

Tehnologija ojačanja temelja kod obnove zgrada stradalih u potresu

Kelava, David

Master's thesis / Diplomski 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:237:514733>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-23**

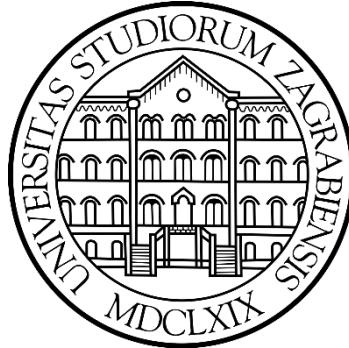
Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAĐEVINSKI FAKULTET



DIPLOMSKI RAD

**TEHNOLOGIJA OJAČANJA TEMELJA KOD OBNOVE
ZGRADA STRADALIH U POTRESU**

DAVID KELAVA

Zagreb, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAĐEVINSKI FAKULTET



DIPLOMSKI RAD

**TEHNOLOGIJA OJAČANJA TEMELJA KOD OBNOVE
ZGRADA STRADALIH U POTRESU**

Autor: David Kelava

Mentor: izv. prof. dr. sc. Zvonko Sigmund

Zagreb, rujan 2023.



TEMA DIPLOMSKOG RADA

Ime i prezime studenta: **David Kelava**

JMBAG: **0082057548**

Diplomski rad iz predmeta: **Tehnologija građenja 2**

Naslov teme
diplomskog rada:

HR	Tehnologija ojačanja temelja kod obnove zgrada stradalih u potresu
ENG	Foundation strengthening technologies on buildings damaged during the earthquake

Opis teme diplomskog rada:

U ovom diplomskom radu analizirat će se različite metode ojačanja temelja kod obnove zgrada, prvenstveno kod postojećih zgrada, a koje su stradale od djelovanja potresa. Poseban naglasak obratit će se na suvremene metode koje se primjenjuju, te proces i tehnologiju provedbe ojačanja temelja.

Datum: **05.04.2023.**

Komentor:

(Ime i prezime komentora)

Mentor:

doc. dr. sc. Zvonko Sigmund

(Ime i prezime mentora)

(Potpis mentora)

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. UTVRĐIVANJE POTREBE ZA OJAČANJEM	2
2.1. Razlozi ojačanja temelja	3
3. SVOJSTVA TLA	4
4. NAČINI OJAČANJA TEMELJA	5
4.1. Jačanje postojećih temelja	8
4.2. Proširenje temelja	9
4.3. Podbetoniravanje temelja	10
4.4. Izrada nove temeljne ploče	11
4.5. Ojačanje pomoću pilota	12
4.6. Kombinacija temeljne ploče i pilota	14
4.7. Mlazno injektiranje (eng. Jet-Grouting)	15
4.8. Ostale metode ojačanja	19
5. PROPISI O ODRŽAVANJU KONSTRUKCIJA TEMELJA U HRVATSKOJ	22
6. PRIMJERI IZ PRAKSE	24
6.1. Utvrđivanje stanja temelja(Palača Dobrinović-Vranyczany)	24
6.2. Ojačanje temelja (MUP Petrinjska)	30
6.3. Ojačanje temelja (Građevinski fakultet u Zagrebu)	35
7. USPOREDBA TEHNIKA OJAČANJA	41
8. ZAKLJUČAK	45
9. LITERATURA	46
10. POPIS SLIKA	48
11. POPIS TABLICA	49

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu obrađena je tema ojačanja temelja prilikom obnove zgrada. Prvo je dan uvid u utvrđivanje potreba za ojačanjem te koji su sve razlozi zbog kojih se temelji ojačavaju. Zatim su navedeni različiti načini ojačanja poznati iz literature ili prakse. Ti načini obuhvaćaju ojačanje temelja, od proširenja temelja, preko ojačanja pilotima do kombinacije temeljne ploče i pilota. Dan je pregled i u metode koje se koriste za ojačanje temeljnog tla, prvenstveno mlazno injektiranje te na koji način se izvode. Navedeni su određeni propisi u Republici Hrvatskoj koji su vezani uz unapređivanje svojstava građevine i prema kojima se klasificiraju geotehničke konstrukcije. Na primjeru obnove zgrade u Zagrebu prikazan je tijek utvrđivanja stanja tla i temelja. Na ostalim primjerima, također zgrada koje se obnavljaju u Zagrebu, objašnjeni su neki od načina temeljenja koji su navedeni te zašto je odabran određeni način i koja je tehnologija izvođenja.

Ključne riječi: temelj, ojačanje temelja, tlo, potres, tehnologija izvođenja

ABSTRACT

This thesis deals with the topic of strengthening the foundations during building renovation. First, an insight is given into the determination of the need for strengthening and what are all the reasons why the foundations are strengthened. Then, different methods of reinforcement known from literature or practice are listed. These methods include strengthening the foundation, from widening the foundation, through strengthening with piles to a combination of foundation slab and piles. An overview is also given of the methods used to strengthen the foundation soil, primarily jet grouting, and how they are performed. There are listed certain regulations in the Republic of Croatia which are related to the improvement of building properties and according to which geotechnical constructions are classified. The process of determining the condition of the soil and foundation is shown on the example of building renovation in Zagreb. On other examples, also including buildings that are being renovated in Zagreb, some of the foundation methods that have been mentioned are explained; why a certain method was chosen and what is the construction technology.

Key words: foundation, foundation strengthening, soil, earthquake, construction technology

1. UVOD

Zahtjev da temelj treba odoljeti učincima djelovanja koji proizlaze iz gornje konstrukcije, bez značajnijih deformacija, u dosta slučajeva nije ispunjen. Problem koji se javlja prilikom oštećenja kod temelja je da se ne može lako pregledati i ojačati. Analize nakon umjerenih do jakih potresa pokazuju da se često javljaju značajno veća slijeganja nego što je to projektirano. U ovom diplomskom radu daje se pregled osnovnih parametara prilikom projektiranja ojačanja temelja, kao što su svojstva tla, te kako njihov sastav utječe na projektiranje i odabiranje vrste ojačanja. Na temelju tih svojstava odabire se način ojačanja te je u radu pregledano više načina ojačanja, poznatih iz literature i iz prakse, kao što su proširenje postojećih temelja, podbetoniravanje, ojačanje temelja pilotima, kombinacije temeljne ploče i pilota. Opisuje se njihova tehnologija izvođenja te u kojem slučaju se primjenjuju. Nakon pregledanih načina ojačanja, navode se neki od propisa u Republici Hrvatskoj, vezani uz istražne radove prije projektiranja te održavanje zgrada. Prikazani su primjeri tijekom obnove zgrada nakon potresa u Zagrebu. Na prvom primjeru pregledat će se kako slijedi tijek utvrđivanja stanja temelja te kojim istražnim radovima je prethodilo to utvrđivanje. Na drugom primjeru prikazuje se izvedba ojačanja temelja te se opisuje tehnologija kojom se izvodi, a na trećem primjeru daje se uvid u tehnologiju kojom se izvodi ojačanje temeljnog tla, kako je došlo do odabira određenog ojačanja te koja su se ispitivanja vodila kako bi se utvrdilo stanje tla i samih temelja.

2. UTVRĐIVANJE POTREBE ZA OJAČANJEM

Tijekom analize za obnovu zgrade, potrebno je definirati konstrukcijski sustav postojećeg objekta. Kod cjelovite obnove zgrade to se odnosi na vertikalne i horizontalne elemente objekta, krovnu konstrukciju, te način temeljenja i vrstu temelja (temeljne trake, temelji samci..). Najlakše je odrediti konstrukcijski sustav iz postojeće projektne dokumentacije ukoliko postoji, odnosno ukoliko je sačuvana. Kod velikog broja objekata takva dokumentacija nije dostupna pa se stanje mora utvrditi pregledom na licu mjesta. Što se temelja tiče, pri tome ih je bitno na pojedinim mjestima otkopati. Pregled je potrebno izvršiti i ukoliko postoji dokumentacija, s ciljem uspoređivanja projektiranog i izvedenog stanja, ako je projektna dokumentacija dostupna te s ciljem otkrivanja potencijalnih deformacija ili oštećenja.

Ukoliko se zgrada obnavlja i nadograđuje, odnosno mijenja joj se konstrukcijski sustav, potrebno je izvršiti detaljnu analizu na objekt u stanju prije i poslije predviđenog nadograđivanja, analizu geomehaničkih karakteristika tla i proračun dodatnog slijeganja temelja zbog povećanja mase objekta. Zatim se izvršava provjera nosivosti postojećih elemenata konstrukcije. Na osnovu toga se donosi odluka o potrebi ojačanja temelja te ostalih dijelova konstrukcije. Povezivanje novoprojektiranih i postojećih temelja je od posebnog značaja zbog aktivacije novoprojektiranih elemenata ojačanja na vertikalno opterećenje od postojeće konstrukcije pri velikim horizontalnim pomjeranjima u potresu. (Stevanović i dr., 2014.). Odabir tehnologije ojačanja temelja ovisi o stanju građevine u kojem se nalazi, kao i o kategoriji rizika predloženog konzervatorskim, restauratorskim ili rekonstrukcijskim zahvatima. Čimbenici koji su temeljni kod odabira tehnologije ojačanja su konstruktivne značajke zgrade te stanje tla u podlozi. Korištenjem različitih tehnologija temelji se mogu ojačati na brži i sigurniji način. Suvremene metode omogućuju izradu konkurentnih opcija za ojačanje na temelju inženjerskih i geoloških podataka. Ako je riječ o složenim slučajevima rekonstrukcije, u pravilu se koristi nekoliko metoda. U svim slučajevima tehnologija treba omogućiti pouzdan, dugotrajni vijek konstrukcije koji zadovoljava granična stanja nosivosti i uporabivosti. Prilikom rekonstrukcije potrebno je uzeti u obzir ekonomičnost, dostupnost materijala i strojeva, obučenost radne snage i sigurnost. U obzir se uzima i zaštita okoliša. Ovaj ekološki aspekt odnosi se na kemijske metode umjetnog poboljšavanja svojstava tla.

2.1. Razlozi ojačanja temelja

Chernyev i dr., 2020. navode:

Tijekom životnog vijeka konstrukcija, dolazi do deformacija. Deformacije se mogu pojačati ako su objekti izgrađeni na rastresitom tlu te glavni uzroci deformacija mogu biti oborine koje uzrokuju oštećenja ili uništenja temelja, zidova, stupova i ploča. Do oštećenja temelja može doći i u izvanrednim slučajevima, kao što je potres.

Rekonstrukcija može biti povezana s povećanim opterećenjem postojećih temelja zbog dodatne konstrukcije, zamjene drvenih podova betonskim, oštećenjem zidova, itd.

Chernyev, 2020. prema Dalmatovu, 2020. navodi nekoliko primjera razloga ojačanja temelja prema općoj klasifikaciji B.I. Dalmatova:

- Povećano opterećenje temelja
- Greška prilikom izvedbe temelja ili smanjenje njegovih hidroizolacijskih svojstava
- Pogoršanje uvjeta stabilnosti temelja ili tla na kojem leže
- Povećanje deformacije tla
- Kontinuirano povećavanje neprihvatljivih pomaka na konstrukciji

3. SVOJSTVA TLA

Tlo je u odnosu na druge građevinske elemente podložnije promjeni mehaničkih svojstava pod djelovanjem vanjskih utjecaja. Kako se temelji tijekom cijelog svog vijeka trajanja nalaze u tlu, to se odnosi i na temelje.

Ono što je potrebno kod projektiranja temelja, ali i kod projektiranja ojačanja postojećih temelja su lokalni geološki podaci, slojevitost tla, vrsta tla i dubina do čvrstog tla. Važno je uočiti i nagle promjene u svojstvima između slojeva tla. (Pender, 1996.)

