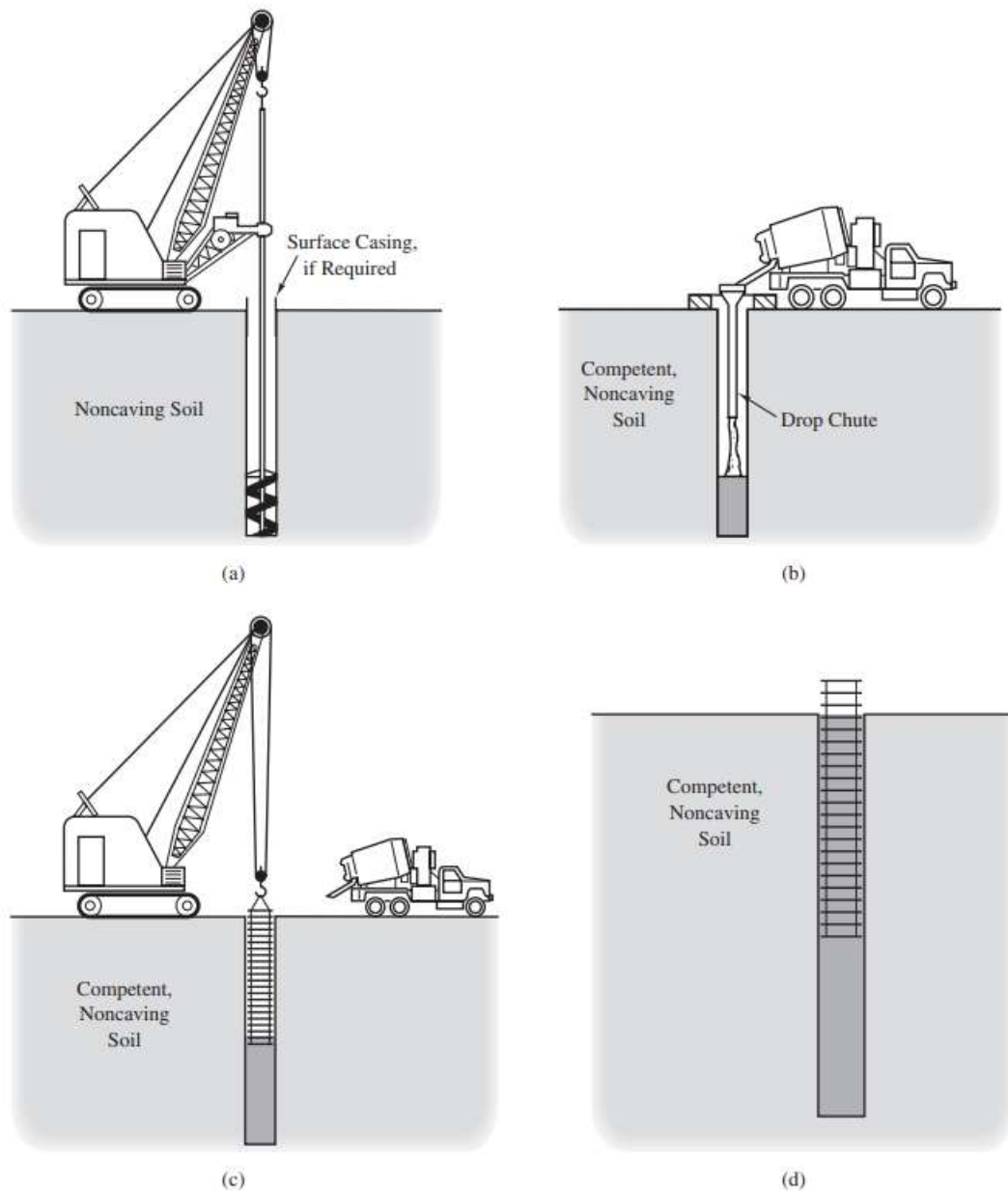


Slika 14 Poprečni presjek kompozitnog pilota

Plastični kompozitni piloti pretežito se primjenjuju u morskom području jer su otporni na truljenje i abraziju te imaju veću čvrstoću od drvenih pilota. Iako troškovi materijala za plastično-čelične kompozite mogu biti vrlo visoki, njihov duži vijek trajanja, niski troškovi održavanja i prednosti očuvanja resursa čine ih dostatnom zamjenom drvenim stupovima. [1]

Bušeni piloti

Izrade bušenih pilota potpuno je drugačiji od onoga koji se koristi za izradu zabijenih pilota. Sastoji se od bušenja cilindrične rupe u tlu, postavljanja montažnog armaturnog koša te zatim punjenja rupe betonom. [1] Beton se pomoću cijevi ugrađuje u dno bušotine. Kako se bušotina puni, cijev se vadi na način, da uvijek ostaje barem 1,0 m u svježem betonu. Ovo je vrlo važno stoga što svježji beton gura ispred sebe nečistoće, vodu i glineno-betonsku isplaku. U slučaju prekida betoniranja, ako bi cijev kontraktora izašla iz svježeg betona, sve bi ove nečistoće ostale u tijelu pilota. Kod svih pilota izvedenih iskopom u tlu, potrebno je izvršiti betoniranje oko 0,5 m iznad projektirane kote. To je onaj dio pilota, koji se mora se odstraniti jer sadrži beton loše kakvoće i sadrži nečistoće. [5]



Slika 15 Tehnologija izvedbe bušenih pilota

Beton za ugradnju bušenih pilota mora biti dovoljno tekuć kako bi pravilno teкао i potpuno ispunio rupu. Korištenje betona koji je previše krut stvara šupljine u strukturi koje loše utječu na karakteristike očvrstlog betona. Ponekad je prikladno dodati dodatke betonu kako bi se postiglo veće slijeganje uz zadržavanje dovoljne čvrstoće. [1]



