

Suvremeni načini temeljenja

Radočaj, Petar

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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:237:911514>

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

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

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD

Petar Radočaj

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB

Građevinarstvo

ZAVRŠNI RAD
SUVREMENI NAČINI TEMELJENJA

Mentor:

Doc.dr.sc. Nikolina Vezilić Strmo

Student:

Petar Radočaj

Zagreb, 2019.



TEMA ZAVRŠNOG ISPITA

Ime i prezime studenta: **Petar Radočaj**

JMBAG: **82054161**

Završni ispit iz predmeta: **Visokogradnje**

Naslov teme
završnog ispita:

HR	Suvremeni načini temeljenja
ENG	Contemporary forms of foundation

Opis teme završnog ispita:

Rad se bavi istraživanjem suvremenih načina temeljenja. Istražuje se njihov povijesni razvoj, primjenjeni materijali, načini i uvjeti njihove ugradnje. Teoretske postavke istraživanja dodatno se obrađuju na primjerima izvedenih zgrada.

Datum: **11.4.2019.**

Komentor:

(Ime i prezime komentora)

Mentor:

doc.dr.sc. Nikolina Vezilić Strmo

(Ime i prezime mentora)

N. Vezilić Strmo

(Potpis mentora)

SAŽETAK

Tema ovog rada obrađuje suvremene načine temeljenja. Temelj je najniži konstruktivni element zgrade koji preuzima cjelokupno opterećenje i prenosi ga na tlo. Preko temelja zgrada je trajno vezana za tlo i s njim čini jedinstvenu cjelinu. Način temeljenja ovisan je o nizu čimbenika koje je potrebno utvrditi prije projektiranja temelja. U protivnom, temeljenje može biti ograničavajući čimbenik u ostvarenju projektirane građevine kako tehnički tako i ekonomski. Danas se u temeljenju manjih građevina najčešće koriste temeljne trake i ploče. U građevinama koje izazivaju velika naprezanja koriste se velike temeljne ploče, piloti i hibridno temeljenje. U radu su opisani svi načini suvremenog temeljenja, ali glavnu okosnicu činili su piloti. Oni su najstarija vrsta dubokog temeljenja i njihova uporaba u temeljenju visokih zgrada je neizbježna. U radu su opisana tri primjera suvremenog načina temeljenja: Samsung Tower Palace, Incheon 151 Tower i Japan Center.

SADRŽAJ

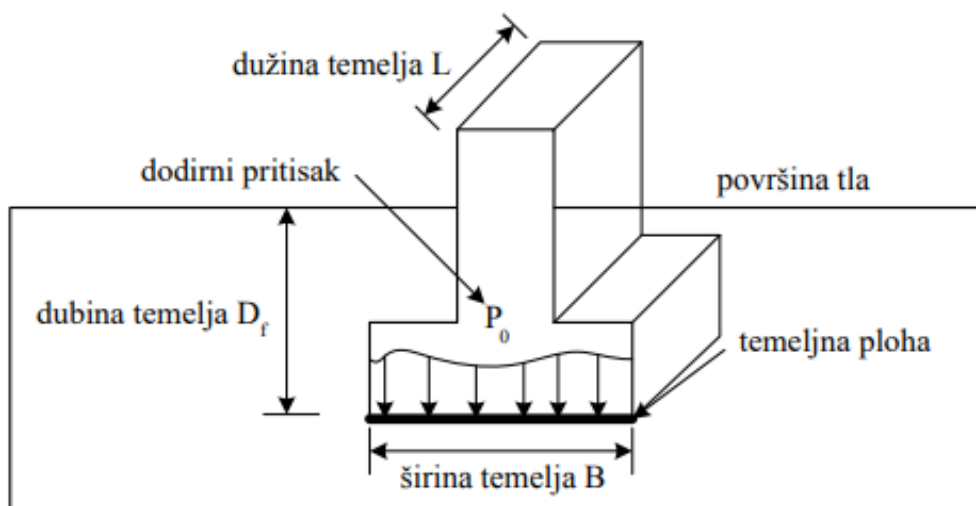
1. UVOD	1
1.1. Izbor problema za završni rad.....	1
1.2. Cilj i zadaci završnog rada.....	2
2. POVIJESNI RAZVOJ TEMELJENJA	3
3. OSNOVNE VRSTE TEMELJENJA	5
3.1. Plitki temelji.....	5
3.1.1. Temelji samci.....	5
3.1.2. Temeljne trake.....	6
3.1.3. Temeljni roštilji.....	6
3.1.4. Tremeljne ploče.....	7
3.2. Duboki temelji.....	8
3.2.1. Piloti.....	8
3.2.2. Bunari.....	8
3.2.3. Kesoni.....	9
3.3.4. Kombinirani ili hibridni temelji.....	10
3.3. Temelji na poboljšanom tlu.....	10
3.3.1. Injektiranje.....	10
3.3.2. Zbijanje i predopterećenje.....	11
3.3.3. Ojačanje temelja.....	12
4. NAČINI I UVJETI NJIHOVE UGRADNJE	13
4.1. Opterećenje zgrade.....	13
4.2. Konstruktivni sustav zgrade.....	14
4.3. Svojstva i vrsta tla.....	15
4.4. Položaj susjednih građevina.....	16
5. SUVREMENI NAČINI TEMELJENJA	17
5.1. Temeljenje trakastim temeljima.....	18
5.2. Temeljenje temeljnim pločama.....	19
5.3. Temeljenje na velikoj temeljnoj ploči.....	21
5.4. Temeljenje na pilotima.....	22
5.4.1. Podjela pilota prema načinu izvođenja.....	23
5.4.2. Podjela pilota prema vrsti gradiva.....	23

5.4.3. Grupe pilota.....	24
5.4.4. Vrste i načini izvođenja pilota.....	25
5.5. Hibridno temeljenje.....	29
6. PRIMJERI SUVREMENIH NAČINA TEMELJENJA.....	31
6.1. Samsung Tower Palace.....	31
6.2. Incheon 151 Tower.....	33
6.3. Japan Center.....	35
7. ZAKLJUČAK.....	37
8. LITERATURA.....	38

1. UVOD

1.1. Izbor problema za završni rad

Temelj je najniži konstruktivni element konstrukcije kojim se opterećenja iz kontrolirane građevine prenose u prirodnu sredinu, na način da građevina bude trajno upotrebljiva. To opterećenje temelj ravnomjerno raspodjeljuje na dovoljno veliku nosivu površinu, čime se zbijanje tla zadržava unutar prihvatljivih vrijednosti, a time i sprječava pretjerano slijeganje, nagibanje ili oštećenje građevine. Uspješnim temeljom možemo smatrati temelj koji sigurno i ekonomično prenosi opterećenja u tlo uz zadovoljenje niza uvjeta koje nameće vrsta, svrha i životni vijek konstrukcije, svojstva temeljnog tla, raspoloživa sredstva za izvođenje temelja itd.. Izbor načina temeljenja kao i oblik temelja ovise o veličini i vrsti tereta, nosivosti, sastavu i svojstvima tla, stanju podzemne vode, položaju buduće građevine u odnosu na već postojeće i drugo. [1] Danas se koriste kod svih građevina, počevši od nekih manjih konstrukcija kao što su terase i nadstrešnice pa do velikih poput nebodera i mostova. Nakon što se dovrše i krene izgradnja gornjih etaža građevine, više je nemoguće pristupiti velikim zahvatima oko izmjene temelja. Upravo ovdje možemo vidjeti kako je temeljenje jedna od najvažnijih faza u gradnji pa su tako i temelji jedni od najbitnijih dijelova građevine.



Slika 1. Osnovni pojmovi kod temelja

1.2. Cilj i zadaci završnog rada

U ovome završnom radu govori se o suvremenom načinu temeljenja. Suvremeni načini temeljenja danas se koriste u svim vrstama konstrukcija, od manjih obiteljskih kuća, hala, pa sve do kompliciranijih izvedbi temelja koji se koriste za brane i nebodere. Postoje velike razlike u izboru temelja za razne vrste građevina ali svima je zadatak da na adekvatan način pohrane sva naprezanja u temeljno tlo izborom odgovarajućeg sustava temeljenja. Cilj rada je objasniti osnovne vrste temelja, načine i uvjete njihove ugradnje te njihove primjene u suvremenom načinu temeljenja.

2. POVIJESNI RAZVOJ TEMELJENJA

Izgradnja temelja jedna je od najstarijih umjetnosti ljudske djelatnosti. Već u neolitiku, prije 12 tisuća godina, ljudi su gradili svoje kuće na dugačkim drvenim stupovima zabijanim u meko tlo ispod plitkih jezera kako bi se obranili od opasnih životinja i ostalih neprijatelja. Nekoliko tisuća godina kasnije, Babilonci su svoje hramove temeljili na velikim pločama od trske. 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. Većina srednjovjekovnih građevina utemeljena je na plitkim temeljima. Obično su građeni od kamena ili opeke, te raznih vrsta žbuke. Prekretnica temeljenja dogodila se u neoklasicizmu (18. do 20. stoljeće). Bila je snažno povezana s tehnološkim napretkom i primjenom novih materijala, poput hidrauličke žbuke, nazvane još i rimski beton, i čelika. [2] U 18. stoljeću počeli su se koristiti određeni strojevi za bušenje te temeljenje nije više bilo ograničeno na površinski sloj tla nego su se počele koristiti nove metode dubokog temeljenja. U početku su se koristili strojevi pomoću utega koji su bili podizani ljudskom snagom. Industrijskom revolucijom koja se dogodila u drugoj polovici 18. stoljeća ljudska snaga zamjenjena je parnim strojem. Nije bilo samo bitno da se poboljšaju tehnike građenja nego je trebalo poboljšati i materijale koje se koriste pri izgradnji temelja kao što su beton i čelik. Portland cement razvijen je u Engleskoj 1824. godine i do danas je neizostavan u proizvodnji betona. [3] Moderno doba u proizvodnji čelika započelo je uvođenjem procesa Henryja Bessemera 1855. godine, čija je sirovina bila sirovo željezo. [4] Beton i čelik su imali presudnu ulogu u izgradnji prvih suvremenih temelja. Nihovim spojem dobili smo armirani beton koji je danas postao neizostavan materijal koji se koristi u temeljenju. Koristi se za plitke temelje kuća, hala, ali i za duboke temelje i izradu pilota za visoke stambene i poslovne zgrade.



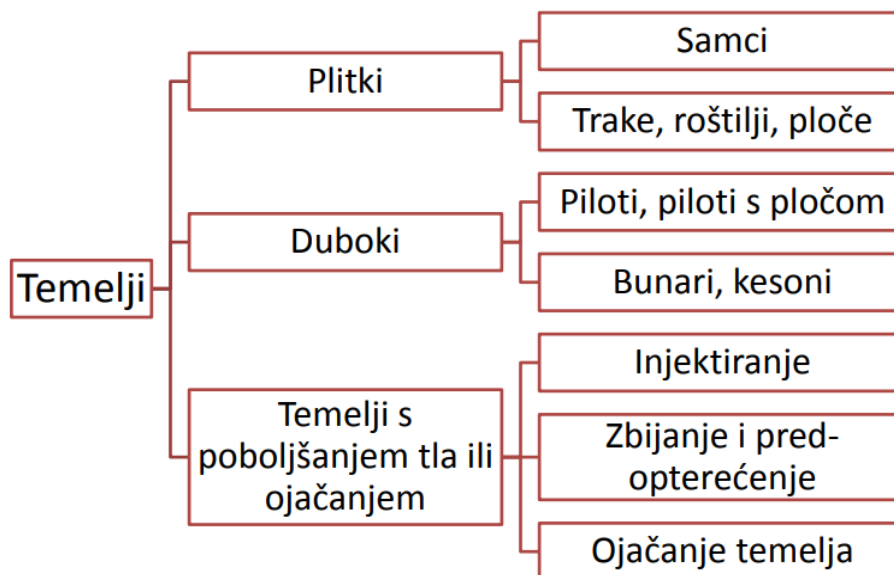
Slika 2. Temeljenje na kamenu



Slika 3. Temeljenje na drvenim stupovima

3. OSNOVNE VRSTE TEMELJENJA

Vrste temelja su mnogobrojne i mogu se razvrstati na različine načine od kojih je uobičajen onaj po načinu prijenosa opterećenja u tlo: plitki i duboki temelji te njihova kombinacija (hibridno temeljenje). Plitki temelji prenose opterećenja u plitke slojeve tla, dok duboki prenose opterećenje ili u dublje slojeve ili u sve slojeve duž njihove visine. Plitkim temeljenjem smatra se temeljenje do 2 m dubine. Sve ispod te vrijednosti smatramo dubokim temeljima . Plitki se, pak, temelji dalje dijele na temelje samce, temeljne trake, temeljne roštilje, temeljne ploče te kombinaciju ploče i roštilja. Duboki se temelji dijele na pilote, bunare, kesone te neke druge manje zastupljene vrste. Uz sve to danas je pristuno i temeljenje na poboljšanom tlu. [5]