Tijekom dugotrajnog opterećenja temelja mogu se javiti pozitivne i negativne promjene u temeljnom tlu. O ovome je potrebno voditi računa tijekom obnove, nadogradnje objekta te u slučaju promjene stalnog ili promjenjivog opterećenja. Kao pozitivna promjena u tlu može se smatrati dodatno sabijanje tla ispod temelja, posebno u slojevima neposredno ispod temelja, što dovodi do smanjenja poroznosti tla, povećanja mehaničkih i deformacijskih karakteristika te time i povećanja nosivosti. Prema nekim podacima, ako je objekt redovito održavan tijekom eksploatacije (uglavnom ako nije došlo do prodiranja vode u zonu temelja) i ako nije došlo do promjene opterećenja, to povećanje nosivosti može iznositi i do 40% (Stevanović i dr., 2014. prema Ukhovu, 2004.). Negativni procesi u tlu su oni koji dovode do pogoršanja mehaničkih i deformacijskih karakteristika. To su uglavnom sezonsko smrzavanje tla (u slučaju malih dubina fundiranja) ili promjena vlažnosti tla (zbog prodiranja vode iz instalacija, promjene razine podzemnih voda, poplava). U slučaju industrijskih objekata može se dogoditi da u izvanrednim situacijama dođe do prodiranja agresivnih tvari u tlo, što također može ugroziti temeljno tlo i same temelje. (Chernyev, 2020.)

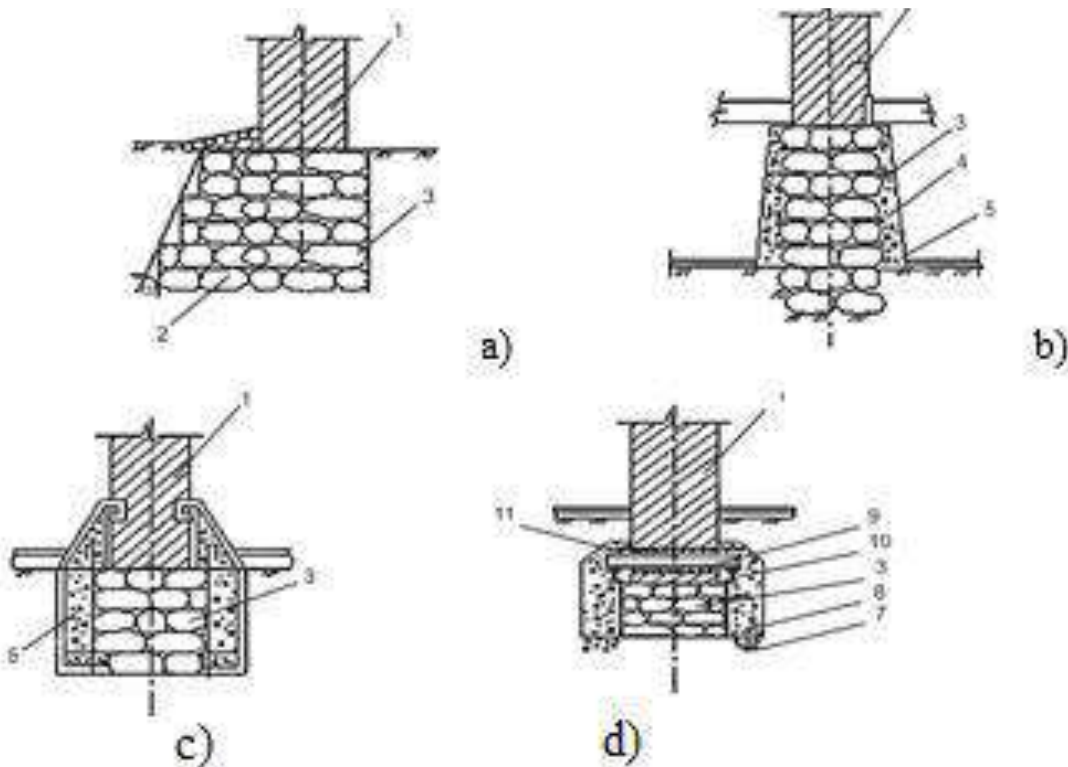
U svakom slučaju, prije početka radova na rekonstrukciji, nadogradnji, dogradnji itd., obavezna su dodatna istraživanja (bušenja, iskopavanje temelja, laboratorijska ispitivanja uzoraka). Naravno, opseg istraživačkih radova treba prilagoditi konkretnoj situaciji i potrebama.

4. NAČINI OJAČANJA TEMELJA

Nakon provedenih dodatnih istraživanja, u skladu s predviđenim radovima na objektu, treba utvrditi postojeće i projektirano opterećenje na temeljima. Na temelju toga, treba procijeniti potrebu za jačanjem postojećih temelja, način i raspored jačanja. Postojeći temelji objekata, u slučaju rekonstrukcije ili nadogradnje moraju prihvatiti kako postojeće, tako i dodatno opterećenje. To dodatno opterećenje javlja se od težine nadograđenog dijela, ali i od seizmičkih djelovanja. Zbog toga se stanju temelja, proračunu i izvođenju potrebnih ojačanja mora posvetiti posebna pažnja.

Stevanović i dr., 2014. navode nekoliko primjera načina jačanja temelja, koji su poznati iz literature ili iz prakse: jačanje postojećih temelja; proširenje temelja; podbetoniranje; izrada nove temeljne ploče ispod objekta te ojačanje pomoću pilota.

Tijekom pregleda metoda ojačanja najčešće se tehnologija ojačanja temelja svodi na povećanje površine nosivosti postojećih temelja, što uzrokuje smanjenje pritiska na temeljno tlo kako je prikazano na slici 1.



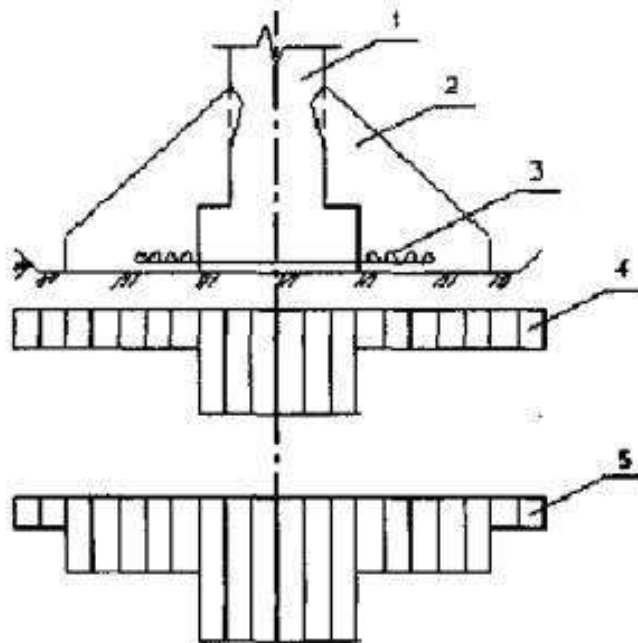
Slika 1 Česte tehnologije ojačanja temelja (Cherney i dr., 2020.)

Na slici 1 pod oznakom a) prikazana je veza poravnanja; pod oznakom b) i d) betonski stup i pod oznakom c) betonska obloga

Brojevima na slici su prikazani sljedeći elementi:

1. Zid
2. Novo zidanje povezano sa starim
3. Staro zidanje
4. Metalne igle
5. Betonski stup
6. Betonski stup
7. Sloj šljunka
8. Sloj betona
9. Radna greda
10. Distribucijska greda
11. Lijevani beton

Razmotrit će se metode ojačanja temelja povezanih s proširenjem temeljne plohe. Prošireni dijelovi temelja se aktiviraju tek kad je povećano opterećenje na temelj kao što je prikazano na slici 2.

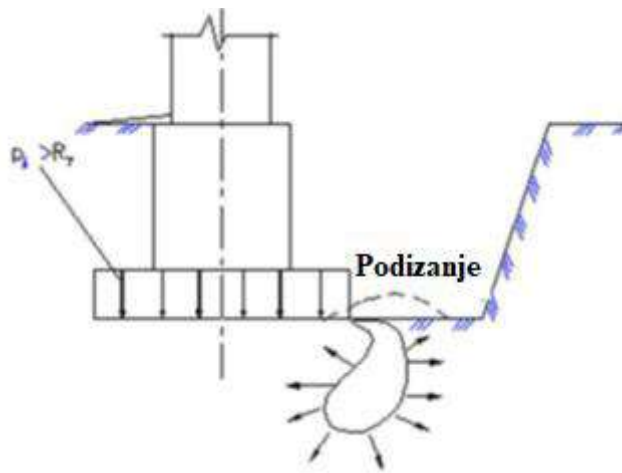


Slika 2 Tlačni dijagram u proširenoj temeljnoj plohi (Cherney i dr., 2020.)

Na slici 2 brojevima su prikazani sljedeći elementi:

1. Postojeći temelj
2. Proširena struktura
3. Armatura
4. Tlačni dijagram prije proširenja
5. Tlačni dijagram nakon proširenja i opterećenja temelja

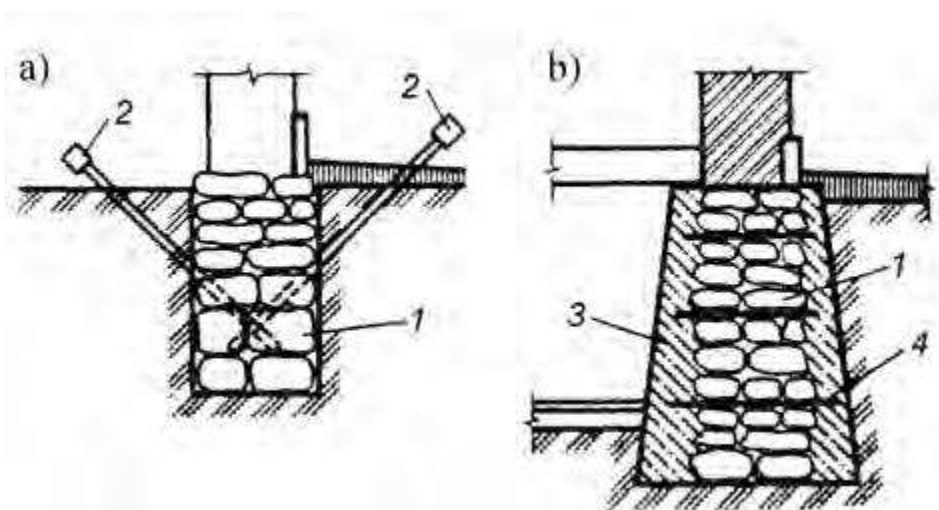
Ojačanje temelja u pravilu se vrši kada je tlo preopterećeno, tj. kada ispod rubova temelja postoje područja popuštanja. Kad se izvodi iskop kako bi se temelji proširili, tlo ispod temelja može biti potisnuto u iskopanu jamu (Slika 3):



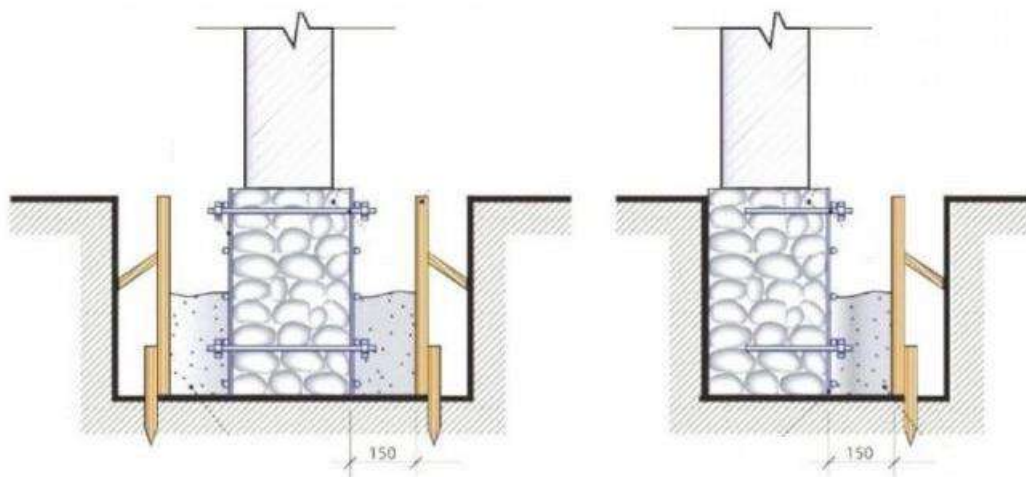
Slika 3 Moguće podizanje temelja kod iskopa jame (Cherney i dr., 2020)

Kao što su promatranja pokazala, značajni dio opterećenja prenijet će se kroz postojeći temelj što je prihvatljivo, budući da proširenje poboljšava ukupne uvjete prijenosa opterećenja bez podizanja ispod temeljne plohe. Međutim, podizanje se može dogoditi tijekom procesa ojačanja i moguće ga je predvidjeti proračunom. U nastavku će se prikazati različite metode ojačanja samih temelja, ali i metode povezane s ojačanjem temeljnog tla.