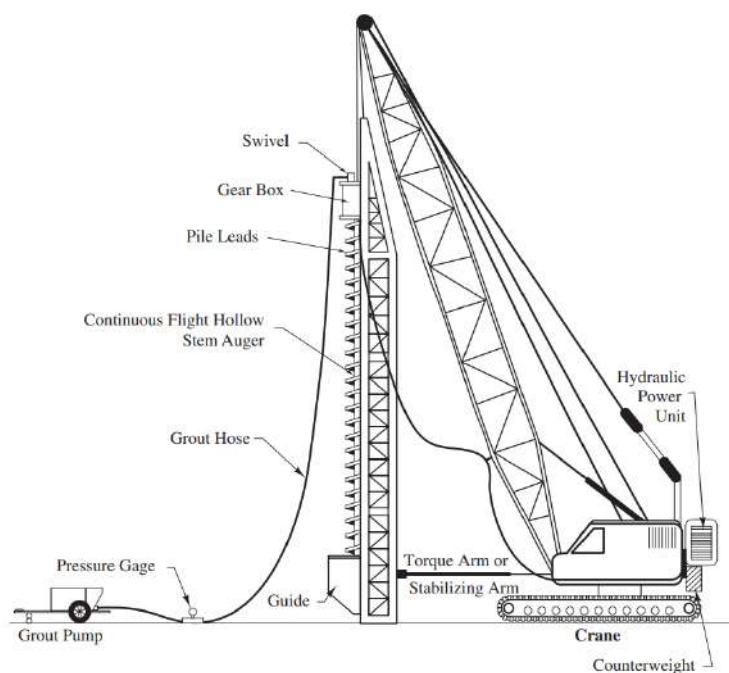
Slika 16 Izrada bušenih pilota

Prednosti bušenih pilota jesu niži troškovi rada strojeva od troškova zabijača pilota, izrada bušenih pilota stvara manje buke i vibracija što je vrlo važno ukoliko se gradilište nalazi u naseljenom mjestu, iskopano se tlo može ispitivati i klasificirati tijekom bušenja i usporediti ga s predviđenim uvjetima tla. Nedostaci uključuju mogućnost loše izrade temelja koji neće moći podnijeti projektirano opterećenje, a većina tih nedostataka nije vidljiva, jer su zakopani u tlu.

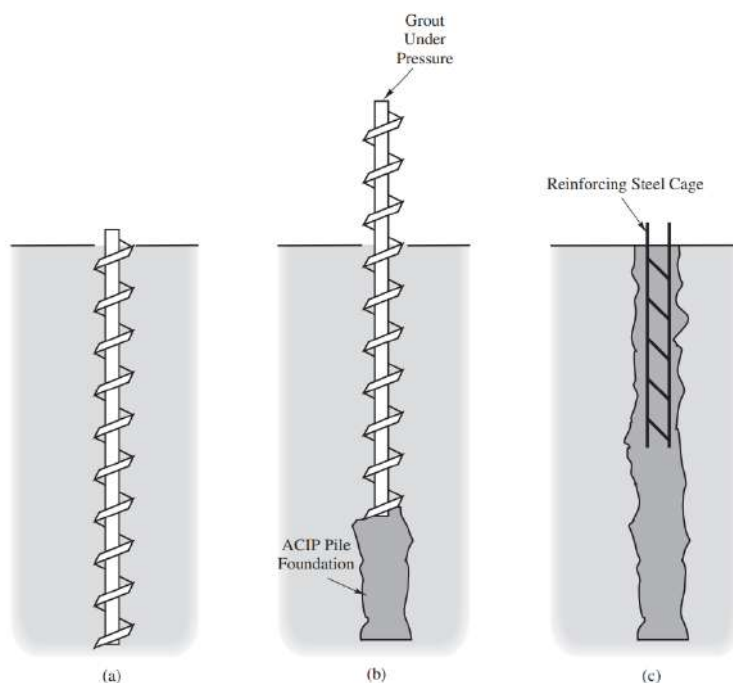
Zabijanje pilota gura tlo u stranu, povećavajući tako bočna napreznja u tlu dok se kod bušenih pilota tlo uklanja pa bočna napreznja ostaju konstantna ili se čak smanjuju. [1]

Piloti s kontinuiranim svrdlom

Pilot s kontinuiranim svrdlom izvodi se uglavnom u mekanim i slabo nosivim tlima. Prednost toga načina izvedbe u odnosu na klasične bušene pilote u brzini je izvedbe. Osiguranje stijenke bušotine dodatnim zaštitnim kolonama nije potrebno jer se istodobno s iznošenjem materijala i izvlačenjem spirale kroz središnju cijev ugrađuje beton. Nakon betoniranja pilota u svježem betonu utiskuje se armaturni koš. [7].



Slika 17 Shema izrade pilota s kontinuiranim svrdlom



Slika 18 Način ugradnje pilota s kontinuiranim svrdlom

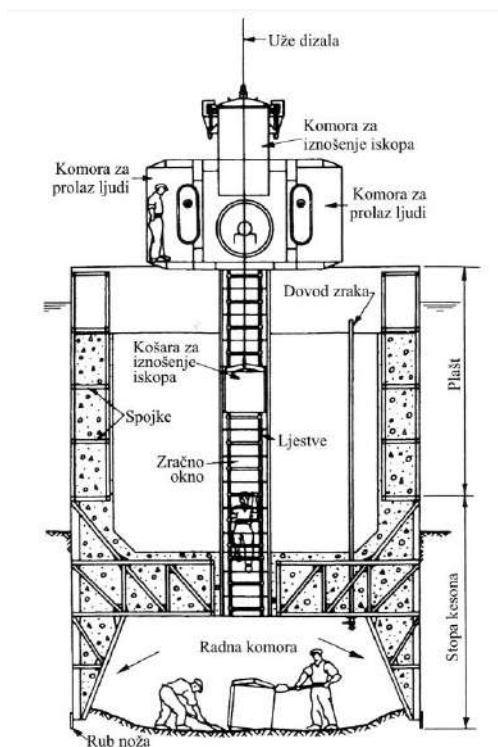
2.2.2.2. Duboki masivni temelji

Danas su duboki masivni temelji, u klasičnom smislu, gotovo napušteni. Nove tehnologije zamijenile su ovaj način temeljenja koji je zahtijevao dosta napornog ljudskog rada, naročito prilikom izvođenja kesona. Većina ovih temeljenja izvodi se u dubokoj vodi ili duboko ispod razine podzemne vode. Služe za temeljenje stupova mostova, izdvojenih

građevina kao što su svjetionici, platforme za vađenje nafte, pristaništa u lukama i slično. Razvojem tehnologije uspravnog iskopa – bušenja, danas se većina ovih temelja može zamijeniti pilotima velikih promjera. [8]

Kesoni

Kesoni su slični bunarima, ali su s gornje strane zatvoreni kako bi se u njihovoj unutrašnjosti tijekom izgradnje i iskopa tla mogao nametnuti povećani tlak zraka radi sprečavanja prodora tla i vode kroz donji otvoreni dio sanduka. Zbog zatvorenosti sanduka kesona s gornje strane potrebno je predvidjeti posebne prijelazne komore kroz koje mogu komunicirati ljudi i oprema te kroz koje se može iznositi iskopano tlo. To su vrlo zahtjevne konstrukcije koje nameću izuzetno otežane uvjete rada pri iskopu (kesonska bolest) pa se izbjegavaju gdje god to moguće. [9]