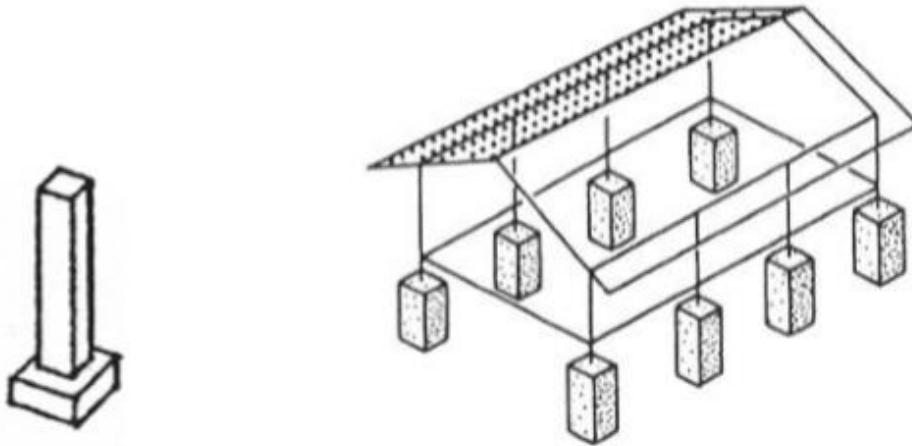


Slika 4. Klasifikacija temelja

3.1. Plitki temelji

3.1.1. Temelji samci

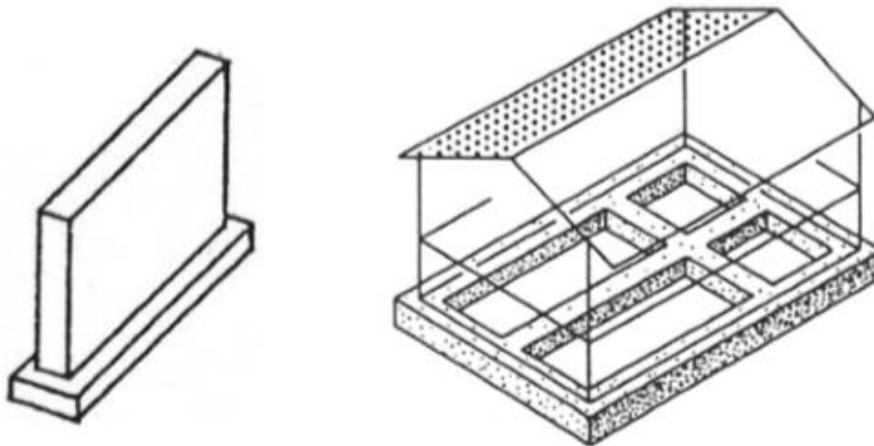
Temelji samci su manji masivni kvadri ili manje ploče, čiji je odnos širine i debljine takav da im je progib od savijanja zanemariv u odnosu na slijeganje. Zbog toga se u proračunima pretpostavlja da su kruti. Prenose opterećenja pojedinačnih stupova konstrukcije. Često se koriste kao temelji stupova tvorničkih i drugih hala, strojeva i stupova mostova kad to nosivost i krutost temeljnog tla omogućuje. Nekad su se gradili od kamena i opeke, a danas od nearmiranog i armiranog betona. Najjeftiniji su način temeljenja. [5]



Slika 5. Temelj samac

3.1.2. Temeljne trake

Temeljne trake su izduženi plitki temelji, obično ispod zidova zgrada. Obzirom na krutost u ravnini zidova, progib tih temelja u odnosu na njihovo slijeganje je zanemariv kao i kod samaca pa se također svrstavaju u krute temelje. Grade se na sličan način i iz istog materijala kao temelji samci. Uz temelje samce najjeftiniji su način temeljenja. [5]

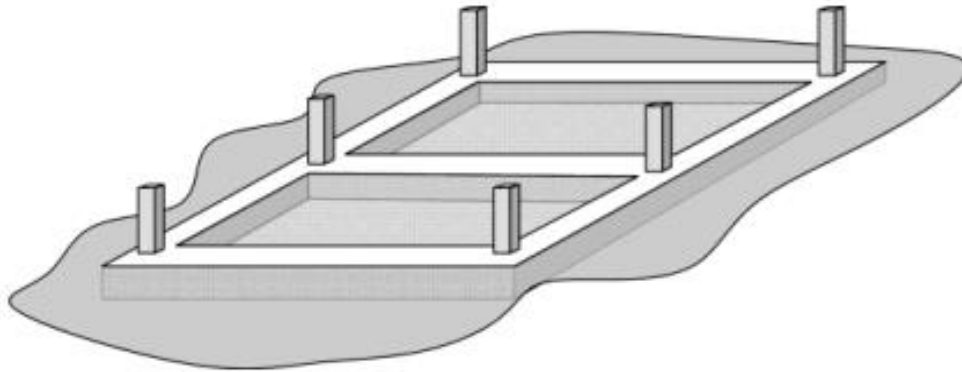


Slika 6. Temeljna traka

3.1.3. Temeljni roštilji

Temeljni roštilji su mreža temeljnih traka, ali uglavnom prenose opterećenja stupova pa savijanje traka više nije ograničeno zidovima. Zato obično njihov progib u odnosu na slijeganje više nije zanemariv pa se svrstavaju u savitljive temeljne konstrukcije. Izvode se u

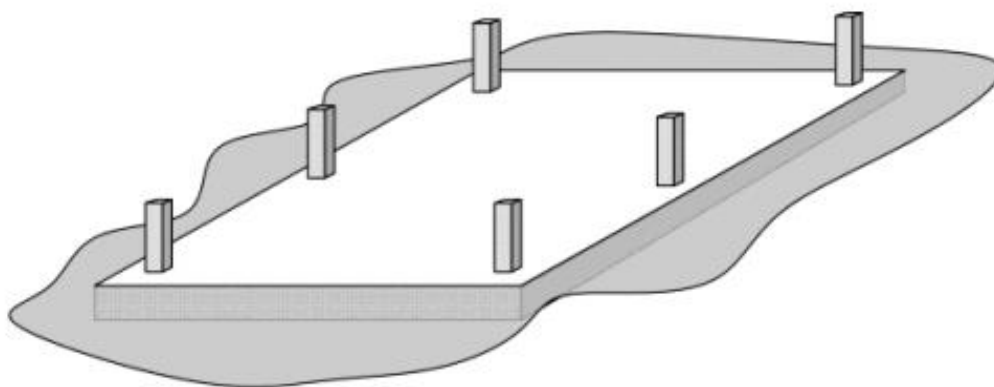
pravilu od armiranog betona. Koriste se u slučajevima kad nosivost i krutost temeljnog tla u odnosu na opterećenje konstrukcije ne omogućuje izbor temelja samaca i od njih su zbog povećanog utroška materijala skuplji. [5]



Slika 7. Temeljni roštilj

3.1.4. Temeljne ploče

Temeljne ploče su plošne temeljne konstrukcije, kojima progib u odnosu na slijeganje nije zanemariv pa se svrstavaju u savitljive temeljne konstrukcije. Grade se u pravilu od armiranog betona. Prenose opterećenja stupova i zidova konstrukcije, a koriste se kad nosivost i krutost tla ne omogućuju izbor temeljnog roštilja, a zbog povećanog utroška materijala od njih su skuplji. [5]

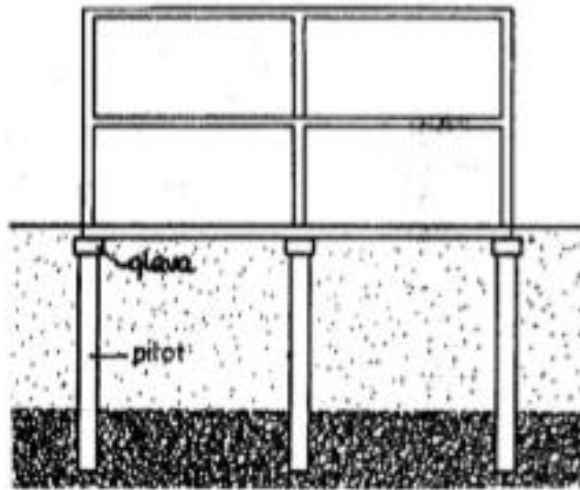


Slika 8. Temeljna ploča

3.2. Duboki temelji

3.2.1. Piloti

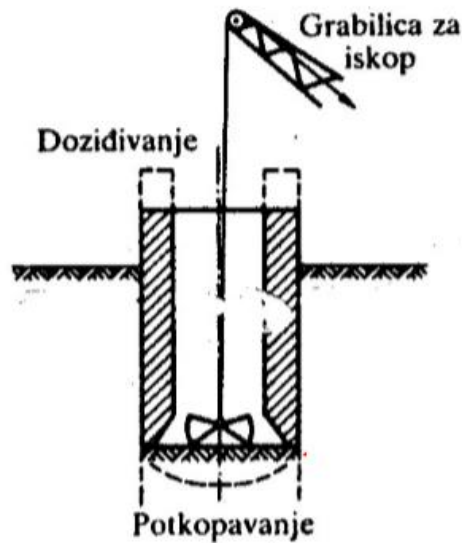
Piloti su štapni elementi koji se ugrađuju u tlo bušenjem, zabijanjem ili utiskivanjem, a prenose opterećenje gornje konstrukcije trenjem po svom plaštu i preko donjeg kraja ili stope. Grade se od različitih materijala: nekad od drveta, a danas u pravilu od čelika, armiranog ili prednapetog betona. Obično 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. [5]



Slika 9. Piloti

3.2.2. Bunari

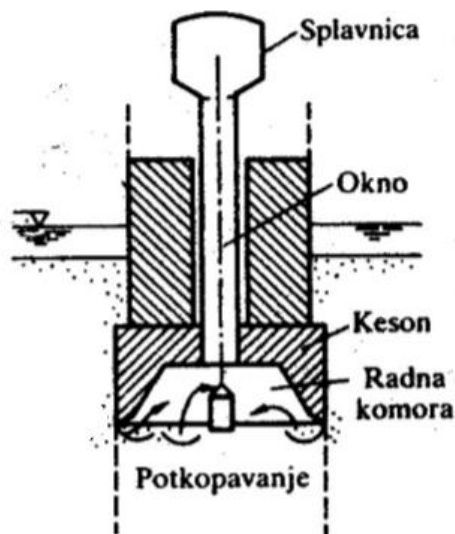
Bunari su velike, složene i zahtjevne temeljne konstrukcije oblika sanduka otvorenog s gornje i s donje strane ili oblika šupljeg valjka koje služe za prijenos vrlo velikih opterećenja stupova velikih mostova u dublje i bolje nosive slojeve tla ili na temeljnu stijenu. Sanduk bunara obično se izvodi 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. [5]