4.1. Jačanje postojećih temelja



Slika 4 Jačanje temelja (a) injektiranjem; b) betonskom oblogom (Stevanović i dr., 2014.)



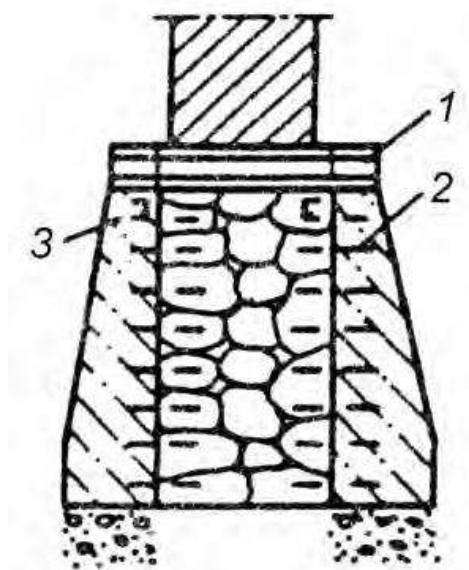
Slika 5 Jačanje temelja betonskom oblogom (Hourstrong, 2022.)

Na slici 4 prikazano je brojevima; 1 – Postojeći temelj, 2 – Injeztori, 3 – Betonska obloga, 4 – Sidra; dok je na slici 5 prikazano kako se može pristupiti jačanju temelja betonskom oblogom, jednostrano, ili iskopom s obje strane. Stevanović i dr. navode: *Ojačanje postojećih temelja primjenjuje se u slučajevima kada nije prekoračeno dozvoljeno opterećenje tla u temeljnoj spojnici, ali je sam temelj istrošen, puknut ili deformiran (npr. temelji od opeke, kamena itd.). U takvim slučajevima pristupa se ili injektiranju postojećeg temelja ili izradi obloge oko temelja od armiranog betona.* (slika 4 i 5).

Postupak injektiranja uključuje bušenje rupa u temelju, ugradnju injektora i samu injekciju. Injekcijska smjesa obično se priprema od otopine cementa i vode, a pod pritiskom se ubrizgava u tijelo temelja. Betonska obloga oko postojećeg temelja izvodi se nakon iskopa rova oko temelja, čišćenja površine, ugradnje sidara za vezu starog temelja i obloge. Debljina obloge ne smije biti manja od 15 cm, a armira se konstruktivno, armaturnom mrežom. U nekim slučajevima obloga se može dodavati samo s jedne strane kao što se može vidjeti na slici 5.

4.2. Proširenje temelja

Proširenje temelja primjenjuje se u slučajevima kada će dozvoljeno opterećenje tla u temeljnoj spojnici, zbog povećanja vanjskog opterećenja, biti premašeno. Ponekad se proširenje temelja kombinira s jačanjem temelja. (slika 6)



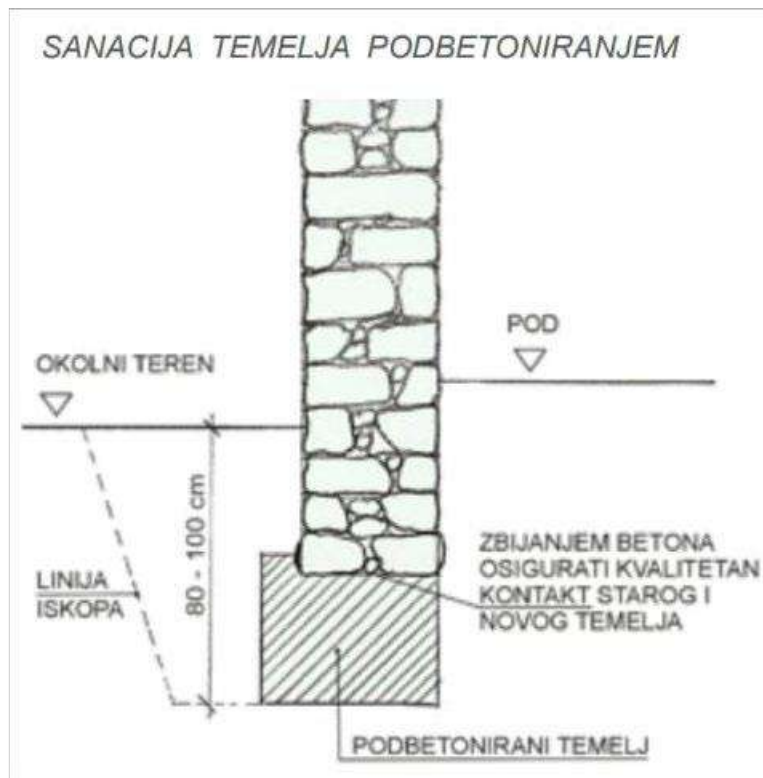
Slika 6 Kombinirano ojačanje i proširivanje temelja (Stevanović i dr., 2014.)

Na slici 6 brojevima je označeno: 1-Greda oslonac, 2-Sidra, 3-Proširenje temelja

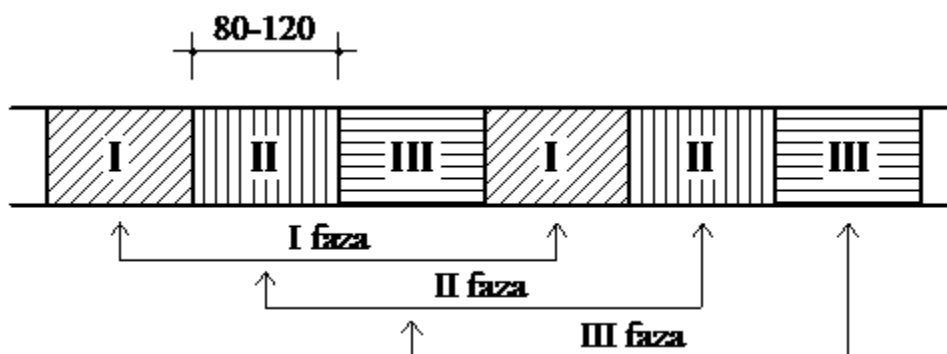
Pri ovakvom načinu ojačanja temelja važno je imati na umu da već postoji opterećenje u temeljnoj spojnici ispod postojećeg temelja. Dodatno opterećenje će se prenositi na ukupnu širinu (postojeću i novu), što može rezultirati povećanjem postojećeg naprezanja. Stoga je pri ovakvom postupku ojačanja nužno osigurati zajednički „rad“ starog i novog dijela temelja ugradnjom odgovarajućih sidara (uglavnom sidra od rebraste armature koja se vezuju za postojeći temelj).

4.3. Podbetoniranje temelja

Podbetoniranje temelja se primjenjuje kako bi se ukupno opterećenje ravnomjerno prenijelo na temeljnu spojnicu. Dakle, ispod postojećeg temelja izrađuje se novi temelj od armiranog betona s povećanom širinom (slika 7). Tijekom ojačanja potrebno je izvoditi potkopavanje i podbetoniranje u etapama (kampadama) kako je prikazano na slici 8, gdje između iskopa i betoniranja dvije susjedne kampade treba proći najmanje tri dana. Važno je osigurati da se postojeći temelj potpuno naliježe na novi. Ugradnju novog betona treba provesti pažljivo, podbijanjem, koristeći suhu smjesu betona. (Stevanović i dr., 2014.). Ako se ne izvrši kvalitetno podbijanje, moguće je da će se na zidovima objekta pojaviti pukotine zbog dodatnog slijeganja.



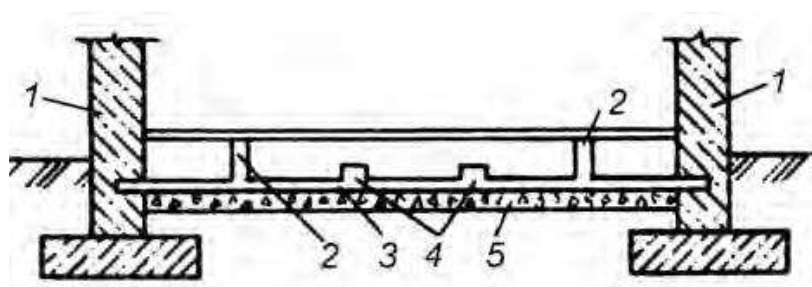
Slika 7 Podbetoniranje temelja (Puljiz, 2020.)



Slika 8 Podbetoniravanje po fazama (Stevanović i dr., 2014.)

4.4. Izrada nove temeljne ploče

Izrada nove temeljne ploče ispod objekta se može primijeniti u pojedinim slučajevima, ako osnova objekta nije prevelika i ako je omogućen pristup podrumskom ili prizemnom dijelu objekta. Ovaj način ojačanja treba primijeniti i kada je dodatno opterećenje na temelje preveliko i druge metode ne mogu biti primijenjene. Novu temeljnu ploču treba dizajnirati tako da može podnijeti novo opterećenje, ali je obavezno treba na odgovarajući način povezati s postojećim temeljima. Na slici 9 prikazan je primjer ojačanja izradom nove temeljne ploče. Korištena je ploča s rebrom koja je postavljena na dubini od oko 75 cm ispod donjeg ruba postojećih temelja. Ploča je oko rubova ugrađena u zidove na dubinu ne manju od 30 cm. Debljina ploče, dimenzije greda i potrebna armatura određuju se proračunom, a važno je provjeriti i lokalno naprezanje na postojeći zid. Ako je potrebno, zbog dubine rezanja zida, kako bi se izbjeglo narušavanje njegove nosivosti i stabilnosti, može se primijeniti betoniranje u etapama.