Slika 19 Shematski prikaz kesona

Razlog odabira kesona je taj što može kontrolirano otplutati na vodi i postaviti na željeno mjesto. Kesonski temelj je gotov šuplji cilindar utisnut u tlo do željene razine, a zatim ispunjen betonom, koji se na kraju pretvara u temelj. Uglavnom se koristi za stupove mostova. [3]

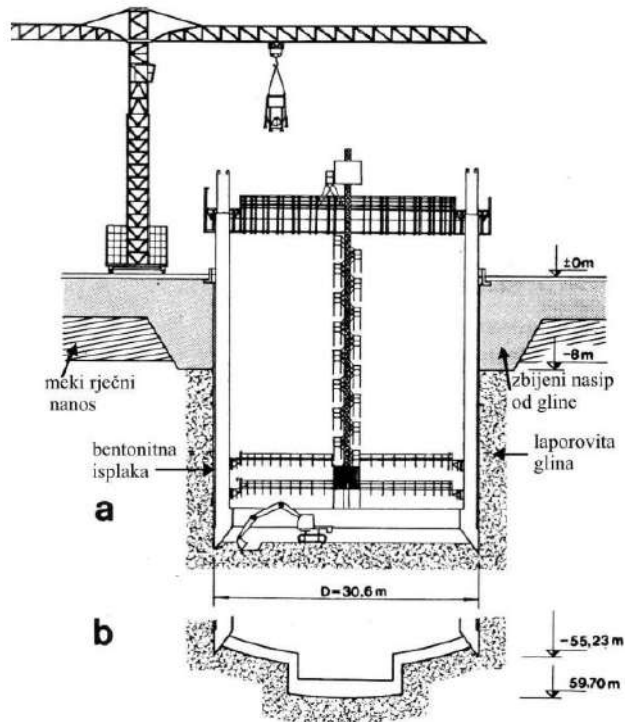


Slika 20 Pneumatski keson

Koriste se i onda kada se očekuje prolaz kroz tlo različitih svojstava ili kroz tlo koje sadrži neočekivane prepreke na koje bi prilikom iskopa nož mogao naići, a što bi moglo izazvati poteškoće pri spuštanju ili naginjanje. Iskop se vrši u suhom, isključivo ručno, što omogućava nadzor nad iskopom i odstranjivanje zapreka koje se mogu pojaviti ispod noža. Zbog rada u suhom moguće je pri završetku iskopa izvršiti provjeru svojstava temeljnog tla. Betonska temeljna ploča može se izvoditi u suhom što kod bunara nije slučaj. [8]

Bunari

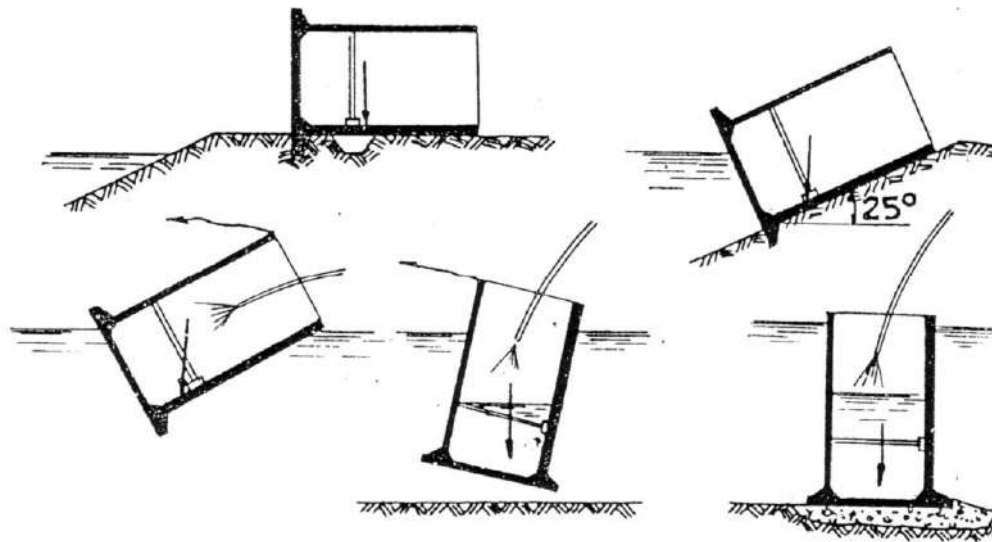
Bunari su velike, složene i zahtjevne temeljne konstrukcije oblika sanduka otvorenog s gornje i s donje strane ili oblika šupljeg valjka koje služe za prijenos vrlo velikih opterećenja stupova velikih mostova u dublje i bolje nosive slojeve tla ili na temeljnu stijenu. Mogu služiti i kao zaštita građevne jame. Sanduk bunara obično se izvodi od armiranog ili prednapetog betona, ponekad u čeličnoj oplati. Izvode se iskapanjem tla u otvorenom iz njihove unutrašnjosti uz istovremenu dogradnju konstrukcije na površini čime se oni istovremeno grade i spuštaju u dubinu. Da bi se ostvarilo njihovo spuštanje u tlu, težina im mora biti veća od trenja sanduka s okolnim tlom. [9] Valja voditi račun da se uslijed velike razlike razine vode u bunaru i vanjske podzemne ili slobodne vode, ne izazove hidraulički slom. [8]



Slika 21 Shema iskopa bunara u Obrovcu: a) poprečni presjek pri iskopu; b) završeno dno – temeljna ploča

Sanduci

To je vrsta dubokih temelja koji se upotrebljavaju za temeljenje u dubokoj vodi. S prethodnim temeljima imaju samo toliko veze što su masivni, velikih dimenzija i težine. Često su oni sami oplata buduće građevine. Mogu se slagati u niz, kada tvore lukobrane ili obalne zidove, a mogu biti korišteni i pojedinačno, za izvedbu svjetionika, priveza za tankere, temelja stupova mostova. Sanduci se izvode na suhom, porinu u vodu kao brod, a zatim dotegle na mjesto ugradnje. Potrebno je ispitati stabilnost sanduka za vrijeme tegljenja, da ne dođe do njegovog prevrtanja. Sanduci se najčešće izvode na suhom i na neki način spuštaju u vodu. Pomoću sanduka se mogu izvoditi i valobrani, odnosno lukobrani. Tada najveće opterećenje, koje djeluje na građevinu, nastaje uslijed udara valova. Sanduci se udaru valova odupiru svojom težinom. [8]