Slika 10. Bunar

3.2.3. Kesoni

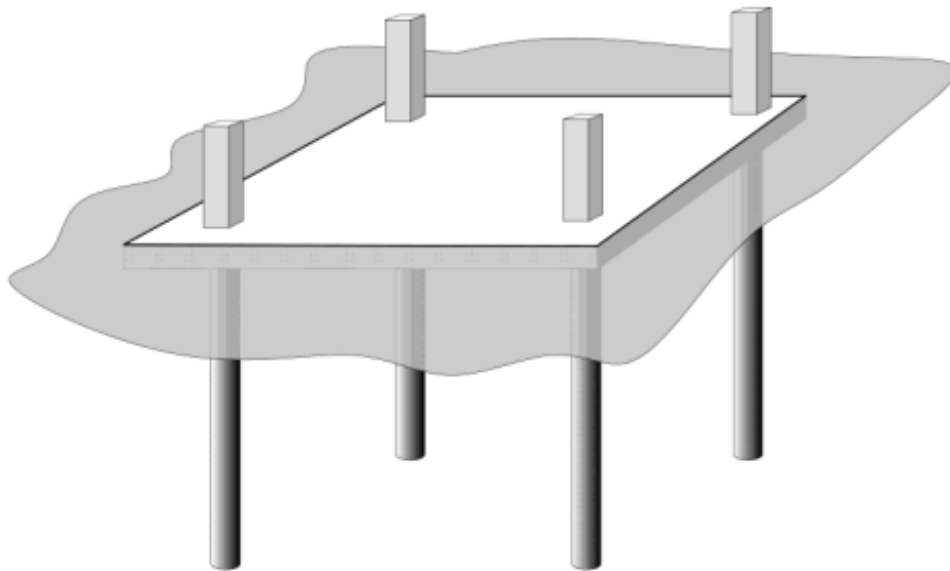
Kesoni su slični bunarima, ali su s gornje strane zatvoreni kako bi se u njihovoj unutrašnjosti tijekom izgradnje i iskopa tla mogao nametnuti povećani tlak zraka radi sprečavanja prodora tla i vode kroz donji otvoreni dio sanduka. Zbog zatvorenosti sanduka kesona s gornje strane potrebno je predvidjeti posebne prelazne 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 pa se izbjegavaju gdje god to moguće. [5]



Slika 11. Keson

3.2.4. Kombinirani ili hibridni temelji

Kombinirani ili hibridni temelj od ploče s pilotima koriste se kod jako opterećenih temelja, kao što su na primjer neboderi, na tlu nedovoljne nosivosti. Mada naoko slični temeljima na pilotima, po mehanizmu prijenosa opterećenja u tlo od njih se bitno razlikuju. Dok temelji na pilotima prenose opterećenje u tlo prvenstveno preko pilota pa se utjecaj naglavne ploče na njihovu nosivost i slijeganje obično zanemaruje, kombinirani temelji prenose opterećenje u tlo podjednako preko ploče i preko pilota. Dok se temelji na pilotima trebaju dimenzionirati tako da njihovo opterećenje bude znatno manje od njihove nosivosti, kod kombiniranih temelja, kod kojih ukupna nosivost obično nije upitna, piloti se mogu iskoristiti do krajnosti što znači da se mogu opteretiti i do sloma. [5]



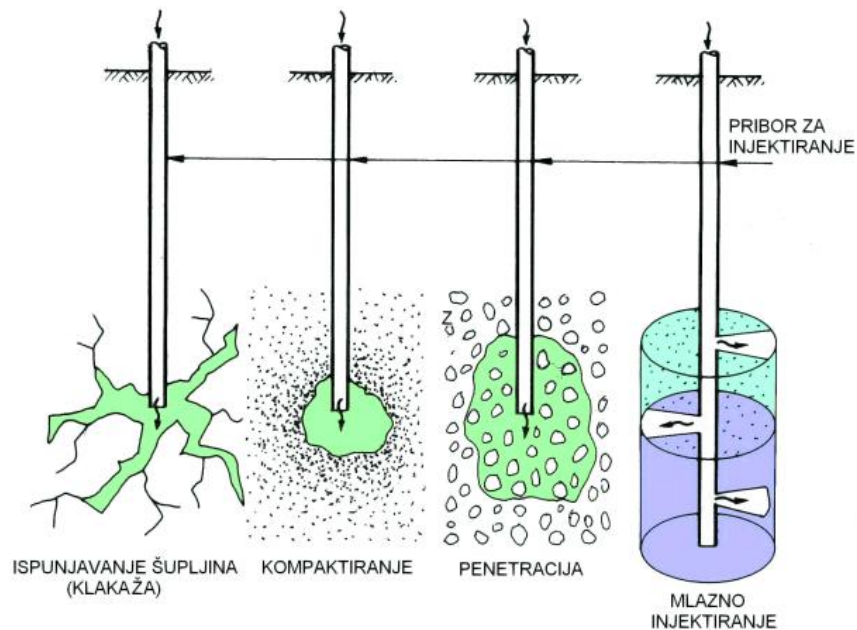
Slika 12. Kombinirani (hibridni) temelj

3.3. Temelji na poboljšanom tlu

3.3.1. Injektiranje

Mlazno injektiranje (Jet Grouting, eng.) je metoda poboljšanja tla kojom se određeni volumen tla pretvara u zemljani mort pri čemu se razbija struktura tla pomoću visoko energetskog mlaza tekućine. Izvodi se kako bi se osigurao prienos opterećenja građevine u dublje slojeve (stijensku podlogu ili dublje slojeve bolje nosivosti) te eliminirali pomaci i diferencijalna slijeganja građevine. Mlazno injektiranje se može koristiti za ojačanje svih vrsta zrnatih tala

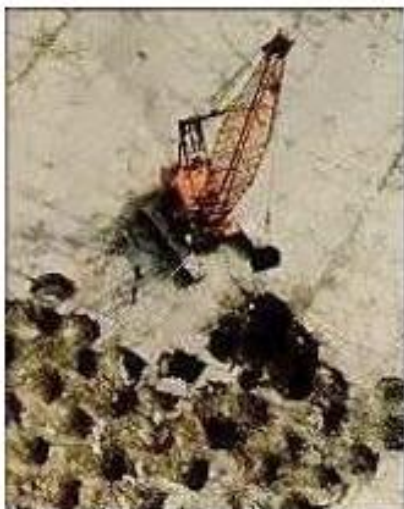
(šljunak, pijesak, prah, glina) s ekološki prihvatljivim vodo-cementnim injekcijskim materijalima, i to je njegoova osnovna prednost. [6]



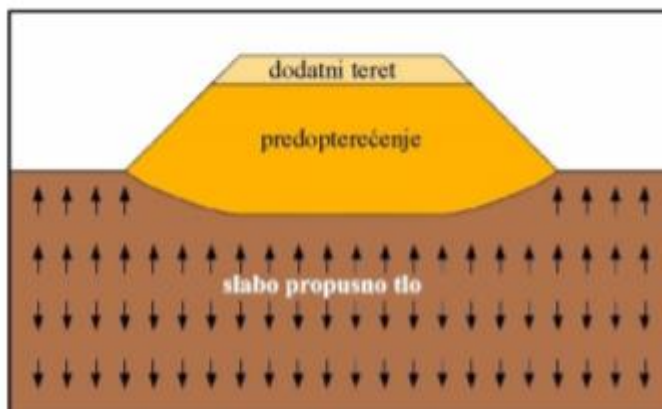
Slika 13. Injektiranje

3.3.2. Zbijanje i predopterećenje

Zbijanje se vrši dinamičkim učinkom građevinskih strojeva na tlo. Pogodna je za organska tla, zasićena stnozrna tla i odlagališta jalovine i komunalnog otpada. Pod ovim pojmom u temeljenju se podrazumijeva posebni način zbijanja tla s površine. Radi se o slobodnom padanju utega težine od 0,6 do 2,0 MN (meganjutn) s visine od 15-25m, koji visi na grani dizalice. Predopterećenje se sastoji u tome da se na prostoru koji je potrebno poboljšati u smislu smanjenja vremena potrebnog za konsolidacijsko slijeganje ispod buduće građevine, nanese teret većeg pritiska na tlo, od pritiska koji će nastati uslijed oslanjanja buduće građevine. Kada se predviđeno slijeganje postigne, predopterećenje se zamjenjuje projektiranom građevinom. [7]



Slika 14. Zbijanje



Slika 15. Predopterećenje

3.3.3. Ojačanje temelja

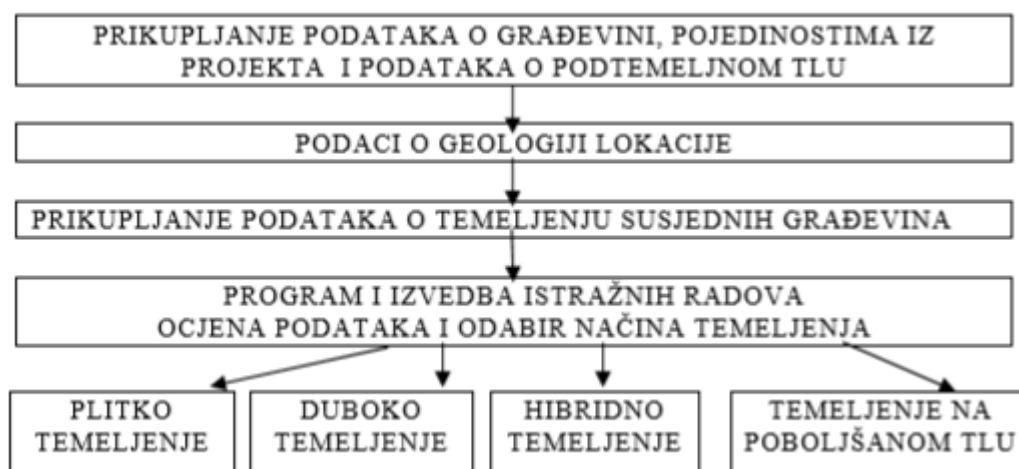
Ako temelji nisu ispravno projektirani, te ukoliko nisu dimenzionirani sukladno pomicanju ili slijeganju tla, odnosno ako njihova podloga nije dobro pripremljena, dolazi do oštećenja zgrade. Ona se najčešće manifestiraju kao pukotine u zidovima i drugim strukturnim elementima. Kada imamo problem sa slijeganjem temelja, to možemo spriječiti na način da temelje podbetoniramo ekspanzijskim betonom koji tijekom skrućivanja povećava svoj volumen. Međutim, ukoliko dođe do nastavka sijeganja temelja, moguće rješenje je iskapanje i podbetoniranje temelja. U tom slučaju, podbetoniranje mora dosezati tako duboko da se oslanja na čvrstu podlogu. Ako je čvrsta podloga preduboko, mora se pribjeći pilotiranju temelja. [8]



Slika 16. Ojačanje temelja

4. NAČINI I UVJETI NJIHOVE UGRADNJE

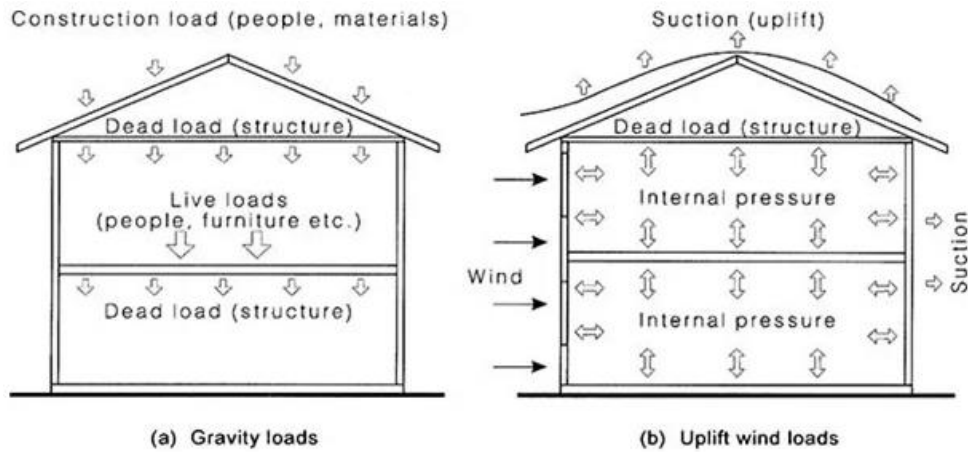
Izbor načina temeljenja može se prikazati dijagramom toka, kao na slici 17. Način temeljenja ovisan je o nizu čimbenika koje je potrebno utvrditi prije projektiranja temelja. U protivnom temeljenje može biti ograničavajući čimbenik u ostvarenju projektirane građevine kako tehnički tako pogotovo ekonomski. Iz tog razloga potrebno je vrlo pažljivo pristupiti radnjama opisanim na slici 17. [7] Postoji jako puno uvjeta o kojima ovisi izbor vrste temelja ali najbitniji od njih su: opterećenje zgrade, konstruktivni sustav zgrade, svojstva i vrsta tla te položaj susjednih građevina. [1] [9]



Slika 17. Postupak projektiranja temeljenja

4.1. Opterećenje zgrade

Opterećenje zgrade je kombinacija tereta same zgrade i uporabnog opterećenja. Količina opterećenja ovisi o vrsti konstrukcije, broju katova i materijalu konstrukcije. Vjetar, snijeg i potres također utječu na opterećenje zgrade. Opterećenje izazvano djelovanjem vjetra ovisi o klimatskom području, visini građevine i izloženosti građevine vjetru. Opterećenje snijegom ovisi o klimatskom području, nadmorskoj visini i nagibu krovišta građevine. Opterećenje od potresa raste porastom visine konstrukcije.