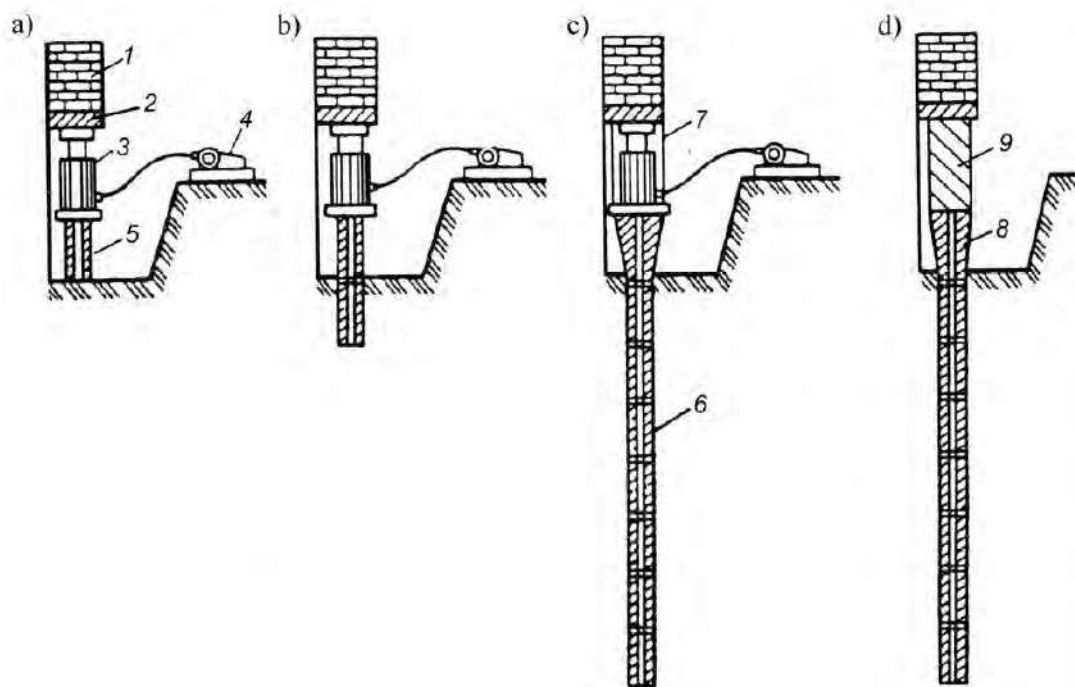
Slika 9 Ojačanje temelja izradom nove temeljne ploče (Stevanović i dr., 2014.)

Na slici 9 prikazano je: 1 – Postojeći temelj, 2 – Glavne grede, 3 – Nova ploča, 4 – Sekundarne grede, 5 – Zbijeni šljunak

4.5. Ojačanje pomoću pilota

Ojačanje pomoću pilota se relativno često primjenjuje na različite načine. Moguće je, primjerice, izvesti pilote pored postojećih temelja i nakon toga ih povezati s postojećim temeljima. Međutim, ponekad nije moguće primijeniti neku metodu izrade pilota (npr. pilote tipa "Franki" zbog vibracija pri pobijanju). U praksi se najčešće primjenjuje metoda izrade pilota pod nazivom "Mega" piloti. Oni se izrađuju od segmenata čeličnih cijevi koje se pomoću hidrauličkih preša utiskuju u tlo neposredno ispod postojećeg temelja. Postupak izrade ovakvih pilota, kao prvo, zahtijeva iskop jame ispod postojećeg temelja dubine oko 1.5 m, dužine i širine oko 1.2 m (da bi se omogućio rad rukovatelju opreme). U jamu se spušta prvi segment cijevi i hidraulička preša. Prešom se cijev utiskuje u tlo, strogo vodeći računa o vertikalnosti. Treba napomenuti da se u slučajevima kada je postojeći temelj istrošen ili nedovoljno čvrst (temelji od kamena ili opeke), iznad prese postavlja podmetač u obliku čeličnog profila ili montažne betonske grede. Kada je prvi segment utisnut, postavlja se drugi segment, zavaruje se oko oboda za prvi i prešom se nastavlja utiskivanje. Postupak se ponavlja dok se ne postigne potrebna dubina ili sila u pilotu. (Stevanović i dr., 2014.).

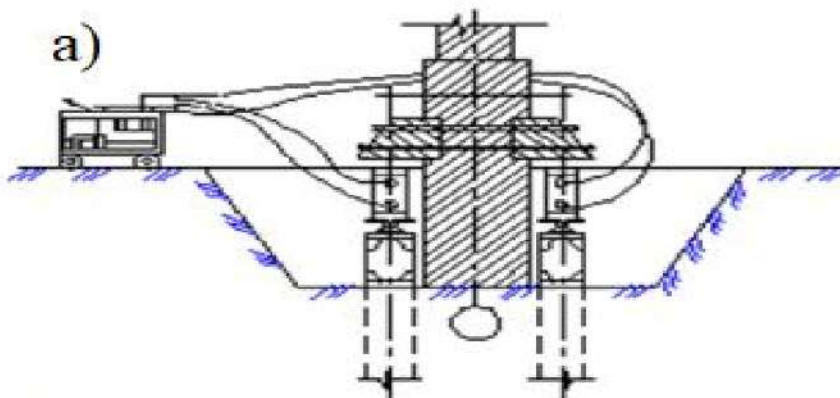
Dubina utiskivanja se određuje proračunom, a sila se kontrolira pomoću manometra. Kada je dostignuta potrebna dubina ili sila utiskivanja, unutrašnjost cijevi se puni finim betonom. Nakon toga se vrši podupiranje, postupak koji osigurava da se postignuta sila u pilotu, bez prevelikih gubitaka, prenese na postojeći temelj iznad pilota. Postoje različiti načini podupiranja koji se mogu izvesti, a nakon njih cijeli se prostor između temelja i dna prvobitno iskopane jame popunjava betonom. Na slici 10 shematski je prikazan postupak izvođenja „Mega“ pilota. Potrebno je napomenuti da je izrada mega pilota efikasan i pouzdan način ojačanja temelja. Svakako, potrebna je odgovarajuća oprema, obučena radna snaga i iskustvo kod ovakve vrste izvođenja radova.



Slika 10 Shematski prikaz ojačanja temelja "Mega" pilotima (Stevanović i dr., 2014.)

Na slici je redom prikazano: 1 – Nosači zid, 2 – Podložna greda, 3 – Hidraulička presa, 4 – Pumpa, 5 – Prvi segment cijevi, 6 – Izvedeni pilot, 7 – Podmetač, 8 – Završni element, 9 – Beton.

Kako bi se isključili nepoželjni dinamički učinci na starim zgradama i rastresitim tlama, često se koriste i višeslojni piloti. Tehnološke značajke višeslojnih pilota u obliku stabilizatora prikazane su na slici 11.



Slika 11 Ojačanje temelja pomoću višeslojnih pilota (Cherney, 2020.)

Potrebno je koristiti pouzdane strojeve za bušenje rupa za pilote. Nosivost pilota može se prilagoditi prilikom utiskivanja elemenata. Mogu se izrađivati kao armiranobetonski montažni

elementi s posebnim spojevima koji omogućuju brzo spajanje. Glavne prednosti su: ručni zemljani radovi su potpuno isključeni, bušenje rupa provodi se izravno kroz temelj bez utjecaja na komunikacije koje prolaze u blizini građevine ili u podrumu. Pomoću opreme koja ne zauzima veliki prostor može se raditi u podrumima koji imaju visinu od 2 do 2,5 m. Prema potrebi, radovi se mogu izvoditi s prizemlja zgrade. Izgled strukture se ne mijenja što je bitno kad postoji potreba o nenarušavanju arhitektonskog izgleda i strukture zgrade.

4.6. Kombinacija temeljne ploče i pilota

Plitki temelji uglavnom su građeni tamo gdje su opterećenja od konstrukcije mala u odnosu na nosivost površinskog tla. Duboki temelji potrebni su tamo gdje nosivost površinskog tla nije dovoljna da izdrži opterećenje od konstrukcije pa se ta opterećenja moraju prenijeti dublje, na slojeve tla s većom nosivosti. U svom normalnom obliku temeljne ploče su plitki temelji formirani od armiranobetonske ploče jednake debljine (obično 150-300 mm) koja pokriva široko područje, najčešće cijeli tlocrt objekta. U engleskom prijevodu ovakvi temelji se zovu Raft foundations, što u direktnom prijevodu znači „temeljna splav“. Međutim, tamo gdje ovakvo temeljenje ne pruža odgovarajuću potporu, može se poboljšati dodavanjem pilota stvarajući kombinirano temeljenje temeljne ploče i pilota (eng. Piled raft foundations).

Piloti su duboki temelji. Sastoje se od dugih, vitkih elemenata u obliku stupova koji su obično izrađeni od čelika ili armiranog betona. Temelj se opisuje kao „nabijen“ kada je njegova dubina više od tri puta veća od njegove širine (Atkinson, 2007.). Temelji ojačani pilotima omogućuju prijenos opterećenja kroz slabe slojeve ili vodu na jače, kompaktnije i kruće tlo ili stijenu na dubini. Dodavanje pilota temeljnoj ploči povećava efektivnu veličinu temelja i može pomoći u otpornosti na horizontalna opterećenja. To može poboljšati performanse temelja u smanjenju količine slijeganja, kao i poboljšanju konačnog kapaciteta opterećenja. Temeljne ploče u kombinaciji s pilotima obično se koriste za velike građevine i u situacijama kada tlo nije prikladno za sprječavanje pretjeranog slijeganja. Sve su popularniji izbor za visoke zgrade. Dosadašnja istraživanja pokazala su da je u debljem sloju pjeskovitog tla ili tla od gline uporaba kombiniranog temeljenja optimalna i ekonomična metoda za smanjenje slijeganja temelja. (Akbari, 2021.)

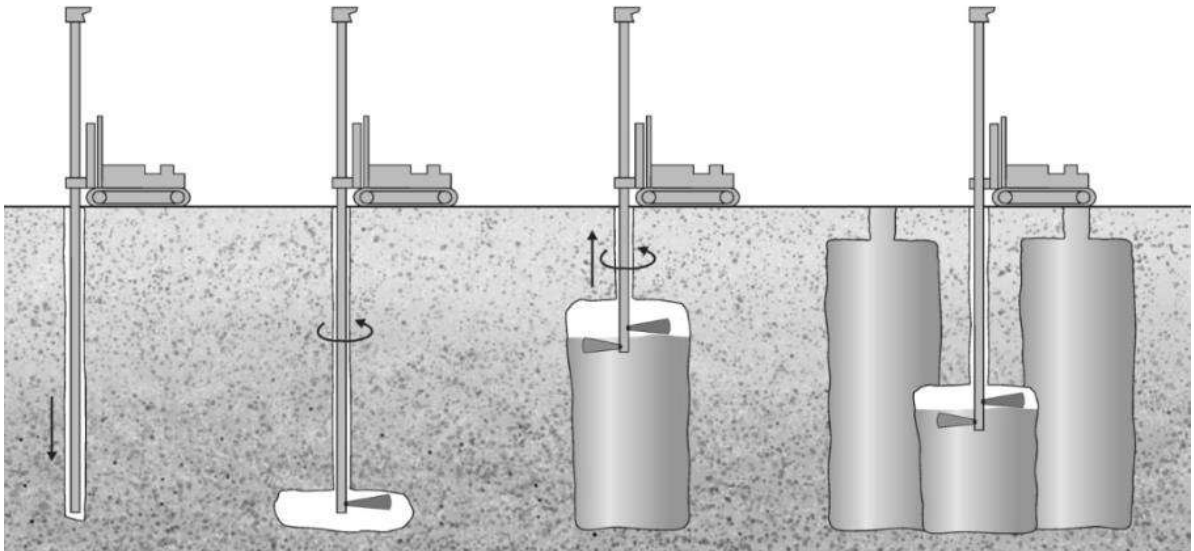
Tijekom procesa projektiranja, određuje se optimalan broj i položaj pilota, kao i njihov promjer, armatura i duljina, kako bi se osigurala stabilnost konstrukcije uz pružanje

ekonomičnog rješenja, pri čemu temeljna ploča i piloti djeluju zajedno kako bi osigurali da potrebno slijeganje ne bude prekoračeno. Tipično, piloti daju najveći dio krutosti, dok temeljna ploča pruža dodatni kapacitet pri krajnjem opterećenju. Ako postoji jedan ili više neučinkovitih pilota, temeljna ploča može omogućiti određeni stupanj preraspodjele opterećenja na druge pilote, smanjujući utjecaj slabosti pilota na ukupnu izvedbu temelja. Kod nepovezanog kombiniranog temeljenja(UCPRF), piloti nisu izravno povezani sa temeljnom pločom, već su odvojeni od nje „jastukom“ (kao npr. zbijena mješavina pijeska i šljunka ili zbijeno tlo) koji preraspoređuje opterećenje između temeljne ploče i pilota. Ovo može biti učinkovitije, a time i ekonomično rješenje. (Akbari i dr., 2021.)