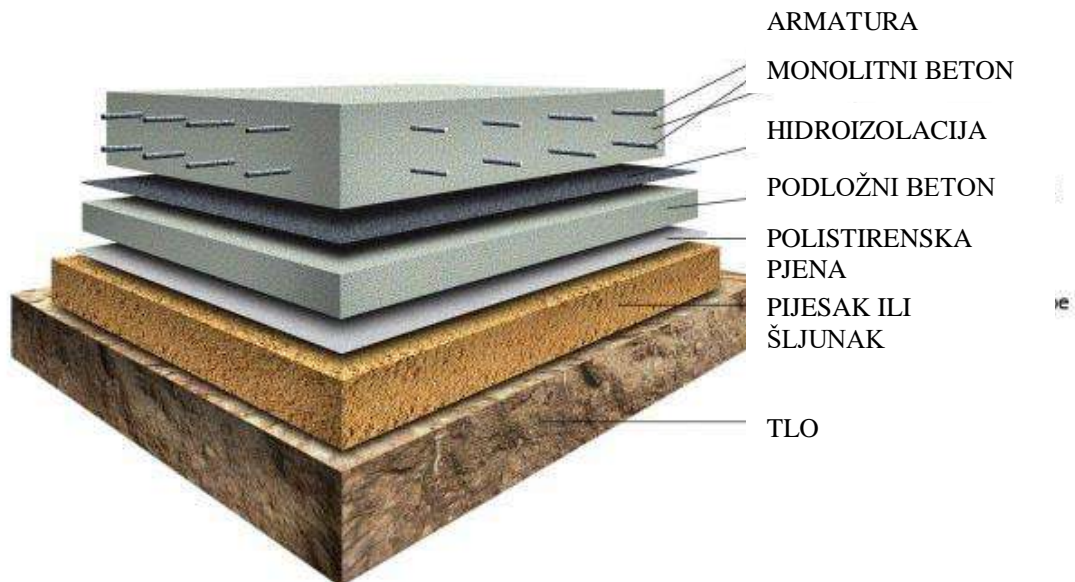


Slika 22 Postupak postavljanja sanduka na mjesto ugradnje potkapanjem i teglenjem

3. ZAHTJEVNIJI NAČINI TEMELJENJA

3.1. Plutajući temelji

Uzdizanje tla stvara probleme jer akumulira vodu koja se smrzava zimi. Smrznuti led podiže građevinu za 5-10 cm, uzrokujući pukotine i deformacije. Na mjestima s lošim tлом, tradicionalni temelji nisu prikladni, pa je alternativa plutajući temelj - skupo, ali pouzdano rješenje. Plutajući temelj koristi se na mjestima gdje se tlo uzdiže, blizu podzemnih voda i drugi problemi. Prednosti plutajućih temelja jesu upotreba na različitim vrstama tla, toplinska izolacija, brzi rokovi izvođenja. Nedostaci uključuju nemogućnost izrade na nagibima i visoki troškovi izolacijskih materijala.



Slika 23 Plutajući temelj

Plutajući temelj se sastoji od armiranobetonske ploče koja „lebdi“ iznad tla i omogućuje kući da se "pomiče" zajedno s tлом, sprječavajući deformacije i oštećenja. Proces izgradnje plutajućeg temelja uz osnovne korake kod tradicionalne izgradnje uključuje još ugradnju drenažnih bunara za sprječavanje podizanja tla i odvodnju vode, postavljanje hidroizolacijskog jastuka - na dno jame se postavlja sloj pijeska ili šljunka debljine oko 55 cm, a iznad toga se postavlja izolacijski sloj od polistirenske pjene debljine oko 15 cm.

[10]

3.2. Hibridno temeljenje

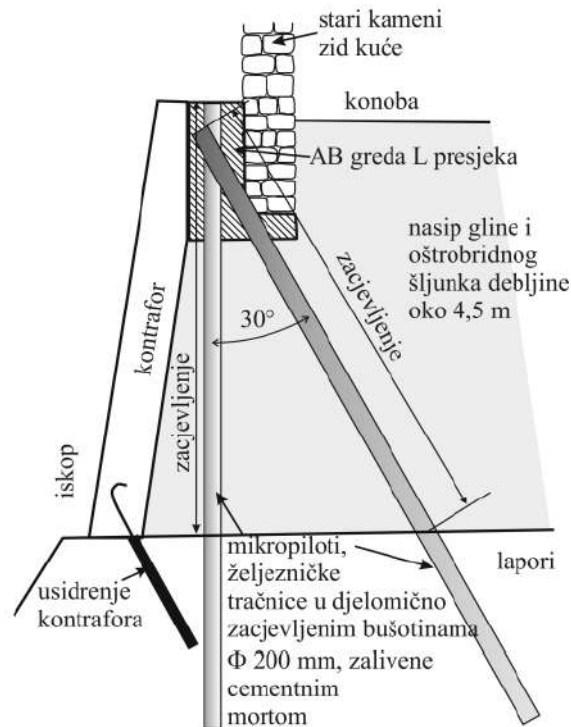
Hibridno temeljenje je jedna od metoda koje se primjenjuju kod temeljenja visokih građevina na stišljivom tlu. Ovo je složeni način temeljenja, sastavljen od ploče i pilota. Način temeljenja počeo se primjenjivati 80-tih godina prošlog stoljeća, kada je naglo porastao broj visokih građevina u gusto naseljenim gradovima. Uz visoke građevine javlja se potreba građenja na tlima koja nisu naročito pogodna za temeljenje s obzirom na dugotrajno, konsolidacijsko slijeganje. Ono će djelovati na trenja po plaštu pilota koji se nalaze u sustavu hibridnog temeljenja. Sve do završetka procesa konsolidacije na pilote će djelovati negativno trenje. [8]



Slika 24 Primjer hibridnog temeljenja Burj Khalife

3.3. Mikropiloti

Mikropiloti su geotehnički zahvati koji čine prijelaz između pilota, kao nosivih dijelova građevine izvedenih u tlu i poboljšanja temeljnog tla, koje nije nosivi sklop građevine već samo djelovanje na poboljšanje svojstava temeljnog tla. Izvode se gotovo uvijek u grupi. To su svi oni zahvati u tlu, koji se sastoje od niza stupova malog promjera zabijenih u tlo ili izvedenih u tlu. Imaju vrlo široku primjenu kao i načine izvedbe. Često se koriste pri sanaciji temelja postojećih građevina kod kojih je došlo do neželjenog slijeganja iz različitih razloga. Mogu se koristiti i kao ojačanje tla u području iskopa tunela, građevnih jama i drugim najrazličitijim situacijama. Ako se ugradi veliki broj mikropilota na dovoljno malom razmaku da čine grupu i to u prostoru, mogu se pretvoriti u duboki, masivni temelj–temeljni blok, koji nosi na dodiru temelj–tlo i na trenje po plaštu bloka. [8]