Slika 18. Opterećenje zgrade

4.2. Konstruktivni sustav zgrade

Vrsta konstruktivnog sustava uvjetuje veličinu ukupnih i diferencijalnih slijeganja. Konstruktivni sustav zgrade ne utječe direktno na izbor vrste temelja nego se gleda kako zgrada utječe na samo ponašanje tla. Vrste temelja, ovisno o kakvoći temeljnog tla i vrsti nosive konstrukcije, mogu se podijeliti na sljedeći način: [7]

a) malo stišljiva tla, male deformacije;

NOSIVA KONSTRUKCIJA	VRSTA TEMELJA
građevine na stupovima, rešetke i sl.	temelji samci
građevine sa zidovima, ljsuke i sl.	temeljne trake

b) jače stišljiva, nehomogena tla, veće deformacije;

NOSIVA KONSTRUKCIJA	VRSTA TEMELJA
građevine na stupovima, rešetke i sl.	temeljni nosač
	temeljni roštilj
građevine s nosivim zidovima, ljsuke	temeljni roštilji
	temeljne ploče
zidovi i stupovi, ljsuke, sanduci	temeljni roštilji
	temeljne ploče

c) slabo nosiva i jako stišljiva tla;

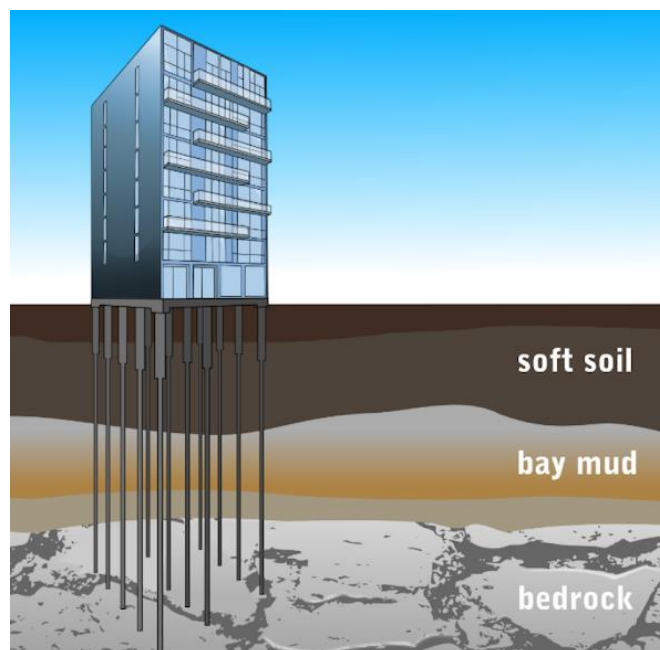
NOSIVA KONSTRUKCIJA	VRSTE TEMELJA
sve vrste građevina osim nasipa	duboko temeljenje hibridno temeljenje
sve vrste građevina i nasipi	temeljenje na poboljšanom tlu

d) temeljenje na tlu različitih osobina;

NOSIVA KONSTRUKCIJA	VRSTE TEMELJA
sve vrste građevina osim nasipa	podtemeljne građevine

4.3. Svojstva i vrsta tla

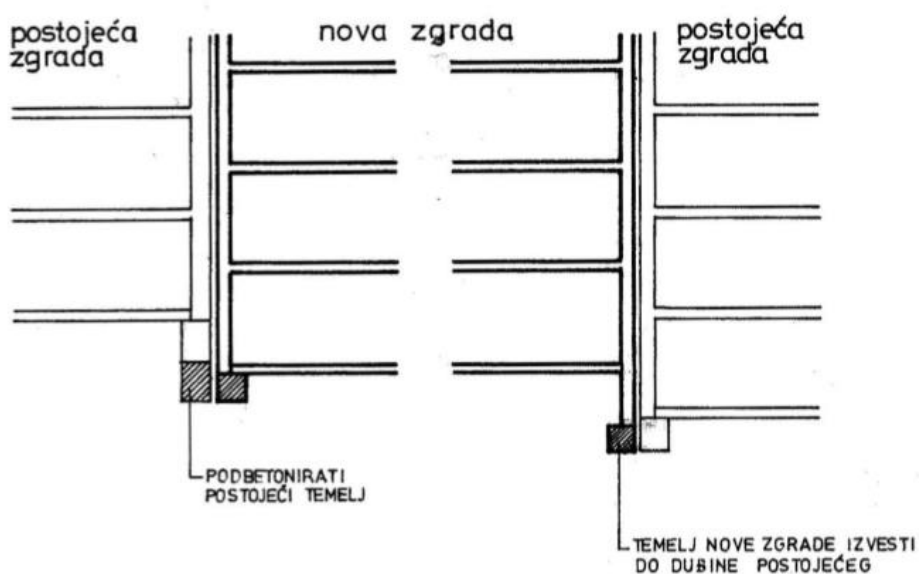
Tlo je mješavina krutih čestica, vlage i zraka. U pravilu čvrstoća tla raste po dubini, ali to nije uvijek slučaj jer je geometrija slojeva tla nepravilna. Tlo u blizini površine naziva se površinskim tlom, a ispod dubine od 30 centimetara naziva se podzemno tlo koje se koristi za temeljenje malih građevina. Kako bi se saznala priroda tla, visina podzemne vode, vrsta tla, dubina različitih slojeva tla i sama nosivost tla za temeljenje provode se geološka ispitivanja tla. Postoje četiri kategorije tla: stijene (monolitne i nemonolitne), nevezana tla (šljunak i pijesak), les (nastao taloženjem) i vezana tla (gline i pjeskovite gline). Uz njih postoje još i nenosiva tla: mulj, humus, razorene stijene, stijene s kosim slojevima, klizišta, nasipana tla. Ukoliko je nosivost tla na površini dostatna za preuzimanje svih opterećenja koje građevina na nju prenosi koriste se plitki temelji. Ako nosivost nije dostatna moraju se koristiti duboki temelji, piloti, kako bi se opterećenja prenijela na nosivo tlo.[9] [10]



Slika 19. Temeljenje u čvrstom tlu

4.4. Položaj susjednih građevina

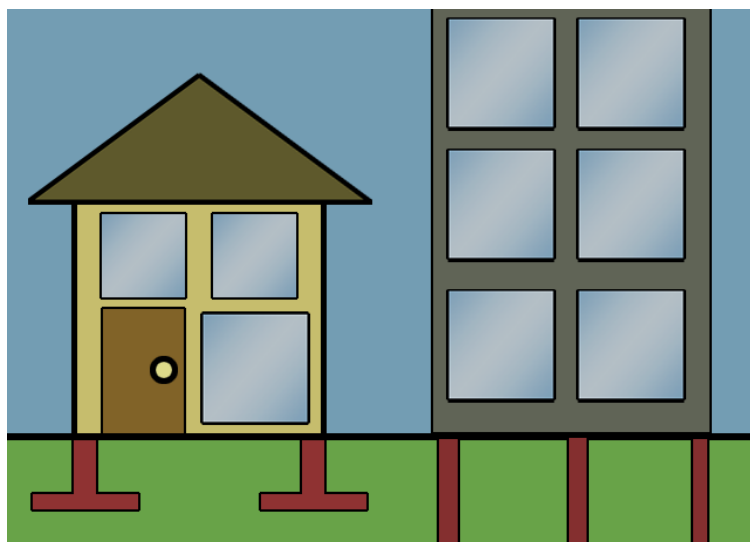
Dubina temeljenja novih zgrada određena je dubinom temeljenja postojećih zgrada s kojim će nova zgrada biti u kontaktu. Nova zgrada se od postojeće treba zaštititi dilatacijom, a samom izvedbom se ne smije narušiti stabilnost postojećih zgrada. [9]



Slika 20. Temeljenje uz postojeću zgradu

5. SUVREMENI NAČINI TEMELJENJA

Pod suvremenim načinima temeljenja smatramo sve vrste temelja koji se danas koriste pri konstrukciji građevina. Tu svrstavamo plitke temelje koji se koriste pri temeljenju manjih obiteljskih kuća pa sve do dubokih temelja korištenih za visoke nebodere. Danas se u temeljenju obiteljskih kuća ili gradnje manjih objekata najčešće susrećemo sa dvije vrste temelja a to su trakasti temelji ili temeljna ploča. Trakasti temelji se vrlo često izvode kod dobre nosivosti tla i kod objekata koji nemaju ukopnih etaža. Ukoliko je tlo slabije nosivosti, kada postoji mogućnost klizanja tla te kod veće prisutnosti vode u tlu koristi se temeljna ploča. Također, one se izvode kod zgrada sa 8 ili više etaža i kad je nosivost tla manja od 150 kPa. [11] U moderno vrijeme sve je veća potreba za izgradnjom visokih zgrada ili nebodera, kako bi se što bolje iskoristilo zemljište u prenatrpanim gradskim središtima. Zbog povećanja visine građevine bilo je nužno razviti nove vrste i tehnologije temeljenja. Super visoke zgrade su zgrade više od 300 metara i one su predstavljale nove izazove inženjerima, posebice u odnosu konstrukcijskog i geotehničkog projektiranja. Visoke zgrade temelje se na pločama, plotima i kombinaciji ploča i pilota, hibridno temeljenje. Temeljenje na ploči se koristi kada je nosivost tla već na malim dubinama dostatna za preuzimanje opterećenja. Često uvjeti tla nisu pogodni za plitki sustav ploče, pogotovo za super visoke zgrade u kojima vertikalna i bočna opterećenja imaju veliki značaj. U tom slučaju koriste se piloti. Oni preuzimaju opterećenja od zgrade i prenose ih u dublje i čvršće slojeve tla. U današnje vrijeme, najčešća korištena metoda temeljenja visokih zgrada je hibridno temeljenje. To je složeni sustav u kojem osim pilota, u prijenosu opterećenja sudjeluje i ploča. [12]



Slika 21. Temelji za kuću i neboder

5.1. Temeljenje trakastim temeljima

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 ukružuju. U uzdužnom smjeru temeljna traka se ponaša kao kontinuirani nosač pod djelovanjem sila od stupova/zidova. [13] Kako se s vremenom stalno povećavaju građevinski standardi tako su i dimenzije temeljnih traka rasle. Nekad su se kuće temeljile na trakastim temeljima vrlo malih dimenzija i često bez armature. Takvi objekti koji su građeni pred više desetaka godina tokom vremena su pokazali manu preslabih temelja i nedostatak armature u njima te su često primjetne pukotine po zidovima a često i pukotine koje se protežu kroz sve etaže. Danas se obavezno ugrađuje armatura u temeljne trake i nastavci armature za vertikalne serklaže i stupove. [14]

a) prednosti trakastih temelja: [14]

- kada je tlo dobre kvalitete i naročito pogodno za uredan iskop temeljne trake se izvode vrlo jednostavno
- građevinskom mehanizacijom moguće je odmah iskopati potrebnu širinu trake
- betoniranje samih traka moguće je i bez oplata
- postižu potrebnu nosivost sa manje betona i armature u odnosu na temelju ploče te su stoga i jeftiniji za izvedbu

b) nedostaci trakastih temelja: [14]

- kod slabije kvalitete tla i različite tlačne nosivosti ispod cijelog objekta, obično dolazi do slijeganja terena što temeljne trake ne mogu ravnomjerno prihvatiti pa se neki dijelovi objekta spuste više nego drugi i tada na zidovima nastaju pukotine
- ako se radi o razvedenim ili kompliciranim objektima iskop temeljnih traka može biti zahtjevan te je rad i vrijeme uloženo u iskop i armiranje često prevelik financijski izdatak u odnosu na rješenje sa temeljnom pločom
- nakon betoniranja temeljnih traka potrebno je još napraviti i nadtemeljne zidove te urediti iskop koji je ostao između njih te nabiti tlo vibronabijačima



Slika 22. Trakasti temelj

5.2. Temeljenje temeljnim pločama

Temeljne ploče predstavljaju plitke temeljne konstrukcije koje se izvode ispod cijele građevine u sljedećim slučajevima: [13]