4.7. Mlazno injektiranje (eng. Jet-Grouting)

Pri rješavanju problema nedostatne nosivosti tla ispod temelja, umjesto jačanja postojećih temelja, moguće je ojačati samo tlo kako bi se povećala njegova nosivost. Ovakve metode ojačanja tla sve su češće u geotehničkom inženjerstvu u rješavanju problema nosivosti. Kao posljedica toga, na tržištu se redovito predstavljaju nove tehnologije i materijali na ovom području (Croce i dr., 2014.) Ovakav postupak ojačanja tla uključuje injektiranje tla u zone ispod i oko postojećih temelja, s ciljem poboljšanja mehaničkih i deformacijskih svojstava te time smanjenja stišljivosti i/ili vlažnosti postojećeg tla. Injektiranje se može izvoditi ovisno o sastavu tla, koristeći mješavinu cementa i vode s različitim vodocementnim faktorom, natrijevim silikatom - tekućim staklom (silikatizacijom), bentonitom, itd. U praksi, ovi postupci se često zajednički nazivaju "jet-grouting".

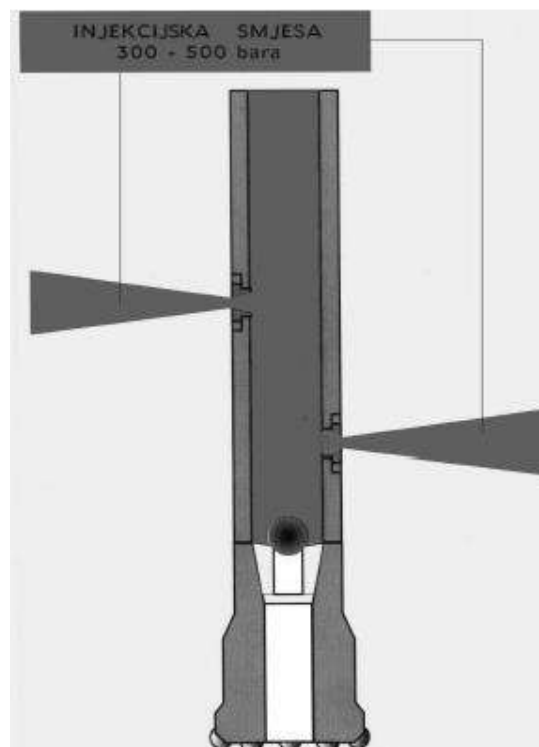
Za takve postupke je također važno imati prikladnu opremu, dobro obučeno osoblje i iskustvo u njihovoj primjeni. Tehnologija se sastoji od izvedbe bušotine do određene dubine i provedbe mlaznog injektiranja. Jet-grouting, odnosno na hrvatskom, mlazno injektiranje je metoda poboljšanja tla kojom se određeni volumen tla pretvara u zemljani mort (...). Postupak se provodi kroz 4 faze: bušenje, rezanje, injektiranje i proširenje, prikazano na slici 12 po fazama. Bušenje tla vrši se bušaćim šipkama s nosačem mlaznica i bušaćom krunom(...). Kod svih vrsta tla istovremeno s razaranjem tla, dodaje se cementna suspenzija pod pritiskom. Nakon stvrdnjavanja injektirajućeg morta dolazi do jačanja temeljnog tla koje ima statički povoljna svojstva. (Arapov i dr., 2009.)



Slika 12 Redoslijed izvođenja mlaznog injektiranja (Arapov i dr., 2009.)

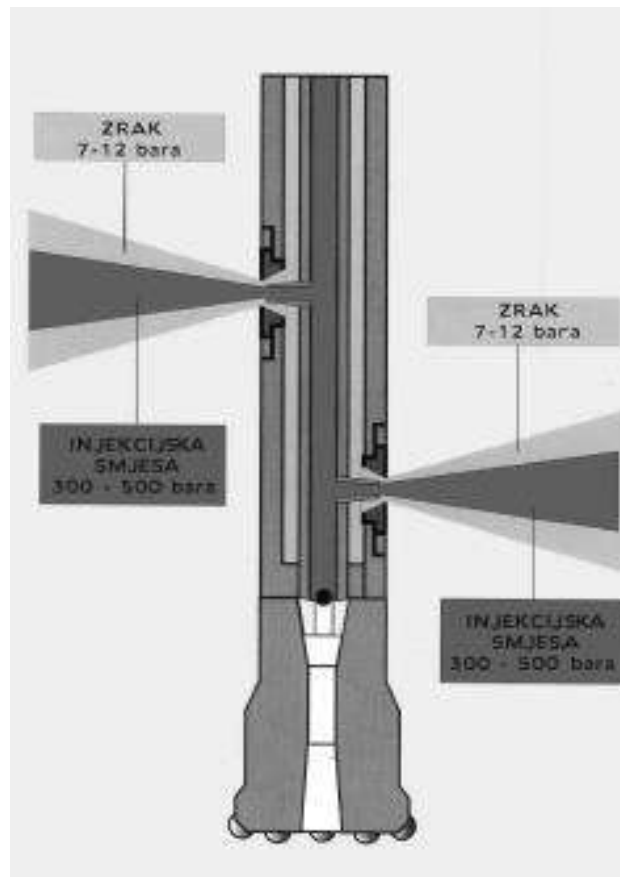
Tri su različita načina izvođenja jet-groutinga: jednofluidni, dvofluidni i trofluidni sustav.

Kod jednofluidnog sustava, cementna suspenzija služi i za eroziju tla i direktno formiranje traženih elemenata (slika 13.)

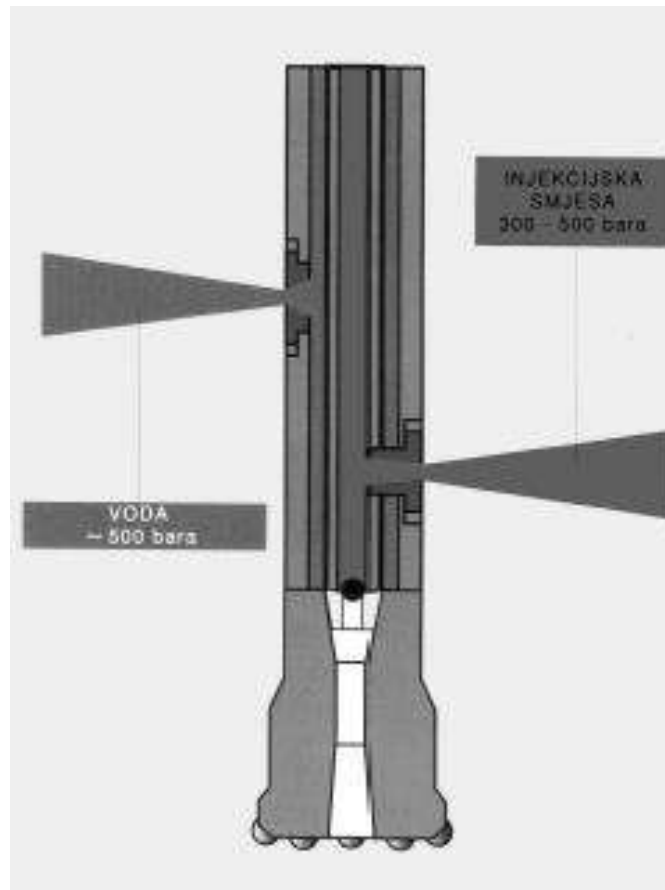


Slika 13 Shema toka fluida kod jednofluidnog sustava (Banjad Pečur, 2022.)

Dvofluidni sustav podrazumijeva kombinaciju injekcijske smjese i zraka. Mlaz komprimiranog zraka koristi se za potporu erozivnog napada, istovremeno s mlazom suspenzije. Mlaznice su posložene koaksijalno te se formiraju grupirani mlazovi suspenzije obavijene zrakom. Na slici 14 prikazana je shema dvofluidnog toka kojem je drugi fluid zrak. Kao alternativa zraku, drugi fluid može biti i voda (slika 15), pri čemu eroziju izvodi vodeni mlaz visokog tlaka dok injekcijsku smjesu istovremeno dovodi odvojeni mlaz.

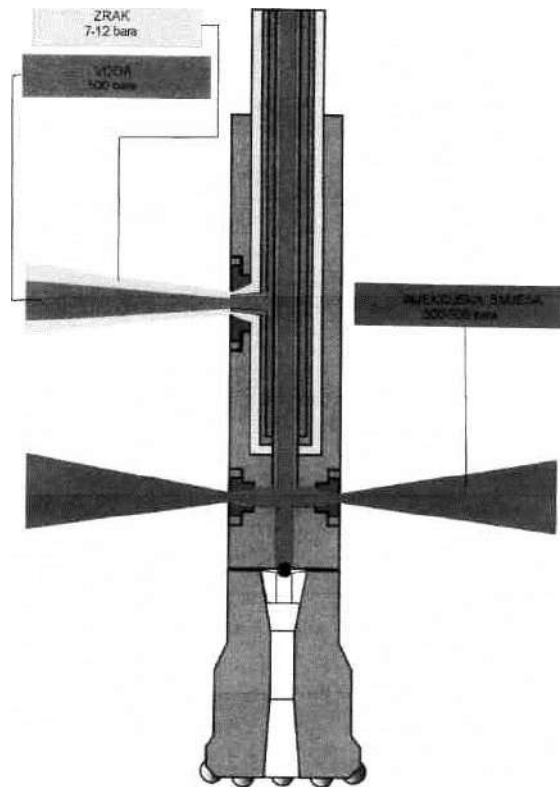


Slika 14 Shema toka fluida kod dvofluidnog sustava a) (Banjad Pečur, 2022.)



Slika 15 Shema toka fluida kod dvofluidnog sustava b) (Banjad Pečur, 2022.)

Za razliku od dvofluidnog sustava, kod kojeg je drugi fluid ili zrak ili voda, kod trofluidnog sustava (slika 16) eroziju izvodi mlaz vode visokog tlaka, obavijenog stlačenim zrakom. Rezultat je najsnažniji erozivni učinak.

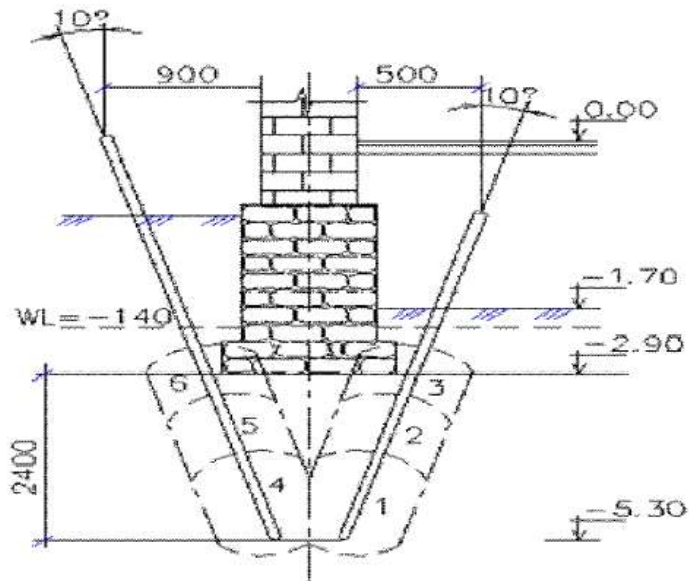


Slika 16 Shema toka fluida kod trofluidnog sustava (Banjad Pečur, 2022.)