Slika 25 Jačanje i produbljenje temelja mikropilotima

3.4. Posebne vrste temelja

Posebne vrste temelja, kod kojih namjena građevine zahtijeva određenu dubinu, mogu zadirati duboko ispod razine podzemne vode. Tada na njih ima učinak uzgon, koji se ne može zanemariti. To također mogu biti građevine koje se jednim svojim dijelom nalaze potopljene u vodi (suhi dokovi, brodske prevodnice, crpne stanice). Takve građevine zahtijevaju posebne zahvate osiguranja protiv negativnog učinka uzgona. Osim uzgona na temelje ponekad djeluju dovoljno velike vlačne sile, koje zahtijevaju posebne zahvate za njihovo savladavanje. To također zahtijeva posebne zahvate kod temeljenja. U toj grupi prema odnosu pritiska na temeljnu plohu i težine građevine može se izvršiti podjela na: [8]

3.4.1. Nadoknadni temelji

Izvide se na tlu niskih čvrstoća na smicanje odnosno male nosivosti. To su tla nastala naplavinama na riječnim ušćima, jezerima i slično, a osim male čvrstoće na smicanje imaju i veliku stišljivost. Izvide se kao krute, sandučaste građevine, ukopane u tlo do potrebne, često značajne dubine. Ovo je na izgled jednostavno, ali prilikom izvođenja

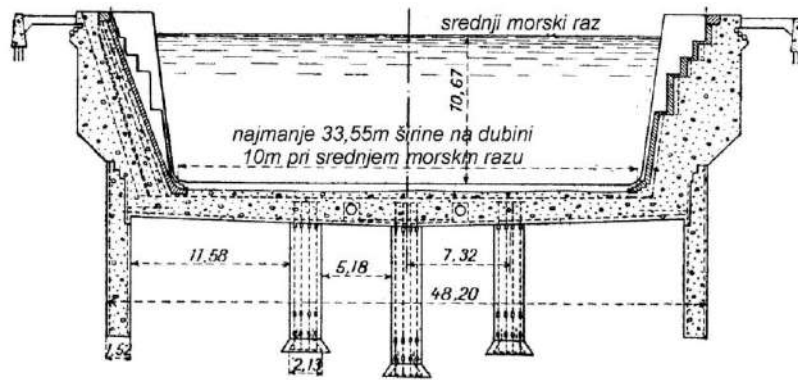
ovakvih temelja nastaju velike poteškoće koje se moraju savladavati određenim zahvatima u tijeku izvođenja. Poteškoće nastaju upravo zbog velike dubine ukapanja u loše tlo, uglavnom uz visoku razinu podzemne vode. Plastično tečenje mekog tla izaziva podizanje dna građevne jame i slijeganje površine oko građevne jame zaštićene žmurjem. Težina tla izvan jame izaziva slom u mekom tlu po Prandtlovom modelu, na način da se dno jame uzdiže, a što za posljedicu ima slijeganje tla oko građevne jame izvan žmurja. Istovremeno se i žmurje nastoji zaokrenuti, prateći pomak tla. Zabijeni dio žmurja se miče u smjeru jame što može izazvati i gubitak ravnoteže žmurja. [8]



Slika 26 Kruti sanduk

3.4.2. Plivajući temelji

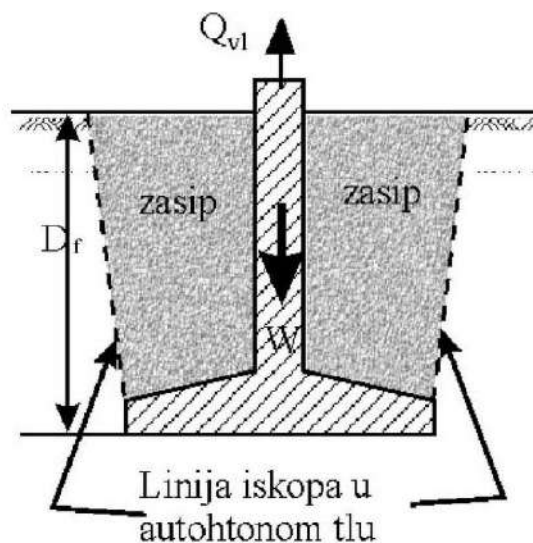
Pravi plivajući temelji se javljaju kod građevina koje se trajno nalaze pod uzgonom. To su komore crpnih stanica, brodske prevodnice na plovnim putovima, suhi dokovi, rezervoari ukopani u tlo s visokom razinom podzemne vode i slično. Kod takvih je građevina uzgon, ponekad u toku njihovog korištenja, veći od vlastite težine. Temelje takvih građevina je potrebno dodatno povezati s tlom, da ne dođe do njihovog isplivavanja. Pri tom se mogu koristiti vlačni piloti, geotehnička sidra i neka druga tehnička rješenja. [8]



Slika 27 Poprečni presjek suhog doka arsenala u Brooklyn-u u New Yorku

3.4.3. Vlačni temelji

Visoke armirano-betonske građevine malog tlocrta u odnosu na visinu (dimnjaci, vodotornjevi i sl.), a pogotovo metalne rešetkaste konstrukcije male vlastite težine (dalekovodni stupovi, relejni tornjevi i sl.), viseći i ovješeni mostovi i još neke građevine, prenose u tlo vlačnu silu. Ovakav je statički sustav za tlo neprirodan, jer ono, prema svim dosadašnjim razmatranjima, ne može trajno prihvatiti vlačne sile. Kako je zahtjev za preuzimanje vlačnih naprezanja rastao, to je za njega bilo potrebno pronaći odgovarajuće rješenje. Najjednostavnije rješenje je dovoljno veliki kontra teret u obliku sidrenog bloka, koji može savladati nametnutu vanjsku vlačnu silu. Ovakvo je rješenje međutim neekonomično. Iz tih razloga razvili su se različiti sustavi prijenosa vlačnih sila u tlo. Općenito ih se može podijeliti u tri skupine: - plitki vlačni temelji (kod kojih je odnos $D/B < 4$); - duboki vlačni temelji (kod kojih je odnos $D/B > 4$); i geotehnička sidra. [8]