- 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)

Rastom građevinskih standarda potrebna količina betona za ugradnju u temeljne trake približila se količini betona koja se ugrađuje u temeljne ploče. Ovo je jednostavnija izvedba kod iskopa no prisutno je više armature i betona. Takvo temeljenje je nešto skuplje. Također cijenu povećavaju i neke faze koje se zbog toga izvode prije samog betoniranja temeljenje ploče a to su: [15]

a) Šljunčana podloga i mršavi beton

- Na cijelo dno građevinske jame postavlja se sloj šljunka koji služi da se voda u tlu ne zadržava ispod temeljne ploče. Sloj šljunka je obično debljine do 20cm i potrebno ga je nabiti. Na taj sloj nanosi se sloj tzv. mršavog betona, što je beton slabije kvalitete (MB15 - MB20) koji će poslužiti kao podloga za hidroizolaciju

b) Hidroizolacija

- Mršavi beton služi kao osnova za nanos hidroizolacije ispod cijele temeljene ploče. Danas se sve više primjenjuje dodavanje aditiva za vodonepropusnost u sam beton

c) Oplata

- Vrlo često je za izvedbu temeljne ploče potrebno postaviti oplatu. Postoje varijante kada građevinski iskop dozvoljava betoniranje u samom tlu, no to se izvodi kod velikih objekata i kad su debljine betona u temeljima velike, npr. više od 2m

d) Debljina temeljne ploče

- O ukupnoj debljini nije moguće govoriti općenito. Projektant statičar će odrediti potrebnu debljinu i armaturu pri čemu će mu značajno pomoći geomehaničko ispitivanje tla. Ovako okvirno možemo napisati da se manji i lakši objekti mogu graditi na temeljnim pločama koje nisu deblje od 25cm. Ovo je dovoljna debljina za garaže ili lagane montažne objekte. Uobičajene debljine za obiteljske kuće kreću se od 40cm na više

e) Armatura

- Količina armature u temeljnoj ploči je veća od količina koje se ugrađuju u temeljene trake. No veća količina armature znači i veću nosivost i otpornost

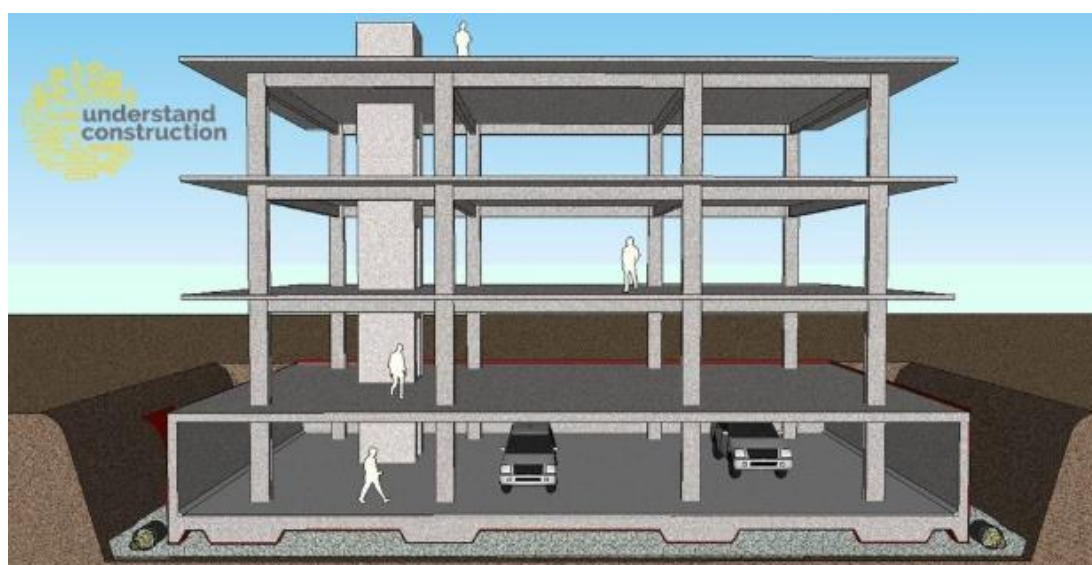
U odnosu na temeljne trake temeljna ploča je u prednosti u nosivosti, kvaliteti temelja i činjenici da je ona odmah i osnovna ploča za najdonju etažu. Vrlo rijetko će se desiti deformacije objekta ili pukotine po zidovima. Slijeganje tla ova vrsta temelja dobro podnosi jer je pritisak na tlo ravnomjeren na cijeloj plohi. Jedini nedostatak u odnosu na temeljene trake je cijena. [15]



Slika 23. Temeljna ploča

5.3. Temeljenje na velikoj temeljnoj ploči

Temeljenje na velikoj temeljnoj ploči koristi se jedino u slučaju kada je moguće oslanjanje na čvrsto temeljno tlo blizu površine. Često se koristi kod zgrada koje zadrže podzemne parkinge ili podrume. Tlo se iskopava kako bi se pronašlo kompaktno i čvrsto temeljno tlo, a ono je najčešće nekoliko metara ispod razine tla. To je tlo mnogo jače od rastresitog tla na površini. Ovakav način temeljenja je efektivniji za zgrade umjerene visine jer se korištenjem ovog temelja često neće moći postići adekvatna otpornost na naprezanja koja djeluju na zgradu. Njihova duljina i širina su relativno velikih dimenzija stoga vertikalna nosivost temelja uglavnom nije presudna u njihovom dizajnu. [16]



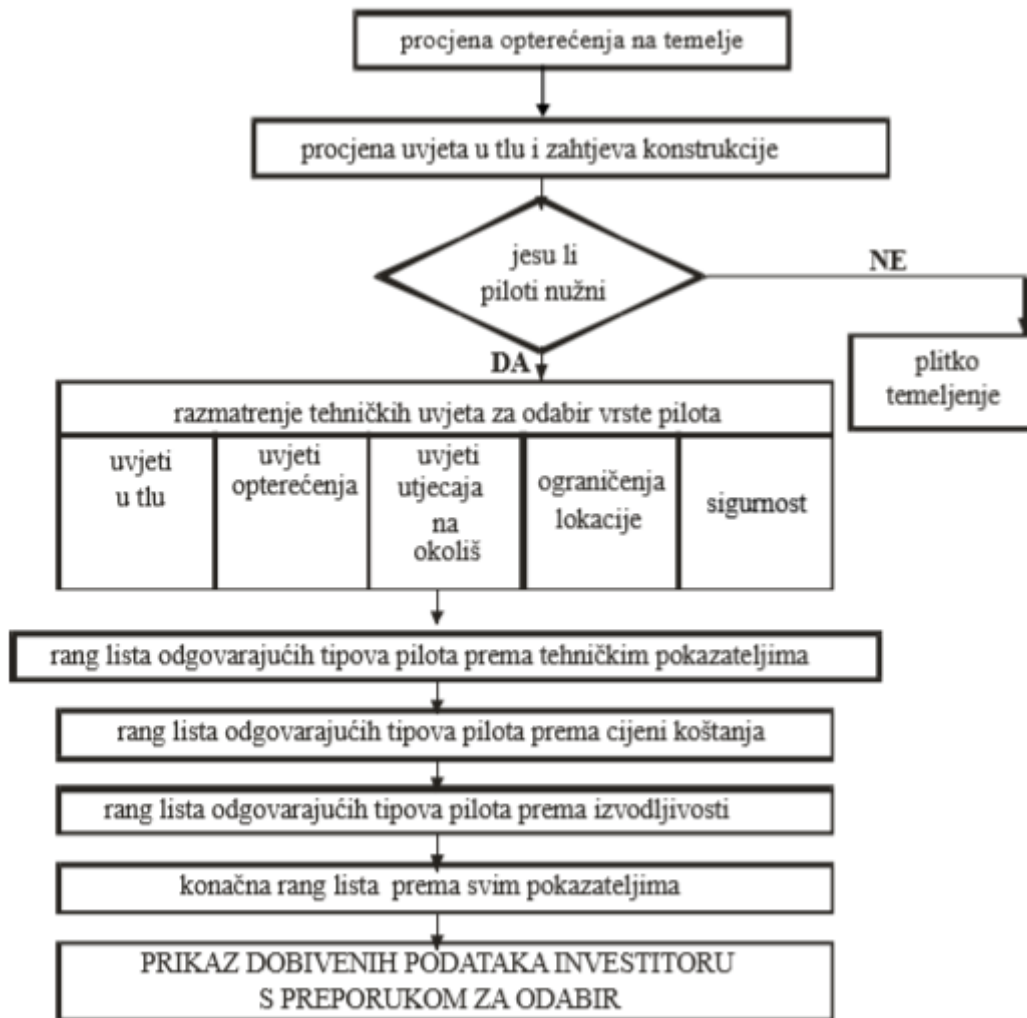
Slika 24. Temeljenje na velikoj ploči

5.4. Temeljenje na pilotima

Piloti su najstarija vrsta dubokog temeljenja, kod kojih je dužina bitno veća od poprečnog presjeka. Predstavljaju stupove koji silu s građevine prenose duboko u tlo. Mogu djelovati kao pojedinačni ili u grupi, ali češća je njihova primjena u grupi. Najčešća je podjela pilota prema prijenosu sile. Prema prijenosu sile razlikuju se:

- piloti koji nose na vrh;
- piloti koji nose isključivo trenjem po plaštu (lebdeći piloti);
- piloti koji nose na vrh i trenjem po plaštu

U nastavku je dan dijagram toka odlučivanja pri odabiru vrste pilota prema preporukama Ureda za geotehničko inženjerstva, Građevinskog odjela, Gradske uprave Hong Konga (GEO 96). [7]



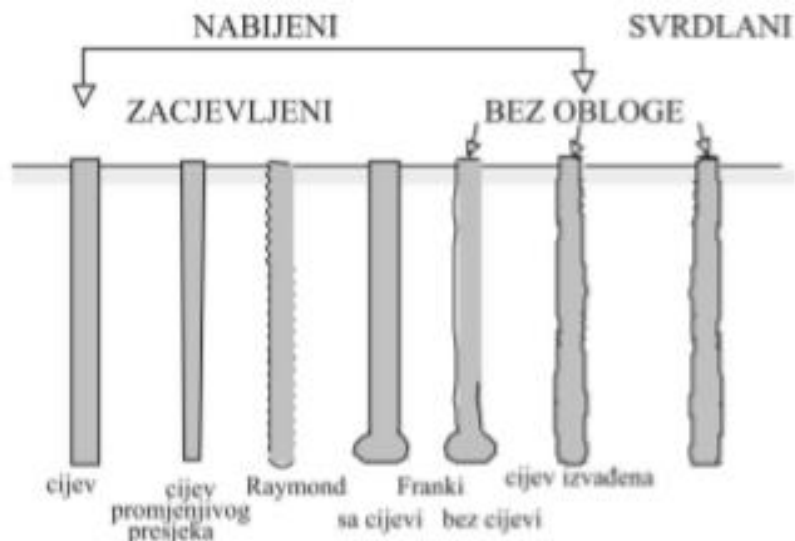
Slika 25. Dijagram toka odlučivanja pri odabiru vrste pilota

5.4.1. Podjela pilota prema načinu izvođenja

Ovo je podjela prema tehnologiji izvedbe. Kod ove podjele težište je na tehnologiji i načinu izvedbe, a ne toliko na utjecaju na okolno tlo u kojem se piloti izvođe. Piloti se klasičnim tehnologijama izvođe kao:

- zabijeni
- utisnuti
- kopani

Kada su malog promjera izvođe se kao zabijeni, nabijeni, utisnuti i svrdlani. Zabijeni, nabijeni i utisnuti piloti prilikom izvedbe izazivaju razmicanje tla u prostoru u kojem se izvođe pa spadaju, prema prethodnoj podjeli, u pilote koji razmiču tlo. To ne vrijedi onda kada se zabijaju čelični profili ili cijevi s otvorenim dnom. Piloti se često koriste za temeljenje u vodi. Tada dio pilota, koji izlazi iz tla i prolazi kroz vodu, ujedno služi kao stup. [7]