4.8. Ostale metode ojačanja

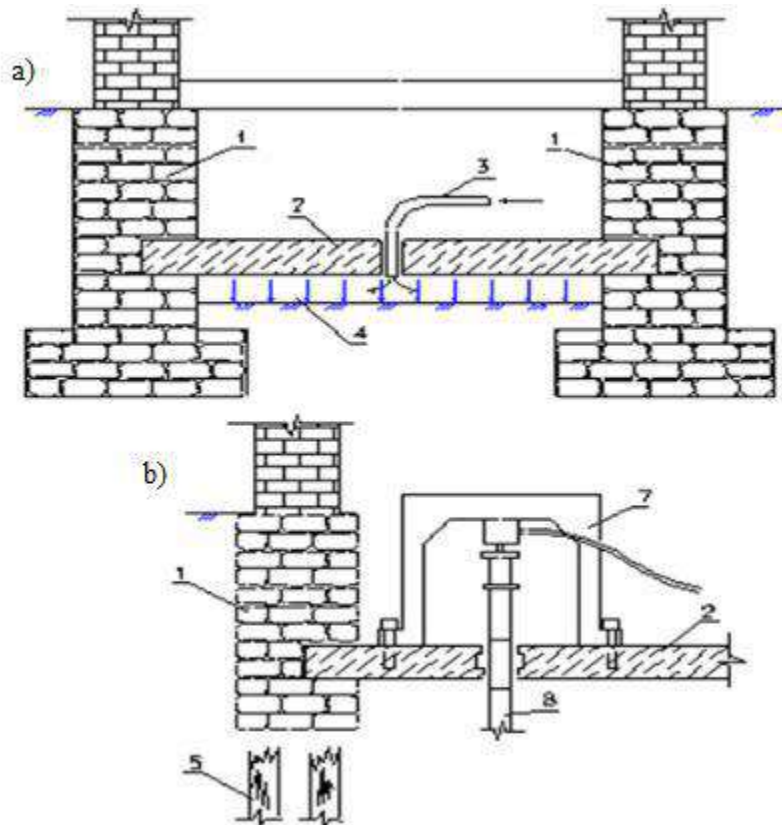
Korištenjem i najjednostavnijih metoda ojačanja dolazi do problema koji su povezani s tehnologijom izvedbe te geologijom. Danas u svijetu postoji velik broj kemijskih dodataka koji mogu dugotrajno učvrstiti temeljno tlo. Prednosti ovakvih kemijskih metoda uključuju: visok stupanj mehanizacije tehnoloških operacija, dakle, ne izvode se ručno; zatim omogućuje se sposobnost učvršćivanja tla na parametre zadane projektom u njihovim prirodnim uvjetima (Cherney, 2020.). Kod ovakve tehnologije relativno je nizak intenzitet rada, smanjuje se i potreba za iskopom većih jama prilikom ojačanja, a kod takvih iskopa često se mogu dogoditi greške koje mogu uzrokovati podizanje tla, kako je ranije spomenuto, ili oštetiti temelj što utječe na cijelu statiku zgrade.

Relativno nova metoda koju je 70-ih razvio VE Sokolovich, nazvana je plinska silikatizacija. Suština metode je da se u stabilizirano tlo najprije unosi ugljikov dioksid (pod tlakom do 0,2 MPa) za aktiviranje površine mineralnih čestica, a zatim otopina tekućeg stakla gustoće 1,19-1,30 g/cm³ (ovisno o propusnosti tla). Problem kod ove metode je što ona nije široko primjenjiva, odnosno primjenjiva je za tla koja imaju drenažnu sposobnost do 0,5 m/dan.



Slika 17 Učvršćivanje temeljnog tla ispod temeljne plohe (Cherney, 2020.)

Ranije navedene metode mogu se transformirati na sljedeći način: na razini podruma postavlja se armiranobetonska ploča koja je učvršćena u temelj, kako je prikazano na slici 18. Kako bi se osiguralo da je ploča uključena u prijenos opterećenja, može se ubrizgati cementna otopina za pritiskanje gornjih slojeva tla ispod nje.



Slika 18 Povećanje površine prijenosa opterećenja betonskom pločom (Cherney, 2020.)

Na slici 18 a)—s tlačnim ispitivanjem tla, b) S višeslojnim pritiskanjem (prešanjem tla)

Elementi na slici:

1. Postojeći temelj
2. Betonska ploča
3. Ulazna cijev za ekspanzivni cement
4. Cementni mort između ploče i tla
5. Truli drveni piloti
6. Dizalica
7. Potporna konstrukcija
8. Pilot

5. PROPISI O ODRŽAVANJU KONSTRUKCIJA TEMELJA U HRVATSKOJ

Pravilnikom o održavanju građevina (2014, 2019) navedeno je:

Održavanje građevine podrazumijeva:

1. redovite preglede građevine odnosno njezinih dijelova (...),
2. izvanredne preglede građevine odnosno njezinih dijelova nakon kakvog izvanrednog događaja (...).

UNAPREĐIVANJE SVOJSTAVA GRAĐEVINE

Članak 17. Vlasnik građevine dužan je unapređivati ispunjavanje temeljnih zahtjeva za građevinu (...) ako je to propisano posebnim propisom donesenim u skladu s odredbama Zakona o gradnji ili ako je propisano posebnim zakonom.

Definiranim tehničkim propisima u Republici Hrvatskoj propisuju se tehnička svojstva za građevinske konstrukcije, zahtjevi za projektiranje, izvođenje, održavanje (...), a u okviru ispunjavanja temeljnih zahtjeva za građevinu (Zakon o gradnji, 2017.).

Člankom 87. Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije, 2017. primjenjuju se posebna pravila za geotehničko projektiranje i geotehničke konstrukcije.

(1) Ispitivanja tla, stijene, rastresitog gradiva i podzemne vode i s njima povezani postupci podloga su građevinskog projekta.

(2) Geotehnički radovi mogu se provoditi neposredno na terenu i na uzorcima u laboratoriju, te posredno opažanjima deformacija konstrukcija pod probnim opterećenjem, opažanjem deformacija susjednih građevina, drugim opažanjima i mjerenjima na terenu, te uvidom u rezultate drugih istražnih radova provedenih u neposrednoj blizini budućeg gradilišta.

(5) Vrste, opseg, prostorni raspored i faze ispitivanja utvrđuju se programom geotehničkih istražnih radova(...) uz uvažavanje: (...) uvjeta u temeljnom tlu, stijeni i podzemnoj vodi, (...) utjecaja koji građevinski zahvat i građevinska konstrukcija kao i vanjska opterećenja imaju na temeljno tlo, stijenu, podzemnu vodu i okolne građevine.

(8) Ako su prethodna saznanja o temeljnom tlu nedovoljna za ispravno planiranje geotehničkih istražnih radova dostatnih za geotehničko projektiranje, treba izvesti odgovarajuće prethodne geotehničke istražne radove.

Eurokod 7 (službenog naziva EN 1997) sastoji se iz dva dijela: EN 1997-1 Geotehničko projektiranje – Dio 1: Opća pravila, te EN 1997-2 Geotehničko projektiranje – Dio 2: Istraživanje i ispitivanje tla. Eurokodom 7 dani su osnovni principi projektiranja geotehničkih konstrukcija, među ostalim i temelja, te pravila koja uključuju održavanje građevina. Tako se navodi:

(1) Mora se odrediti održavanje koje se zahtijeva radi osiguravanja sigurnosti i uporabljivosti konstrukcije (4.6. Održavanje). Eurokodom se definiraju i geotehnički razredi prema složenosti i rizičnosti geotehničke konstrukcije ili zahvata kako bi se racionalizirao opseg istražnih radova i složenost postupka dokazivanja stabilnosti i uporabivosti za građevine bitno različitih stupnjeva složenosti i različitih stupnjeva izloženosti riziku. Prema Eurokodu 7: Geotehničko projektiranje, tri su geotehničke kategorije (razreda). Same odredbe Eurokoda 7 prvenstveno se odnose na geotehnički razred 2. Ova kategorija obuhvaća rutinske geotehničke zahvate i njom je obuhvaćen pretežni dio geotehničkih projekata. Pod njega spadaju: plitki temelji, pojedinačni temeljni nosači, ploče; temeljenje na pilotima; potporne konstrukcije; temelji stupova i upornjaka mostova; nasipi i zemljani radovi; sidrenja u tlu i stijeni; tuneli u čvrstoj, neraspucaljoj stijeni bez posebnih zahtjeva za vodonepropusnost.

Kategorija 1 predstavlja jednostavnije građevine, kao što su temelji jednokatnica, te uključuje istražne radove pregledom terena i primjenom iskustva sa susjednim građevinama. Kategorija 3 predstavlja vrlo složene zahvate i zahvate velikog rizika (kao što je temeljenje na mekom tlu, građevne jame u blizini postojećih građevina i sl.). Za ovu kategoriju Eurokod ne daje posebne upute, već traži strože kriterije i postupke istražnih radova, projektiranja, opažanja i nadziranja.