Slika 28 Vlačni temelj

4. PRIMJERI SUVREMENIH NAČINA TEMELJENJA

4.1. Burj Khalifa

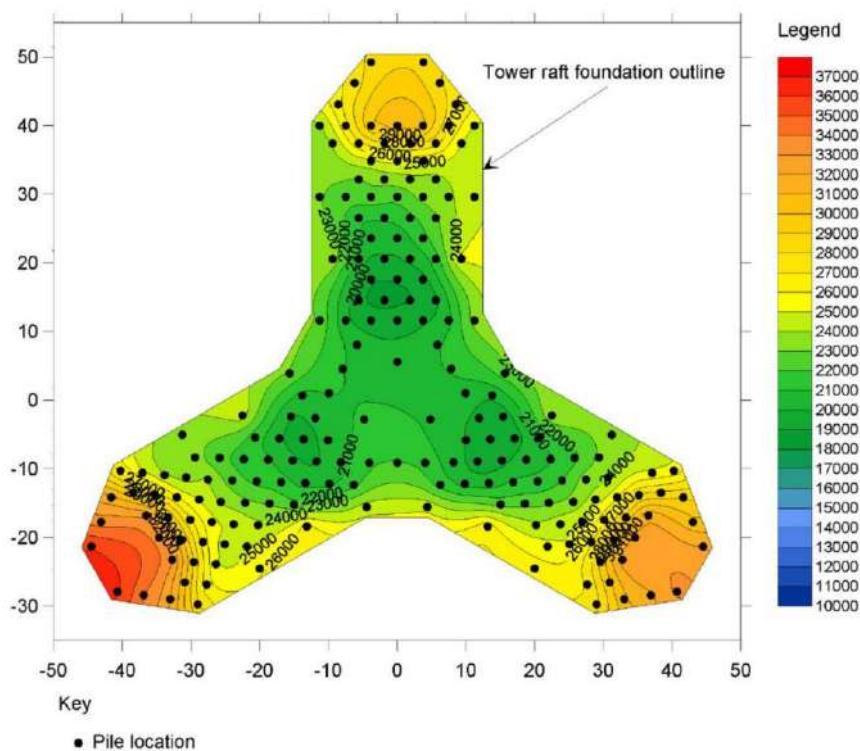
Burj Khalifa (izvorno označavan kao Burj Dubai) je najviša zgrada na svijetu sa 828 m. Ključni izazovi u ovom projektu bili su poduzeti ekonomičan dizajn temelja za najvišu zgradu na svijetu, gdje su uvjeti temeljenja bile relativno slabe stijene i gdje je trebalo izdržati značajna opterećenja vjetrom. Zgrada ima tlocrtni oblik slova "Y", kako bi se smanjile sile vjetra na toranj te održala jednostavnost izgradnje konstrukcije. U izgradnji Burj Khalife korišten je beton tlačne čvrstoće 80 i 60 MPa s dodatkom metalnog praha, pri čemu je veća čvrstoća betona korištena za donji dio građevine. Geotehnička istraživanja provedena su u četiri faze. [11] Uvjeti tla bili su povoljni te se pokazalo da je tlo meko, stabilno i jednostavno za kopanje. [12]



Slika 29 Burj Khalifa

Temeljna ploča je debljine 3,7 m i izgrađena je u četiri odvojena izlivanja sa ukupno 12.500 kubičnih metara (m^3) betona. Oko 45.000 m^3 betona, teškog više od 110.000 tona, izliveno je za temelje – što je ekvivalentno 18 olimpijskih bazena – sa 192 pilota do dubine od preko 50 m. [12] Provedene su linearne i nelinearne analize kako bi se dobila predviđena raspodjela opterećenja u pilotima i slijeganja ploče i postolja. Piloti tornja su

1,5 m promjera i 47,45 m ukopani sa pločom tornja temeljenoj na - 7,55 m dok su piloti podija promjera 0,9 m i dugački 30 m. Ploča podija je temeljena na -4,85 m. Slijeganja izmjerena tijekom izgradnje bila su u skladu s onim predviđenima čak znatno manja od njih. Općenito, performanse sustava hibridnog temeljenja nadmašile su očekivanja. [11]



Slika 30 Prikaz maksimalnog aksijalnog opterećenja u MN

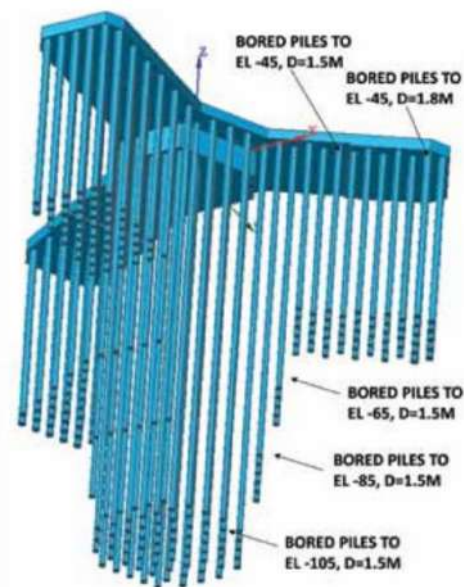
4.2. Jeddah Tower

Jeddah ili Kingdom Tower bit će visok više od 1000 metara i imat će tri krila sa središnjom jezgrom. Rezultirajući prosječni pritisak na podlogu ispod ploče je oko 2,37 MPa. Otisak temeljne ploče tornja iznosi približno 3720 kvadratnih metara, s udaljenošću od središta do ruba krila od gotovo 60 metara. Sustav temeljenja za Jeddah Tower je sustav od 226 ugrađenih pilota promjera 1,5 m i 44 pilota promjera 1,8 m povezanih na kontinuiranu betonsku gredu. Ploča ima debljinu od 4,5 m u središnjem dijelu a na krajevima krila raste do 5 m. Dubine pilota kreću se od 45 m na krilima do 105 m u središtu tornja.



Slika 31 Jeddah Tower

Istraživanje se sastojalo od sedam bušotina, tri bušotine do dubine od 120 metara, tri bušotine do nominalne dubine od 150 metara i jedna bušotina u središtu tornja do dubine od 200 metara (najdublja bušotina vezana za građevinsku konstrukciju u Kraljevini Saudijskoj Arabiji).



Slika 32 Temelji Jeddah Tower-a

Izmjerena je razina podzemne vode koja je otprilike na razini s Crvenim morem. Veličina slijeganje se kretalo od 173 mm u sredini do 108 mm na rubovima. Analiza procjene

pokazuje da opterećenja glave pilota za pilote promjera 1,5 metara variraju od oko 18 MN do oko 29 MN dok za pilote promjera 1,8 metara, opterećenja su varirala od oko 24 MN do 38 MN. [13]