Slika 26. Primjeri pilota manjih i srednjih promjera

5.4.2. Podjela pilota prema vrsti gradiva

Prema vrsti gradiva razlikujemo drvene, čelične, betonske i armirano-betonske pilote. Drveni piloti su najstarija vrsta pilota po gradivu. Danas se u Europi koriste malo, ali su u SAD još uvijek u upotrebi u znatnim količinama. Čelični piloti mogu biti različitih oblika i različito utjecati na razmicanje okolnog tla. Ovi piloti se ne preporučuju kao trajna vrsta temelja zbog

korozije, iako su im sve druge osobine vrlo povoljne. Betonski piloti izvedeni su na licu mjesta. Ovi piloti nemaju armature. Može ih se koristiti samo onda kada nisu opterećeni na savijanje. Često se koriste u grupi kao poboljšanje temeljnog tla. Postoje dvije vrste armirano-betonskih pilota a to su predgotovljeni i piloti izvedeni na licu mjesta. Predgotovljenima je mana ograničenje dužine kako prilikom prijevoza tako i prilikom ugradnje. Teško ih je nastavljati, a i višak dužine predstavlja poteškoću. Danas se najčešće izvode piloti armirano-betonski piloti izvedeni na licu mjesta. Prostor za pilote može se izvesti nabijanjem, zabijanjem, bušenjem i kopanjem. Ugrađuju se na licu mjesta pa se dužina koševa može prilagoditi potrebama na terenu. Betoniraju se također na licu mjesta, a način ugradnje betona ovisi o vrsti tehnologije izvođenja. [7]

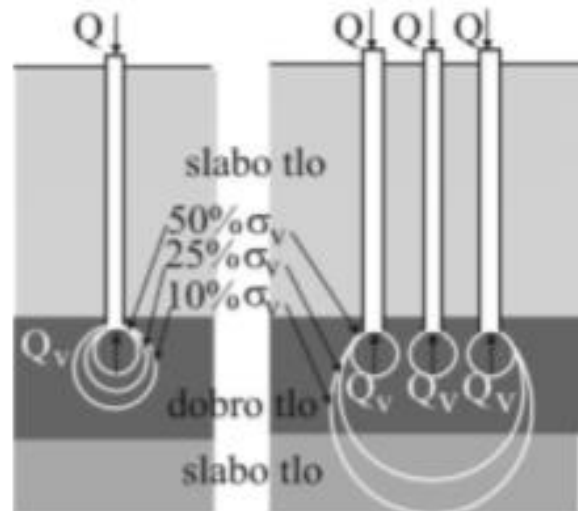


Slika 27. Armirano- betonski piloti

5.4.3. Grupe pilota

Kada se iz razloga nosivosti mora izvesti više pilota da bi se preuzelo vanjsko opterećenje, govori se o grupi pilota. Grupa pilota može biti slobodno stojeća, s naglavnicom koja ne dodiruje tlo i vezana s temeljnim blokom koji leži na tlu. Zbog utjecaja preklapanja dodatnih naprezanja koje grupa prenosi u tlo, utjecaj grupe pilota seže daleko dublje od utjecaja pojedinog pilota. Iz tog razloga potrebno je poznavati svojstva tla na većoj dubini ispod grupe

pilota nego, ispod pojedinog pilota. Ti su podaci potrebni za ispravan proračun nosivosti i slijeganja grupe. [7]



Slika 28. Dubina utjecaja dodatnih naprezanja

Odnos dubine pilota i veličine tlocrta temelja, bitan je za preraspodjelu dodatnih naprezanja po dubini. Da bi piloti izvršili svoju zadaću prijenosa dodatnih naprezanja u dublje slojeve tla, potrebno je da budu dublji od barem dvostruke širine temelja koji na njima leži. Ukoliko je dubina pilota manja od širine temelja, učinak pilota je neznatan. Oni tada mogu poslužiti jedino da premoste površinske, loše slojeve malih debljina.

5.4.4. Vrste i načini izvođenja pilota

Piloti, kao nosiva podloga građevinama kroz stoljeća, više su napredovali u posljednjih 150 godina nego u nekoliko gotovo desetaka stoljeća prije toga. Tome je doprinio razvoj motora na parni pogon i Diesel motora koji pokreću sve snažnije strojeve koji služe za različite tehnologije izvedbe pilota. Danas se najčešće izvode zabijeni i kopani piloti. [7]

a) Zabijeni piloti

To su svi oni piloti, koji se kao gotovi stupovi na gradilištu zabijaju u tlo pomoću najrazličitijih vrsta nabijača. Veličina im je najčešće ograničena mogućnostima prijevoza i strojeva na gradilištu. U principu se koriste kao piloti manjih profila (do 0,5 m) i mikropiloti. Piloti se danas ugrađuju stojnim nabijačima i vibro nabijačima.



Slika 29. Zabijanje pilota pomoću vibro-glave

Zabijanjem se mogu izvoditi sve vrste pilota (drveni, čelični i armirano-betonski). Veće grupe pilota zabijaju se uvijek takvim redoslijedom da se prvo zabiju oni u sredini a zatim se zabijaju piloti bliži vanjskom rubu tlocrta. Na ovaj se način smanjuje utjecaj zbijanja tla koji bi otežao zabijanje pilota. Mana predgotovljenih armirano betonskih zabijenih pilota je što imaju unaprijed određenu duljinu. Stoga ih je vrlo teško ili gotovo nemoguće nastavljati, a i smanjenje dužine nije jednostavno. Kod čeličnih i drvenih pilota, promjena dužine je relativno jednostavna.[7]

b) Kopani piloti

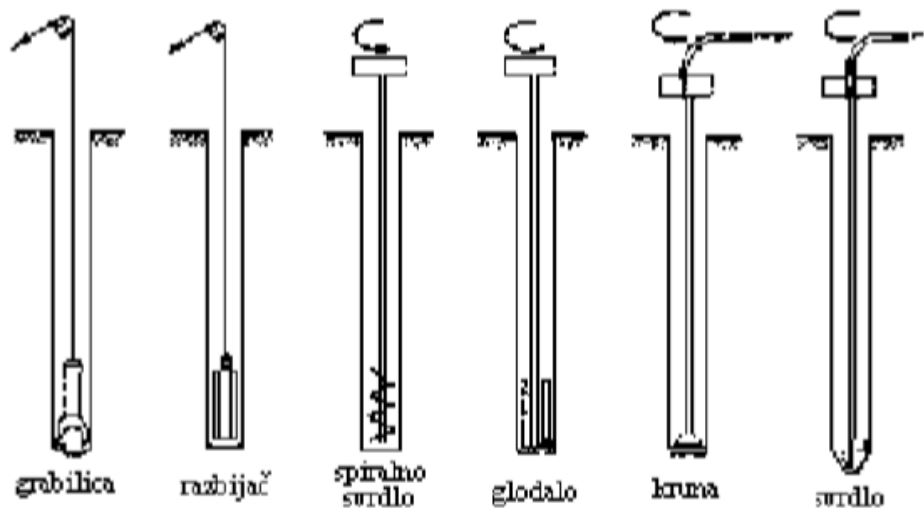
Pogodni su za prijenos velikih osnih i poprečnih opterećenja. Koriste se za izvedbe većih promjera, od 0,6m na više. Moguće je pilot nastaviti u slobodni prostor kao stup. Pogodni su i za izvođenje u dubokoj vodi. Mogu se izvoditi s proširenom glavnom. Mogu biti samci i u grupi.

Izvede se na sljedeći način:

- 1) Do projektirane dubine izvede se iskop tla;
- 2) U tako pripremljenu šupljinu se ugradi armatura;
- 3) Kroz armaturni koš se ugradi beton kontraktor postupkom.

Armatura se može raditi na licu mjesta – na gradilištu ili u pogonu – armiračnici.

Kopani piloti pogodni su za izvedbu pri kojoj je potrebno da vrh pilota uđe u površinski sloj stijene jer takva tehnologija omogućuje razbijanje površinskog sloja stijenske mase. Ukoliko je pilot ušao u stijensku masu približno 1,5 dužine vlastitog promjera, može se smatrati da je na vrhu moguće ostvariti upetost. Ova činjenica može pomoći pri statičkom proračunu temeljenja na pilotima. Iskop tla obavlja se grabilicom, a u nekim je vrstama tla moguć iskop svrdlom.



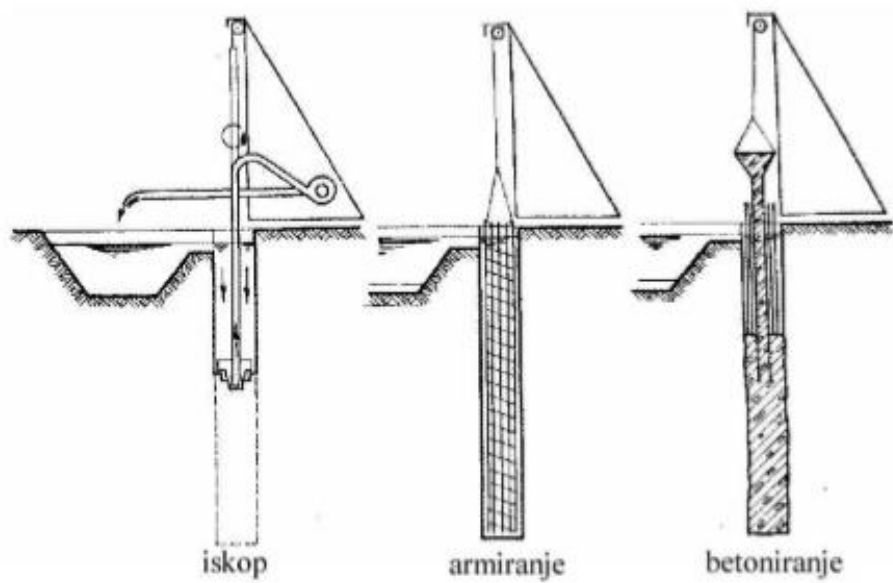
Slika 30. Vrste grabilica i razbijača za izvedbu kopanih pilota



Slika 31. Shema iskopa svrdlom

Armiranje ovih pilota izvodi se tako da se u gotovu bušotinu ugradi na površini izrađeni armaturni koš. Betoniranje se kod svih bušenih i kopanih pilota vrši na isti način. Beton se pomoću cijevi ugrađuje u dno bušotine. Kako se bušotina puni, cijev se vadi na način,

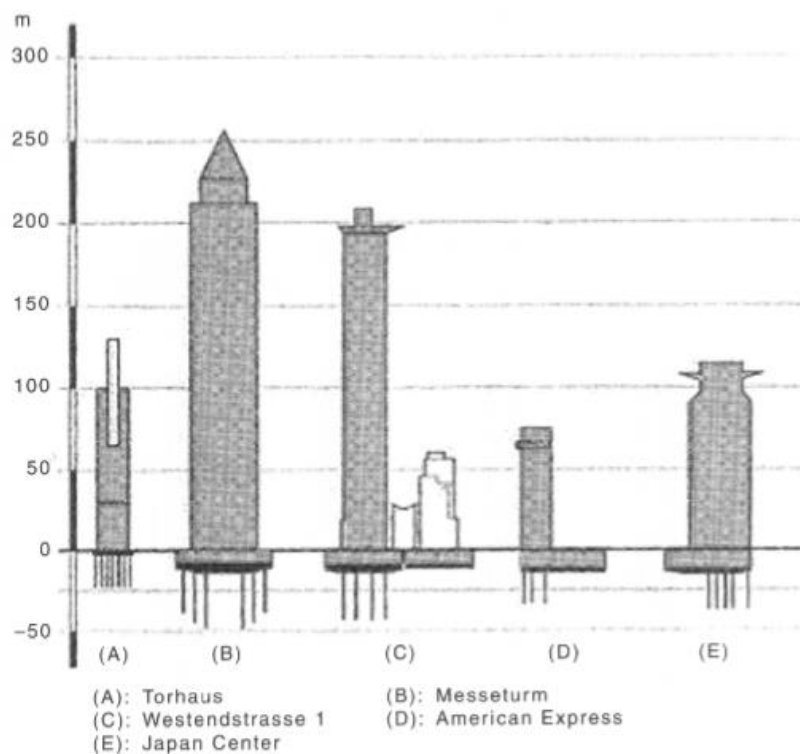
da uvijek ostaje barem 1,0 m u svježem betonu. Ovo je vrlo važno stoga što svježi beton gura ispred sebe nečistoće, vodu i glinobetonu isplaku. [7]



Slika 32. Izrada pilota kontraktor postupkom

5.5. Hibridno temeljenje

To je vrsta temeljenja u kojem opterećenja od građevine u tlo prenosi ploča potpomognuta pilotima. Ovaj način temeljenja pod nazivom „piled raft“ pojavio se početkom 80-tih godina prošlog stoljeća zbog toga što su izuzetno visoke i teške građevine pokazala potrebu za sve složenijim temeljenjem. Koristi se za građenje na tlima koja nisu naročito pogodna za temeljenje s obzirom na dugotrajno, konsolidacijsko slijeganje. U literaturu najčešće spominjane građevine, temeljene na ovaj način, su niz visokih zgrada u središtu Frankfurta u Njemačkoj.