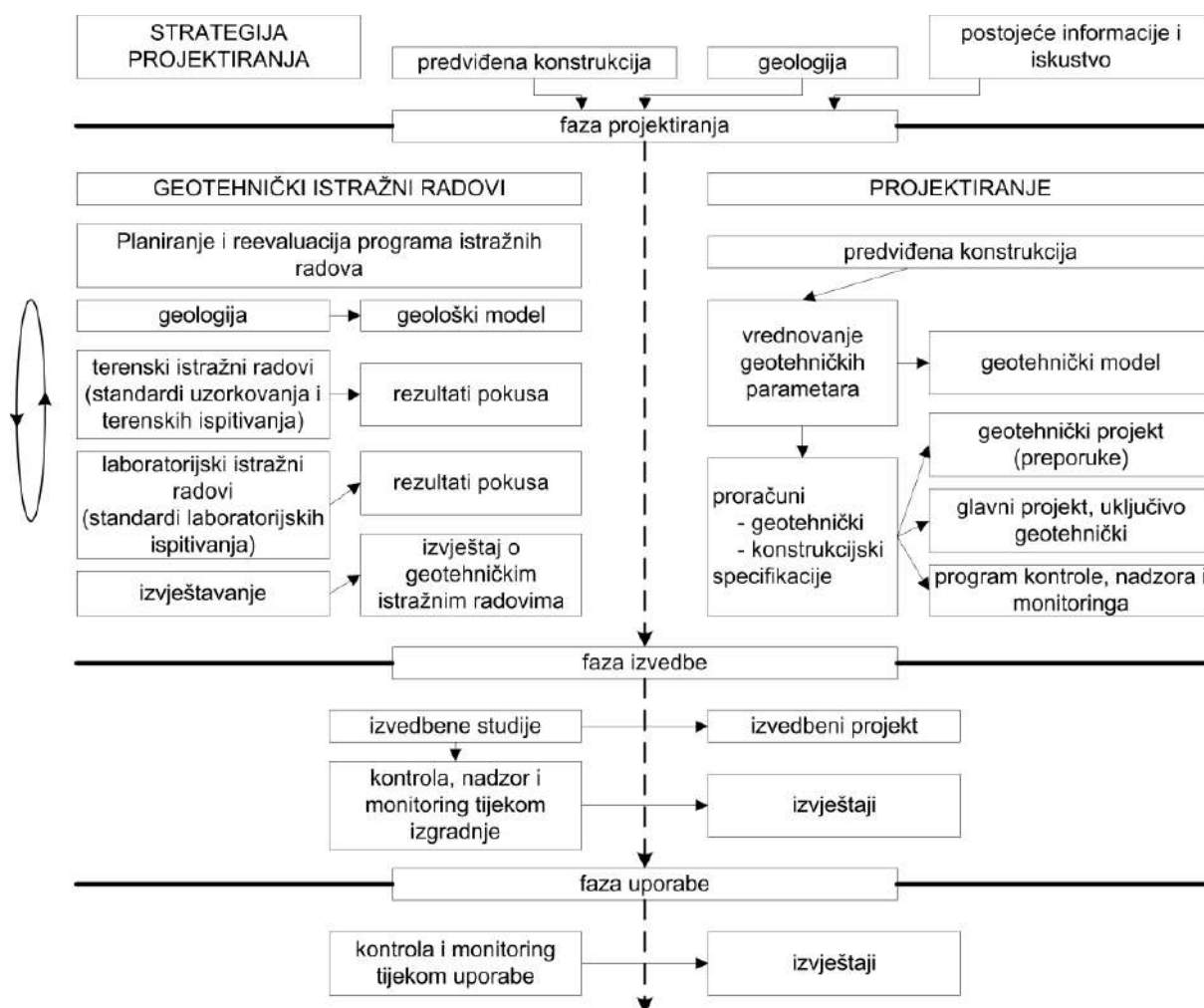
6. PRIMJERI IZ PRAKSE

6.1. Utvrđivanje stanja temelja(Palača Dobrinović-Vranyczany)

Tijekom obnove zgrada stradalih u potresu a i obnove općenito, rade se geotehnički istražni radovi kako bi se prikupili podaci o lokaciji i mehaničkim svojstvima tla. Rade se terenska i laboratorijska ispitivanja na temelju kojih se procjenjuje je li postojeći način temeljenja podoban, je li došlo do oštećenja i treba li izvoditi novi način temeljenja ili ojačati postojeći.

Promatrat će se istražni radovi na obnovi palače u Zagrebu (palača Dobrinović Vranyczany). Palača je višetažna građevina (podrum, prizemlje, dva kata i potkrovlje), tlocrtnog 'L' oblika vanjskih dimenzija na Hebrangovoj ulici 47.77×14.74 m, i 46.15×14.61 m na Strossmayerovoj ulici. Nosivi i pregradni zidovi su napravljeni od pune opeke slabo vezani vapnenim mortom. Dio podrumskog stropa čine bačvasti svodovi od pune opeke i vapnenog veziva (morta), a dio od ravnih stropova napravljeni od drvenih greda s ispunom i obloženi trstikom s vapnenom žbukom (trstina).

Za zgradu se prvo određuje geotehnička kategorija na temelju laboratorijskih i terenskih ispitivanja. Na slici u nastavku prikazane su faze prema geotehničkom ispitivanju, projektiranju, izvođenju i korištenju konstrukcije prema Eurokodu 7.



Slika 19 Faze ispitivanja temeljnog tla pri geotehničkom projektiranju, izvođenju i korištenju konstrukcije (EN 1997-2:2006)

Palača je nakon istražnih radova i prema njihovom potrebnom opsegu svrstana u geotehničku kategoriju 2, a teren na kojem se nalazi je ravan i horizontalan.

Za projektne seizmičke parametre definirane su vrijednosti maksimalne horizontalne akceleracije a_{max} izražene u jedinici g. Na osnovi Karte potresnih područja Republike Hrvatske (Geofizički odsjek PMF-a u Zagrebu, 2011.) utvrđeno je da područje izgradnje spada u sljedeće zone ubrzanja tla tipa A prema povratnim periodima pojave.

Tablica 1 Seizmički parametri (HRN EN 1998-5:20113)

POVRATNI PERIOD (god.)	95	475
VJEROJATNOST PREMAŠAJA	10% u 10 godina	10% u 50 godina
VRŠNO UBRZANJE a_{gR}	0.126	0.251

Tablica 2 Faktori važnosti zgrade (HRN EN 1998-2:2011/NA:2011/Ispr.1:2014)

Kategorija važnosti zgrade	Opis zgrade	Faktor važnosti γ_I
IV	Zgrade čija je cjelovitost neposredno nakon potresa životno važna za zaštitu ljudi: npr. zgrade državnih tijela razine ministarstva, vlade i sabora; bolnice; zgrade s kapitalnom opremom za telekomunikacijske i radio veze; zgrade zračnih luka; zgrade profesionalnih vatrogasnih jedinica, zgrade policijskih postaja županijske razine; zgrade elektrana i energana; spremnici opasnih tvar	1,4
III	Zgrade čija je potresna otpornost važna zbog posljedica vezanih uz rušenje: osnovne i srednje škole; zgrade s kinodvoranama; zgrade s dvoranama za skupove veće od 100 osoba; đачki i studentski domovi, domovi za djecu s teškoćama; domovi umirovljenika; dječji vrtići; silosi, spremnici i dimnjaci viši od 30 m	1,2
II	Obične zgrade: stambene zgrade, poslovne zgrade, proizvodne zgrade, trgovačke zgrade, hoteli, zgrade sveučilišta, zgrade istraživačkih instituta, hale, skladišta, stadioni, javne garaže	1
I	Zgrade manje važnosti za javnu sigurnost: skladišta poljoprivrednih proizvoda; staje i peradarnici; skloništa	0,8

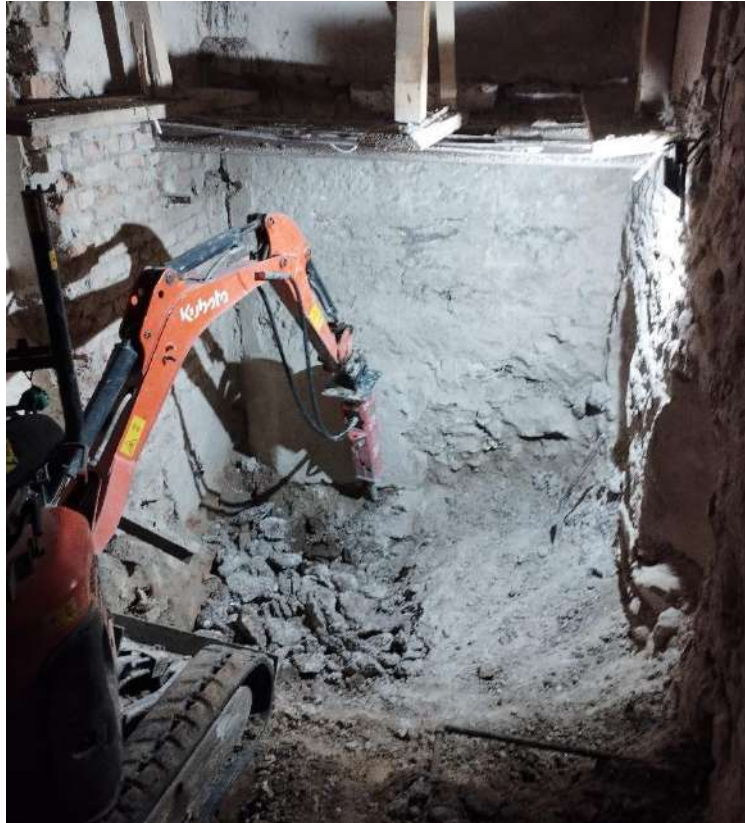
Prema HRN EN 1998-2:2011/NA:2011/Ispr.1:2014 za uobičajene zgrade odabran je parametar $\gamma_I = 1,00$. Utjecaj vrste temeljnog tla na vrijednosti seizmičkog opterećenja u HRN EN 1998-2:2011/NA:2011/Ispr.1:2014 se uzima obzir preko razreda tla. Iz tablice razreda tla odabrana je kategorija C, prema rezultatima geomehaničkog ispitivanja, a kojoj opis stratigrafskog profila glasi: Duboki nanosi gustog ili srednje gustog pijeska, šljunka ili krute gline debljine od nekoliko desetaka metara do više stotina metara

Geomehanička svojstva tla kod palače su:

Površinski slojevi nasipa su kolnička konstrukcija na uličnoj strani građevine te humus debljine 30 cm. Dublje, u raznim postotcima su nasipi građevinske šute: opeke, cigle, kamenje s manje ili više primjesa gline i prahovitog šljunka. Tlo ispod temelja je glina, u gornjoj zoni niskoplastična, a u donjoj viskoplastična. Šljunak je loše graduiran prekomjerno praha, u početku rastresit, a dublje srednje zbijen do zbijen. Podzemna voda registrirana je na 8.5 m od dubine površine terena.

Na temelju podataka o tlu i o građevini proračunata su granična svojstva nosivosti i uporabivosti, odnosno slijeganje tla. Proračuni slijeganja provedeni su na računskom modelu tla i to za temeljne trake s geometrijom temeljenja koja je utvrđena istražnim radovima. Temelji su rađeni od cigle i vapnenog morta, odnosno betona. U širini su zida te im je prosječna dubina do 160 cm. Obzirom da se radi o obnovi, kod tla ispod temelja je završena konsolidacija te je kao mjerodavno uzeto dodatno opterećenje. Međutim, provedena je i analiza slijeganja koje se dogodilo odmah nakon građenja objekta. Proračunom je utvrđeno da će se, obzirom na sastav tla, otprilike 70-80% slijeganja realizirati tijekom rekonstrukcije, a ostatak u kraćem periodu po završetku radova.

Sukladno geotehničkim istražnim radovima te uvažavajući oštećenja nastala od potresa, na temeljnoj konstrukciji nisu evidentirani problemi ni oštećenja. Projektom se dakle ne predviđa ojačanje postojeće temeljne konstrukcije, a budući da se temelji ne bi trebali mijenjati, to se odnosi i na temeljnu ploču. No, tijekom izvođenja građevinskih radova došlo je do izmjene projekta obnove u kojem se određeni dijelovi zgrade prenamjenjuju te se u zgradu ugrađuje lift, a s njim i nova temeljna ploča. Na slici 20 prikazani su trenutni radovi bušenja za postavljanje temeljne ploče.



Slika 20 Tijek izvođenja nove temeljne ploče za ugradnju lifta

Tijekom izvedbe radova na obnovi također je došlo do izmjene kojom se neće djelomično sanirati podna betonska ploča, nego se uklanja u cijelosti.. Postojeća ploča nije bila armirana. Podna ploča debljine 20 cm uklanja se te, te se pod uklanja do razine temelja. (slika 21 i slika 22)



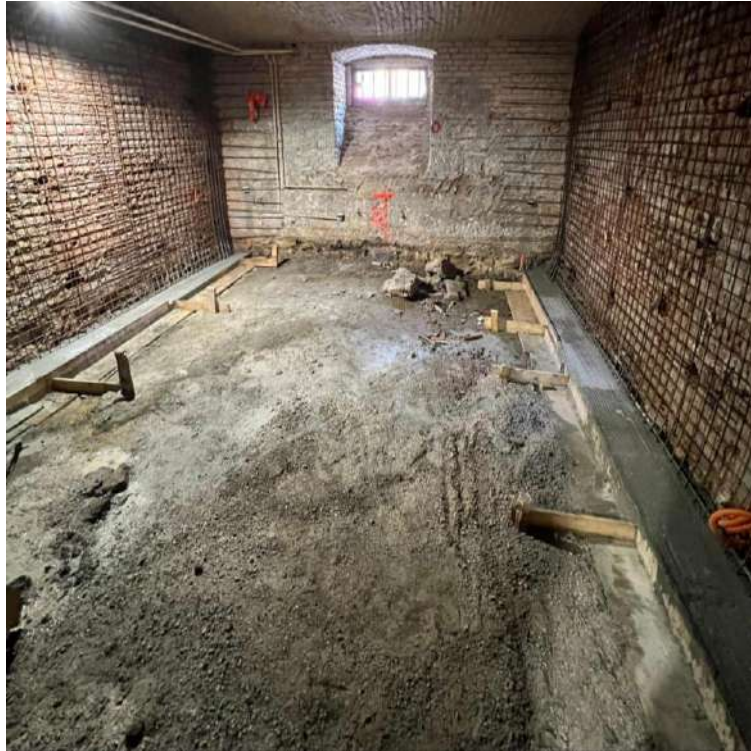
Slika 21 Uklanjanje betonske podne ploče



Slika 22 Prikaz stanja nakon uklonjene podne ploče

Zatim se nasipava materijal (šljunak) kako bi došlo do interakcije između temelja i ploče. Taj materijal se zbija, postavlja se podložni beton, armatura i ugrađuje se beton. Dakle, prilikom obnove promatrane građevine, ipak je primijenjeno djelomično ojačanje temelja ugradnjom armiranobetonske podne ploče.