Slika 33 Jeddah Tower danas

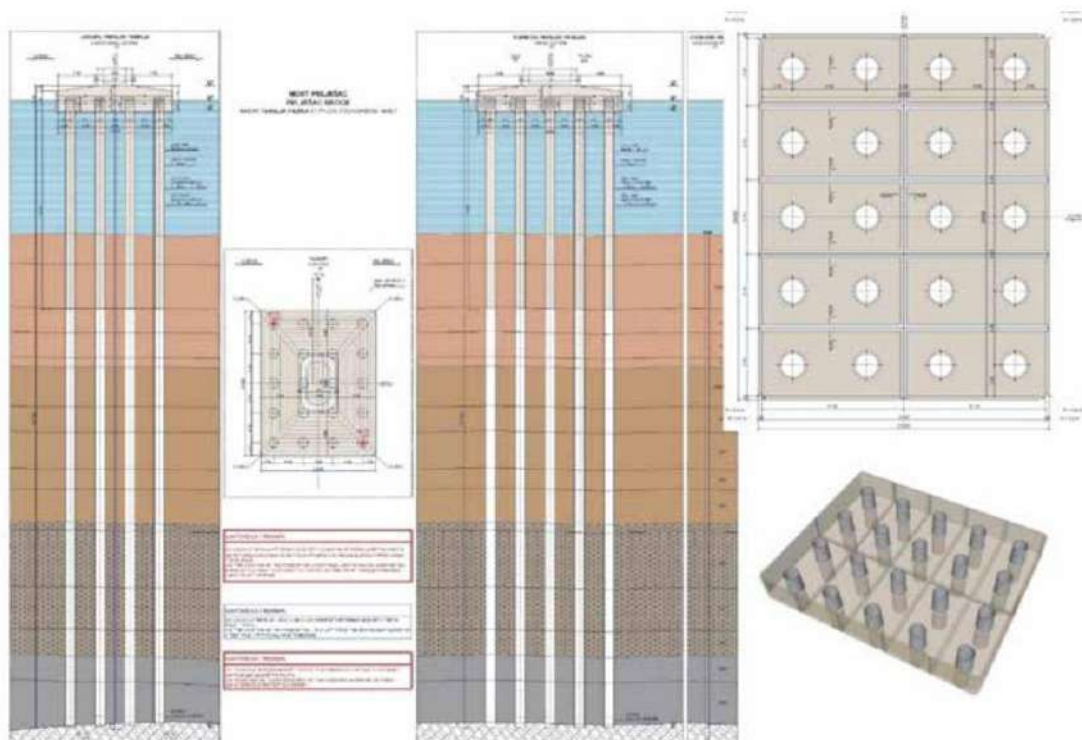
4.3. Pelješki most

Prije početka gradnje mosta, izvoditelj je imao obvezu napraviti dodatne istražne bušotine na svakom stupnom mjestu te su utvrđene točne duljine pilota. Prema glavnom projektu predviđene duljine pilota bile su 36 – 124 m. Najdulji pilot na mostu je duljine 130,9 m, a to je ujedno i najveća duljina pilota koji je zabijen u jednom komadu na svijetu. Uobičajeno se piloti ovakvih duljina izvode u nastavcima.



Slika 34 Most Pelješac

Gradnja mosta započela je izvedbom testnih pilota kako bi se pokazalo da projektirani piloti i predviđeni način izgradnje zadovoljavaju sve uvjete iz projekta. Izvođač je predvidio pilote proizvoditi u Kini i to u punoj duljini, dopremiti ih na gradilište brodom te pomoću specijalne dizalice postaviti na mjesto ugradnje i “čekićem“ zabiti do potrebne dubine. Nakon pobijanja pilota slijedila je izvedba naglavnica pilota, što je također bilo vrlo zahtjevno obzirom da dno naglavnice nije iznad morske površine, nego je uronjeno u more u dubini 1,0 m. Središnji stupovi locirani su u moru i temeljeni su na čeličnim pilotima promjera 1800 i 2000 mm. Stupovi pristupnih raspona temeljeni su na po 9 pilota. [14]



Slika 35 Temeljenje stupa

Piloti na krajnjim stupištima produljeni su betonskom stopom u stijenu i u potpunosti su ispunjeni betonom. Piloti na preostalim stupištima ispunjeni su betonom do dubine 40 m. S obzirom na značaj građevine i okolinu u kojoj se nalazi, na mostu Pelješac projektom je predviđena ugradnja opreme za kontinuirano motrenje mosta – monitoring. Sustavom monitoringa kontinuirano se prikupljaju podaci o relativnim deformacijama (na temelju kojih se određuju naprezanja) i to u pilotima, stupovima, pilonima te čeličnoj rasponskoj konstrukciji. Također, predviđena je katodna zaštita pilota i dodatno praćenje trajnosti betona pomoću žrtvenog zida. Žrtveni zid - zbog kemijskog napada morske vode, korozije

izazvane kloridima i CO₂, predviđeno je obavljanje dodatnog nadzora trajnosti betona na uzorcima uzetima iz žrtvenog zida izgrađenog po istim postupcima i sa materijalima u zoni prskanja vode (naglavnice pilota i stupovi). [14]

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu potvrđeno je kako je temeljenje jedno od najbitnijih faza u izgradnji građevine. Suvremenim načinima temeljenja se pospješuje sigurnost i dugotrajnost građevina. Kroz inovacije, tehnološki napredak i dublje razumijevanje mehanike tla, suvremeni načini temeljenja omogućuju građevinskim inženjerima da se suoče s različitim izazovima današnjeg građenja. Povezujući povijest i suvremenost, primjećuje se da su nabrojene tehnike suvremenog načina temeljenja izrasle iz naslijeđenog znanja i iskustva, prilagođavajući se zahtjevima suvremenog društva. Mogućnost izbora između različitih tehnika temeljenja omogućuje bolje prilagodbe specifičnim uvjetima terena, okolišu i zahtjevima projekta. Suvremeni načini temeljenja nisu samo usmjereni na tehničke aspekte, već i na održivost i ekološku osviještenost. Smanjenje potrošnje resursa, optimizacija materijala te smanjenje ekološkog utjecaja postaju ključni čimbenici u izboru odgovarajuće tehnike temeljenja. Nastavak istraživanja, inovacija i prilagodbe novim tehničkim zahtjevima i ekološkim standardima osigurat će da ove i nove tehnike budu ključan element budućnosti građevinske industrije.