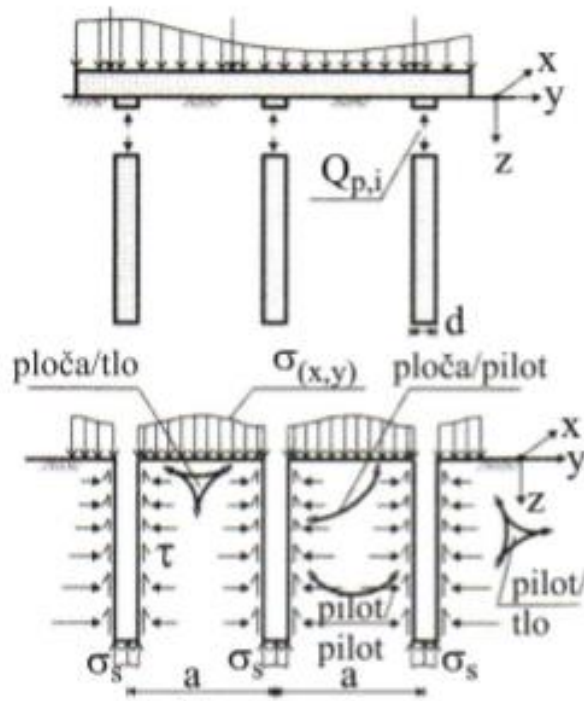
Slika 33. Neboderi u Frankfurtu na hibridnim temeljima

Hibridno temeljenje je sustav u kojem piloti i ploča zajedno nose opterećenja kojima su podvrgnuta. To značajno utječe pilote pa zbog djelovanja ploče možemo smanjiti njihov broj. Broj pilota ovisi i o terenu na kojem se temelji. U području čvrstog tla smanjuje se broj pilota, a u tlima na kojima se čvrsto tlo nalazi tek na određenoj dubini povećava se broj pilota. Uz to povećava se i njihova dužina i širina. [7]

Prednosti hibridnih temelja: [16]

- pošto piloti više ne moraju preuzimati cijelo opterećenje konstrukcije možemo reducirati njihov broj i tako uštediti na troškovima izgradnje temelja

- diferencijalno slijeganje je kontrolirano postavljanjem pilota ispod nosive ploče
- mogu se koristiti piloti različitih dužina i promjera
- velika nosivost i manje slijeganje



Slika 34. Prijenos opterećenja u hibridnim temeljima

Prijenos opterećenja odvija se preko ploče koja prenosi opterećenja konstrukcije na pilote i tlo, čime se povećavaju horizontalna naprezanja u tlu. Piloti prenose opterećenje izravno na dobro nosivo tlo, ali i na okolno pomoću trenja. [7]

6. PRIMJERI SUVREMENIH NAČINA TEMELJENJA

6.1. Samsung Tower Palace [17]

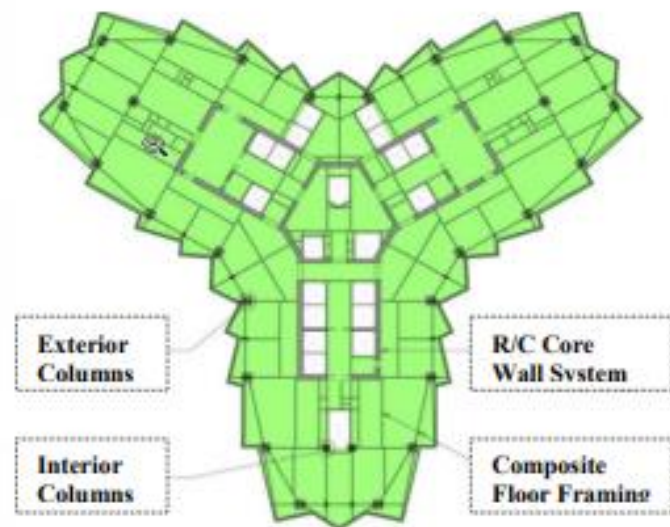


Slika 35. Tower Palace Three, Tower G

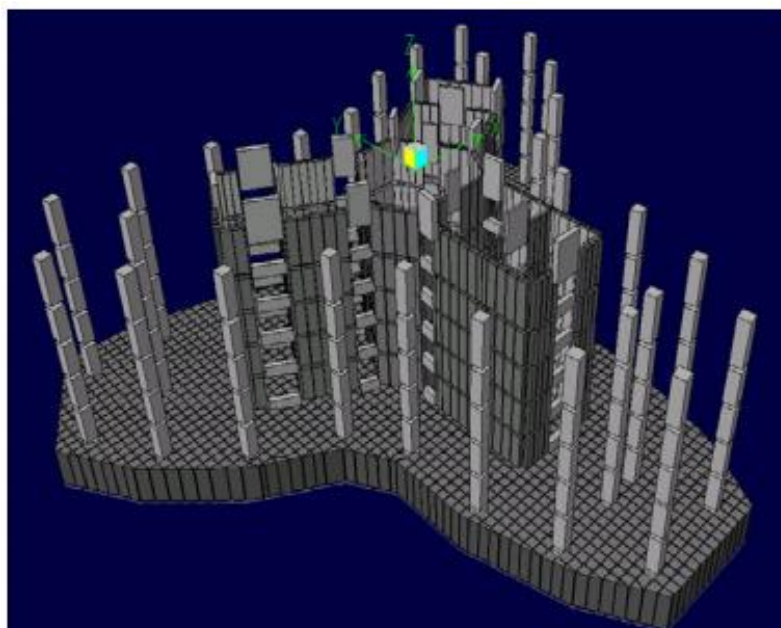
- Lokacija: Seoul, South Korea
- Godina izgradnje: 2004.
- Arhitekt: Skidmore, Owings & Merrill LLP; Samoo Architects & Engineers
- Projektant: Skidmore, Owings & Merrill LLP; Samoo Architects & Engineers
- Izvođač: Samsung C&T Corporation
- Visina: 263,7 m
- Broj katova: 73

- Način temeljenja: **Temeljenje na velikoj temeljnoj ploči**

Zgrada je temeljena na 3500 mm debeloj armirano-betonskoj ploči koja leži na betonskoj posteljici izvedenoj na stijeni. Kvaliteta i mehaničke karakteristike stijene variraju na određenim djelovima stijene zbog postojanja brojnih rasjeda i zona smicanja. Njihova prisutnost uzrokovala je zabrinutost projektanata zbog ponašanja takvog sustava temeljenja u tlu. Geotehnički inženjerski radovi su pokazali da su ove greške u tlu neaktivne. Analizom temeljne ploče pretpostavilo se da će slijeganje biti oko 15 mm, ali naknadno istraživanje zgrade pokazalo je da je slijeganje manje od predviđenog. [18]



Slika 36. Tlocrt temelja Tower Palace Three



Slika 37. 3D model temelja Tower Palace Three

6.2. Incheon 151 Tower [19]

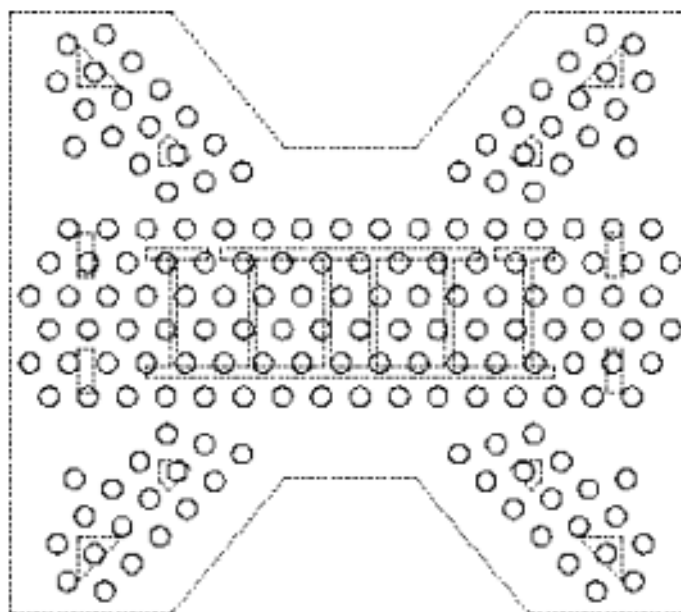


Slika 38. Incheon 151 Tower

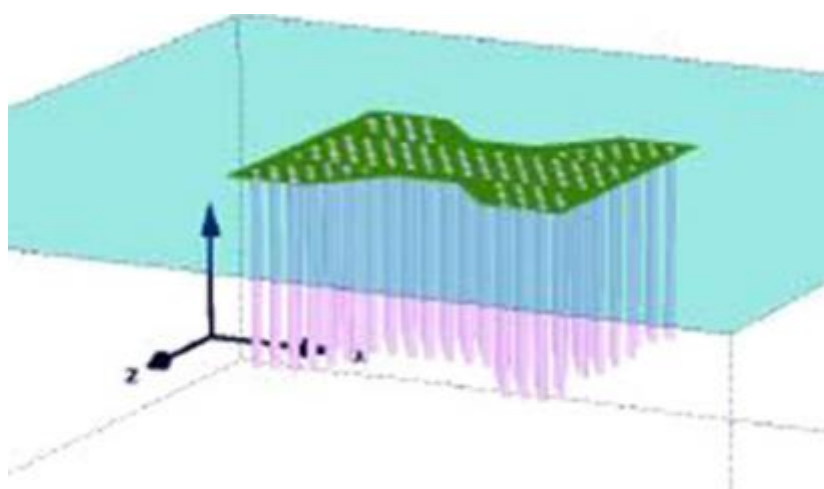
- Lokacija: Incheon, South Korea
- Godina izgradnje: u izgradnji, 2024. planiran završetak
- Arhitekt: John C. Portman, Jr.
- Projektant: Thornton Tomasetti
- Izvođač: Hyundai Engineering and Construction
- Visina: 710 m
- Broj katova: 151

- Način temeljenja: **Temeljenje na pilotima**

Zgrada Incheon 151 Tower temeljena je na pilotima. Broj, izgled i veličina pilota odabrana je nakon geotehničkih istraživanja. Kod ovog temelja piloti prenose opterećenje izravno na dobro nosivo tlo, ali i na okolno pomoću trenja. Ta dva oblika prenosa opterećenja bili su glavni uslov za odabir dužine pilota kako bi oni pružili dovoljnu nosivost. Temeljna ploča debljine je 5.5 m i temeljena je na dubini od 8.7 m. Cijelo opterećenje preuzima 172 pilota od ojačanog betona širine 2.5 m. Dubina im varira, stoga imamo pilote koji zadiru 5 m u dubinu i one koje zadiru više od 50 m. [16]