6. LITERATURA

IZVORI:

- [1] <https://istasazeh-co.com/pdf/Foundation-design-principles-and-practices-Donald-P-Coduto.pdf>, 21.08.2023.
- [2] https://www.researchgate.net/publication/298921324_Review_of_historical_buildings'_foundations, 21.08.2023.
- [3] <https://www.cedengineering.com/userfiles/G02-015%20-%20Types%20of%20Foundations%20-%20US.pdf>, 21.08.2023.
- [4] <https://www.geotech.hr/plitko-temeljenje/>, 22.08.2023.
- [5] <https://gradst.unist.hr/Portals/9/docs/katedre/Geotehnika/PDSG%20Posebna%20poglavlj/Duboko%20temeljenje.pdf>, 22.08.2023.
- [6] https://www.cedd.gov.hk/filemanager/eng/content_148/ep1_2006.pdf, 23.08.2023.
- [7] <http://struna.ihjj.hr/naziv/pilot-s-kontinuiranim-svrdom/17688/>, 23.08.2023.
- [8] https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temelnog_tla.pdf, 23.08.2023.
- [9] https://www.grad.unizg.hr/download/repository/G4_Plitki_temelji.pdf, 24.08.2023.
- [10] <https://hourstrong.com/to-je-plutajui-temelj-i-tajne-njegove-izgradnje/>, 24.08.2023.
- [11] https://www.researchgate.net/publication/303954003_Tall_building_foundations_design_methods_and_applications?enrichId=rgreq-fde927bb389e32a346c375ca4a4a3818-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwMzk1NDAwMztBUzozOTkxOTA1ODU4MjMyMzNAMTQ3MjE4NTg2MDQwOA%3D%3D&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf, 24.08.2023.
- [12] <https://www.commercialinteriordesign.com/insight/updated-how-the-burj-khalifa-was-built-including-design-foundations-cladding-and-urban-myths>, 24.08.2023.
- [13] <https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/2387-from-supertall-to-megatall-analysis-and-design-of-the-kingdom-tower-piled-raft.pdf>, 25.08.2023.
- [14] Gordana Hrelja Kovačević : Hrvatski megaprojekt – Pelješki most, GRAĐEVINAR, 73 (2021) 8 <http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-73-2021-8-6-PELJ.pdf>, 25.08.2023.

SLIKE:

Slika 1. Iskop tla prije temeljenja (izvor: <https://pixabay.com/photos/digging-a-hole-construction-1692944/>)

Slika 2. Temeljenje na drvenim stupovima (izvor: <https://risedesignstudio.co.uk/blog/index.php/2018/03/29/history-of-a-building-foundations/>)

Slika 3. Temeljenje na kamenu (izvor: <https://pixabay.com/images/search/foundation/?pagi=2>)

Slika 4. Temelj samac (izvor: <https://debug.pi.gr/default.aspx?ch=74>)

Slika 5. Izvedba temeljnih traka (izvor: <https://www.cedengineering.com/userfiles/G02-015%20-%20Types%20of%20Foundations%20-%20US.pdf>)

Slika 6. Betoniranje temeljne ploče (izvor: <https://www.geotech.hr/plitko-temeljenje/>)

Slika 7. Shema temeljnog roštilja (izvor: <https://www.geotech.hr/plitko-temeljenje/>)

Slika 8. Duboko temeljenje na primjeru mosta (izvor: <https://constrofacilitator.com/the-bridge-foundation-advantages-and-types/>)

Slika 9. Zabijeni drveni piloti (izvor: <https://www.nzgs.org/libraries/direct-design-of-driven-timber-piles-using-cpt-a-case-study/>)

Slika 10. Čelični piloti (izvor: <https://theconstructor.org/structural-engg/foundation-design/steel-piles/40266/>)

Slika 11. H-piloti zabijeni u tlo (izvor: <https://www.cedengineering.com/userfiles/G02-015%20-%20Types%20of%20Foundations%20-%20US.pdf>)

Slika 12. Betonski piloti na gradilištu (izvor: <https://www.roger-bullivant.co.uk/products/piling/driven-precaster-concrete-piles/>)

Slika 13. Poprečni presjek betonskog pilota (izvor: <https://istasazeh-co.com/pdf/Foundation-design-principles-and-practices-Donald-P-Coduto.pdf>)

Slika 14. Poprečni presjek kompozitnog pilota (izvor: <https://istasazeh-co.com/pdf/Foundation-design-principles-and-practices-Donald-P-Coduto.pdf>)

Slika 15. Tehnologija izvedbe bušenih pilota (izvor: <https://istasazeh-co.com/pdf/Foundation-design-principles-and-practices-Donald-P-Coduto.pdf>)

Slika 16. Izrada bušenih pilota (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)

- Slika 17. Shema izrade pilota s kontinuiranim svrdlom (izvor: <https://istasazeh-co.com/pdf/Foundation-design-principles-and-practices-Donald-P-Coduto.pdf>)
- Slika 18. Način ugradnje pilota s kontinuiranim svrdlom (izvor: <https://istasazeh-co.com/pdf/Foundation-design-principles-and-practices-Donald-P-Coduto.pdf>)
- Slika 19. Shematski prikaz kesona (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)
- Slika 20. Pneumatski keson (izvor: <https://www.cedengineering.com/userfiles/G02-015%20-%20Types%20of%20Foundations%20-%20US.pdf>)
- Slika 21. Shema iskopa bunara u Obrovcu: a) poprečni presjek pri iskopu; b) završeno dno – temeljna ploča (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)
- Slika 22. Postupak postavljanja sanduka na mjesto ugradnje potkapanjem i tegljenjem (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)
- Slika 23. Plutajući temelj (izvor: <https://hourstrong.com/to-je-plutajui-temelj-i-tajne-njegove-izgradnje/>)
- Slika 24. Primjer hibridnog temeljenja Burj Khalife (izvor: https://www.researchgate.net/figure/2-Burj-Khalifa-Tower-Foundation-system_fig1_328649931)
- Slika 25. Jačanje i produbljenje temelja mikropilotima (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)
- Slika 26. Kruti sanduk (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)
- Slika 27. Poprečni presjek suhog doka arsenala u Brooklyn-u u New Yorku (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)
- Slika 28. Vlačni temelj (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)
- Slika 29. Burj Khalifa (izvor: <https://www.pexels.com/search/burj%20khalifa/>)
- Slika 30. Prikaz maksimalnog aksijalnog opterećenja u MN (izvor: https://www.researchgate.net/publication/303954003_Tall_building_foundations_design_methods_and_applications?enrichId=rgreq-fde927bb389e32a346c375ca4a4a3818-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwMzk1NDAwMztBUzozOTkxOTA1ODU4MjMyMzNAMTQ3MjE4NTg2MDQwOA%3D%3D&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf)
- Slika 31. Jeddah Tower (izvor: <https://architizer.com/blog/inspiration/industry/kingdom-tower-10-facts/>)

Slika 32. Temelji Jeddah Tower-a (izvor: <https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/2387-from-supertall-to-megatall-analysis-and-design-of-the-kingdom-tower-piled-raft.pdf>)

Slika 33. Jeddah Tower danas (izvor: <https://www.thorntomasetti.com/project/jeddah-tower>)

Slika 34. Most Pelješac (izvor: <https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/peljeski-most-spreman-za-otvorenje-ali-nedostaje-jos-sedam-kilometara-ceste-foto-20220725>)

Slika 35. Temeljenje stupa (izvor: <http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-73-2021-8-6-PELJ.pdf>)