Slika 39. Tlocrt temelja Incheon 151 Tower-a



Slika 40. 3D model temelja Incheon 151 Tower-a

6.3. Japan Center [20]



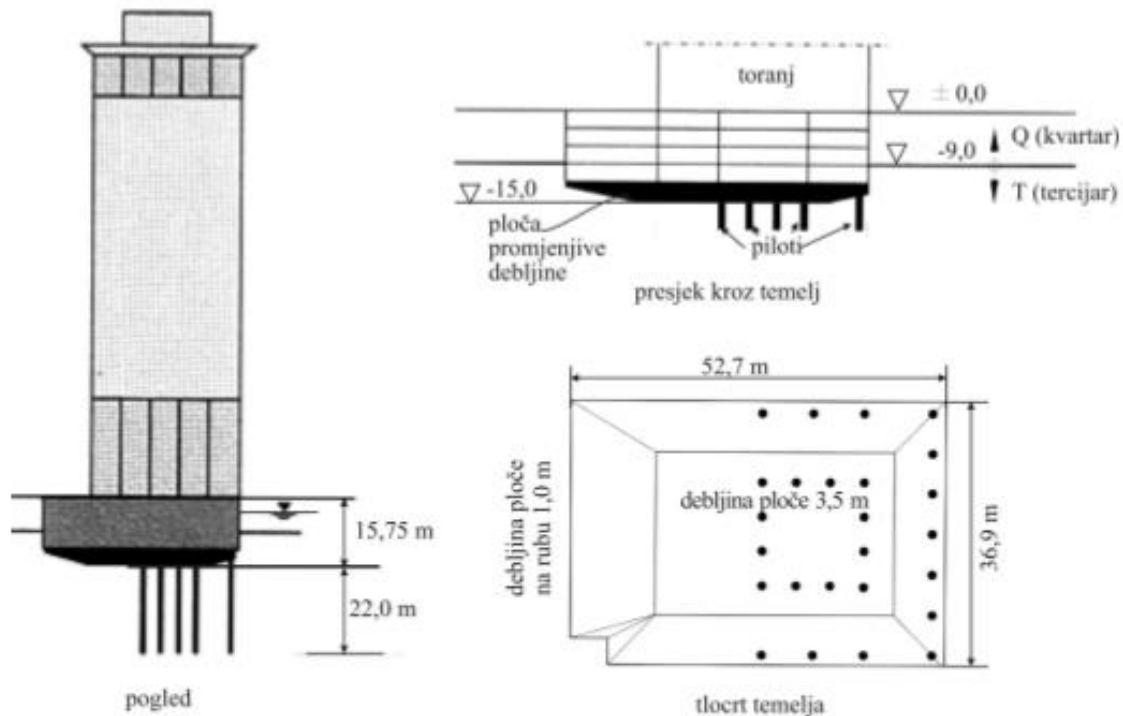
Slika 41. Japan Center

- Lokacija: Frankfurt na Majni, Njemačka
- Godina izgradnje: 1996.
- Vlasnik: Jowa-Kosan Co. Ltd.
- Arhitekt: Joachim Ganz, Walter Rolfes
- Visina: 115 m
- Broj katova: 27
- Korisna površina: 33,700 m²

- Način temeljenja: **Hibridno temeljenje**

Temeljno tlo na kojem je izvršeno temeljenje je morski sediment svojstava prekonsolidirane gline, poznat kao Frankfurtska glina, nastala taloženjem u Mainz bazenu u tercijaru. Naslage gline deblje su od 100 m s proslojcima vapnenaca, lećama lignita i vapnenačkog pijeska.

Razina podzemne vode je na razini površine glinenog sloja a vodonosnik se nalazi u raspucalim slojevima vapnenca i lećama pijeska s različitim pornim pritiscima.



Slika 42. Osnovni dijelovi temeljenja Japan centra u Frankfurtu

Podzemni dio građevine – garaže, izlazi jednostrano izvan gabarita tornja. Nastaje lik L oblika. Dio temelja ispod tornja neusporedivo je više opterećen nego dio ispod garaža izvan tornja. Smisao hibridnog temeljenja je bila izbjeći dilataciju između niskog i visokog dijela građevine. Ekscentrično, ispod tornja, postavljeno je svega 25 pilota promjera 1,3 m, dužine 22m. Temeljna ploča je promjenjive krutosti, tj. debljine. Na području pilota je debela 3,5 m a na rubu – kraju niskog objekta svega 1,0 m. Ukupno opterećenje iznosi oko 900 MN.

Primjer pokazuje da hibridno temeljenje daje mogućnost ekonomičnog temeljenja u vrlo složenim uvjetima. I u ovom slučaju se pokazuje kako su krutosti pojedinih dijelova temelja ali i same građevine, ključni za ekonomična rješenja općenito, pa tako i hibridnog temeljenja.

[7]

7. ZAKLJUČAK

Najčešće korištene vrste temeljenja kod manjih građevina poput obiteljskih kuća su temeljne trake i ploče. Kod većih građevina poput nebodera javljaju se veća naprezanja i zbog toga za koriste velike temeljne ploče, piloti i hibridno temeljenje. Na odabir vrste i načina temeljenja utječu mnogi faktori od kojih su najznačajniji: opterećenje zgrade, konstruktivni sustav zgrade, svojstva i vrsta tla i položaj susjednih građevina. Danas su elementi temelja najčešće betonski ili armiranobetonski. Uspješnim temeljom možemo smatrati temelj koji sigurno i ekonomično prenosi opterećenja u tlo uz zadovoljenje niza uvjeta koje nameće vrsta, svrha i životni vijek konstrukcije, svojstva temeljnog tla i raspoloživa sredstva za izvođenje temelja. Temeljenje smatramo jednom od najvažnijih faza u gradnji pa su tako i temelji jedni od najbitnijih dijelova građevine.

8. LITERATURA

IZVORI:

- [1] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Temelj>, 23.08.2019.
- [2] https://www.researchgate.net/publication/298921324_Review_of_historical_buildings'_foundations, 01.09.2019.
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Concrete>, 01.09.2019.
- [4] <https://en.wikipedia.org/wiki/Steel>, 02.09.2019.
- [5] https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/10._Predavanje_MT.pdf, 02.09.2019.
- [6] <https://www.geotech.hr/mlazno-injektiranje/>, 03.09.2019
- [7] https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf, 03.09.2019.
- [8] https://www.emajstor.hr/clanak/105/Sanacija_temelja, 03.09.2019.
- [9] https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/01_02_-_uvod_temelji_-_2017.pdf, 04.09.2019.
- [10] <https://theconstructor.org/geotechnical/factors-affecting-selection-of-foundation-for-buildings/10504/>, 04.09.2019.
- [11] <https://pravimajstor.hr/opcenito-o-temeljima>, 04.09.2019.
- [12] <http://www.geomarc.it/Poulos%202016a.pdf>, 04.09.2019.
- [13] <https://www.geotech.hr/plitko-temeljenje/>, 05.09.2019.
- [14] <https://pravimajstor.hr/trakasti-temelji>, 05.09.2019.
- [15] <https://pravimajstor.hr/temeljna-ploca>, 05.09.2019.
- [16] <http://www.geomarc.it/Poulos%202016a.pdf>, 05.09.2019.
- [17] <http://www.skyscrapercenter.com/building/tower-palace-three-tower-g/733>, 11.09.2019.
- [18] <http://global.ctbuh.org/resources/papers/download/317-integration-of-design-and-construction-of-the-tallest-building-in-korea.pdf>, 11.09.2019.
- [19] https://en.wikipedia.org/wiki/102_Incheon_Tower, 11.09.2019.
- [20] https://de.wikipedia.org/wiki/Japan_Center, 11.09.2019.

SLIKE:

Slika 1. Osnovni pojmovi kod temelja (izvor:

https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)

Slika 2. Temeljenje na kamenu (izvor:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Foundation_\(engineering\)#/media/File:Hórreo_tipo_asturiano,_O_Piornedo,_Cervantes.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Foundation_(engineering)#/media/File:Hórreo_tipo_asturiano,_O_Piornedo,_Cervantes.jpg))

Slika 3. Temeljenje na drvenim stupovima (izvor:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Foundation_\(engineering\)#/media/File:PSM_V24_D321_A_primitive_lake_dwelling_in_switzerland.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Foundation_(engineering)#/media/File:PSM_V24_D321_A_primitive_lake_dwelling_in_switzerland.jpg))

Slika 4. Klasifikacija temelja (izvor:

[https://www.grad.unizg.hr/download/repository/Temeljenje-Uvod\[1\].pdf](https://www.grad.unizg.hr/download/repository/Temeljenje-Uvod[1].pdf))

Slika 5. Temelj samac (izvor:

https://www.grad.unizg.hr/download/repository/01_02_-_uvod_temelji_-_2017.pdf)

Slika 6. Temeljna traka (izvor:

https://www.grad.unizg.hr/download/repository/01_02_-_uvod_temelji_-_2017.pdf)

Slika 7. Temeljni roštilj (izvor:

https://www.grad.unizg.hr/download/repository/10_Predavanje_MT.pdf)

Slika 8. Temeljna ploča (izvor:

https://www.grad.unizg.hr/download/repository/10_Predavanje_MT.pdf)

Slika 9. Piloti (izvor:

https://www.grad.unizg.hr/download/repository/01_02_-_uvod_temelji_-_2017.pdf)

Slika 10. Bunar (izvor:

https://www.grad.unizg.hr/download/repository/01_02_-_uvod_temelji_-_2017.pdf)

Slika 11. Keson (izvor:

https://www.grad.unizg.hr/download/repository/01_02_-_uvod_temelji_-_2017.pdf)

Slika 12. Kombinirani (hibridni) temelj (izvor:

https://www.grad.unizg.hr/download/repository/01_02_-_uvod_temelji_-_2017.pdf)

Slika 13. Injektiranje (izvor:

<http://gradst.unist.hr/Portals/9/docs/katedre/Geotehnika/DSG%20Geotehnicke%20gradjevine/1-Prikaz%20tehnologije%20mlazno.pdf>)

Slika 14. Zbijanje (izvor:

https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)

Slika 15. Predopterećenje (izvor:

https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)

- Slika 16. Ojačanje temelja (izvor: https://www.emajstor.hr/clanak/105/Sanacija_temelja)
- Slika 17. Postupak projektiranja temeljenja (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)
- Slika 18. Opterećenje zgrade (izvor: <https://theconstructor.org/geotechnical/factors-affecting-selection-of-foundation-for-buildings/10504/>)
- Slika 19. Temeljenje u čvrstom tlu (izvor: <https://www.kpstructures.in/2018/09/what-is-shallow-and-deep-foundation.html>)
- Slika 20. Temeljenje uz postojeću zgradu (izvor: https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/01_02_-_uvod_temelji_-_2017.pdf)
- Slika 21. Temelji za kuću i neboder (izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Temelj#/media/Datoteka:Mock_foundations_for_House_and_Apartment.png)
- Slika 22. Trakasti temelj (izvor: <https://pravimajstor.hr/trakasti-temelji>)
- Slika 23. Temeljna ploča (izvor: <https://hr.masinealati.rs/temeljna-ploca-2975>)
- Slika 24. Temeljna ploča (izvor: <http://www.understandconstruction.com/raft-foundations.html>)
- Slika 25. Dijagram toka odlučivanja pri odabiru vrste pilota (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)
- Slika 26. Primjeri pilota manjih i srednjih promjera (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)
- Slika 27. Armirano- betonski piloti (izvor: <http://www.rogotin.hr/2016/05/12/57-milijuna-kuna-42-pilota-400-tona-celicne-konstrukcije-uskoro-ulaz-u-ploce/#prettyPhoto>)
- Slika 28. Dubina utjecaja dodatnih naprezanja (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)
- Slika 29. Zabijanje pilota pomoću vibro-glave (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)
- Slika 30. Vrste grabilica i razbijača za izvedbu kopanih pilota (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)
- Slika 31. Shema iskopa svrdlom (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)
- Slika 32. Izrada pilota kontraktor postupkom (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)
- Slika 33. Neboderi u Frankfurtu na hibridnim temeljima (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)

Slika 34. Prijenos opterećenja u hibridnim temeljima (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)

Slika 35. Tower Palace Three, Tower G (izvor: <http://www.skyscrapercenter.com/building/tower-palace-three-tower-g/733>)

Slika 36. Tlocrt temelja Tower Palace Three (izvor: <http://global.ctbuh.org/resources/papers/download/317-integration-of-design-and-construction-of-the-tallest-building-in-korea.pdf>)

Slika 37. 3D model temelja Tower Palace Three (izvor: <http://global.ctbuh.org/resources/papers/download/317-integration-of-design-and-construction-of-the-tallest-building-in-korea.pdf>)

Slika 38. Incheon 151 Tower (izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/102_Incheon_Tower)

Slika 39. Tlocrt temelja Incheon 151 Tower-a (izvor: <http://www.geomarc.it/Poulos%202016a.pdf>)

Slika 40. 3D model temelja Incheon 151 Tower-a (izvor: <http://www.geomarc.it/Poulos%202016a.pdf>)

Slika 41. Japan Center (izvor: https://de.wikipedia.org/wiki/Japan_Center)

Slika 42. Osnovni dijelovi temeljenja Japan centra u Frankfurtu (izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/486433.Duboko_temeljenje_i_poboljanje_temeljnog_tla.pdf)