Na slici 23 prikazana je faza u kojoj je postavljen podložni beton na već nasuti materijal, na koji će se postaviti armatura te će se izbetonirati. Podna betonska ploča razbijala se pomoću mini bagera te se materijal odvezio na gradilišnu deponiju pomoću električnog mini dampera. Nakon što je uklonjena betonska ploča i sloj materijala ispod nje (slika 22), novi materijal ubacivao se uglavnom kroz prozore (vidljivo na slici 23). Zatim bi se takav šljunak ravnomjerno rasprostirao te zbijao pomoću vibro ploče. Nakon zbijanja šljunka, postavio se podložni beton u debljini od oko 5 cm (slika 23) na koji ide armiranobetonska podna ploča. Ploča će se betonirati pomoću betonske pumpe, tako da će se automiješalica pozicionirati pokraj prozora te će se kroz prozore (kao kroz prozor na slici 23) provući pumpa.



Slika 23 Izrada betonske podne ploče

6.2. Ojačanje temelja (MUP Petrinjska)

Primjer kampadnog podbetoniravanja je kod obnove policijske postaje u Petrinjskoj ulici u Zagrebu. Zgrada je izvedena 1900.-te godine i nalazi se unutar Povijesne urbane cjeline Grada Zagreba. Sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća zgrada je rekonstruirana i dograđena dvorišnim objektom, a sastoji se od 5 etaža (podrum, prizemlje i tri etaže). Na zgradi se izvodi obnova u vidu konstruktivne sanacije s predviđenim ojačanjima. Obnovi se pristupilo zbog potresom oštećene građevinske konstrukcije, a kako bi se osigurala mehanička otpornost i stabilnost u odnosu na potresno djelovanje.

Konstruktivna obnova zgrade, međuostalim, uključuje izradu novih zidova uz obod zgrade kroz sve etaže, kako bi se pojačalo preuzimanje horizontalnih sila od potresa. Na mjestima izvođenja novih zidova, izvodi se i nova temeljna konstrukcija koja se povezuje sa starom. Prije istražnih radova, temeljenje zgrade nije bilo poznato jer nije postojala dokumentacija postojećeg stanja. Ustanovljeno je da se temeljna konstrukcija sastoji od temeljnih traka. Obavljenim istražnim radovima ustanovilo se da je tlo ispod temelja loše kvalitete te dolazi do slijeganja temelja. Projektom se zato, na temelju geomehaničkih ispitivanja, pristupilo ojačanju postojećih temelja u vidu kampadnog podbetoniravanja temeljnih traka.

Radovi se izvode tako da se kopa jama uz temelje te se temelj potkopava na dubini od jednog metra ili koliko je potrebno kako bi se temelj oslonio na čvrsto tlo. Ispitivanja su u ovom slučaju utvrdila da se iskop izvede na dubini jednog metra. Iskop se izvodi postepeno, uobičajeno u duljini jednog metra, kako ne bi došlo do narušavanja stabilnosti, a u ovom slučaju iskopavanje se izvodi u duljini od dva metra i to s obje strane zidova. Jedino će se kod vanjskih zidova jama otkopavati samo s unutarnje strane te će se podbetoniravanje vršiti s unutarnje strane. Treba napomenuti da je ovakav postupak dugotrajan, te je i rizičan jer se ugrožava stabilnost zgrade. Iskop uz temelje se izvodi pomoću mini bagera (slika 24), a ispod samih temelja izvodi se ručni iskop (slika 25).



Slika 24 Iskop pomoću minibagera



Slika 25 Ručni iskop

Iskopani materijal istovara se na transportnu traku (slika 26) i odlaže na gradilišnoj deponiji. Iskop mora biti precizan kako ne bi došlo do oštećenja postojećih temelja. Nakon što se iskopa tlo ispod temelja, postavlja se podložni beton. Zatim se postavlja armatura (slika 27) te nakon toga i beton kako je prikazano na slici 28.



Slika 26 Transportna traka



Slika 27 Armatura koja se ugrađuje

Na slici 28 može se vidjeti da su ostavljene armaturne šipke za novi zid. Prikazan je izbetonirani dio kojim je ojačan postojeći temelj, ali i koji će imati ulogu temeljne konstrukcije za novi nosivi zid. Projektom je bilo predviđeno da će se novi zidovi izvesti uz

obodne postojeće zidove, no izvest će se uz sve nosive zidove. Slika 29 prikazuje iskopani dio ispod temelja kod kojeg ide podložni beton te koji se na kraju betonira.



Slika 28 Kampadno temeljenje

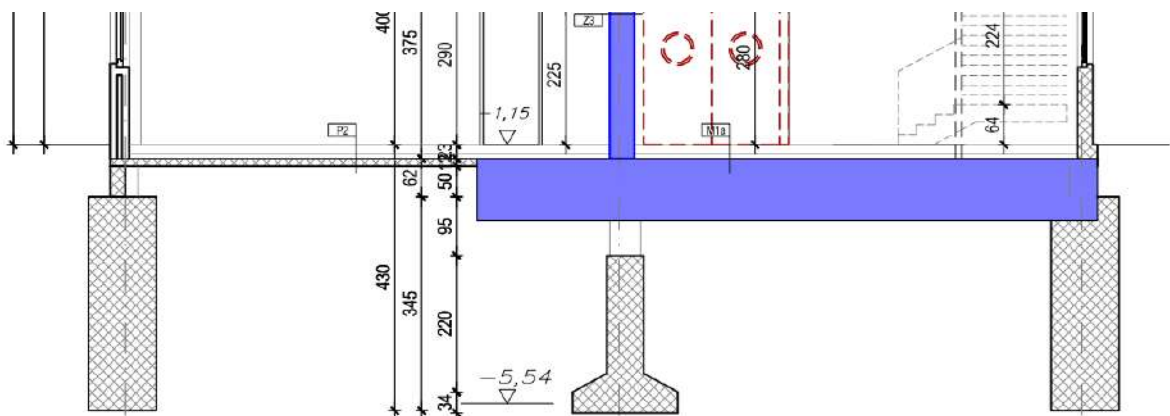


Slika 29 Iskopano područje ispod temelja

6.3. Ojačanje temelja (Građevinski fakultet u Zagrebu)

U tijeku obnove je i kompleks Arhitektonskog, Geodetskog i Građevinskog fakulteta u Zagrebu koji se sastoji od glavne i dvorišne zgrade. Zgrada se nalazi unutar zaštićene Kulturno-povijesne cjeline grada Zagreba. Zahvati se obavljaju na temelju elaborata ocjene postojećeg stanja građevinske konstrukcije te u cilju ojačanja od potresa pa će se izvršiti cjelokupno ojačanje nosive konstrukcije zgrade te adaptacija prostora i instalacija.

Tijekom projektiranja, od postojeće projektne dokumentacije dobiven je uvid u način temeljenja. Zgrada se radila tako da se izvodilo temeljenje na koti 4 metra ispod razine terena. Cijela razina bila je iskopana do dubine približno 4 metra te su se temelji izvodili na nosivom tlu. Po postojećoj projektnoj dokumentaciji, način temeljenja su temeljne trake koje imaju pravokutan oblik na rubnim dijelovima te trapezni oblik u središnjem dijelu kako je prikazano na slici 30. Nakon što su se izvele temeljne trake s pripadajućim stupovima i zidovima, to područje je zatrpano materijalom do razine terena.



Slika 30 Presjek postojećih temelja glavne zgrade

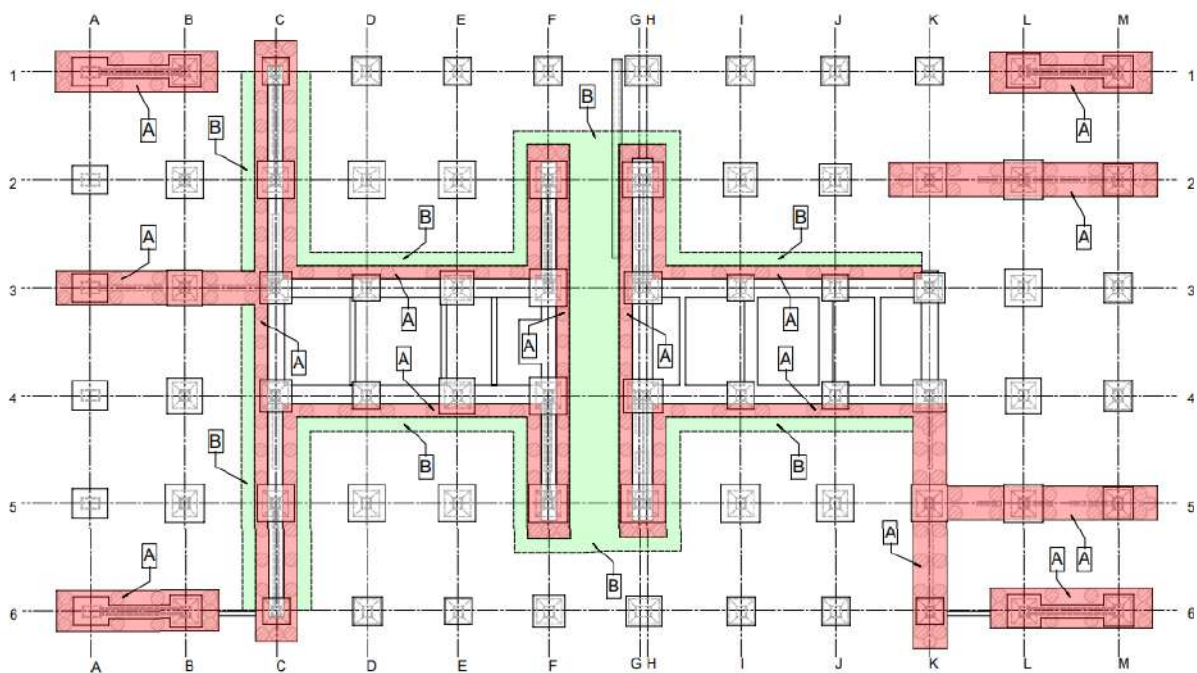
Kako je trenutnim projektom zadano protupotresno ojačanje nosive konstrukcije, trebalo je odabrati varijantu kojom će se izvoditi ojačanje temeljne konstrukcije. Prva varijanta bila je to da se iskopa tlo do razine temelja te da se postojeće temeljne trake ojačaju i izvedu nove, koje će se povezati s postojećima. Ovakav način radova, prije svega, predstavljao bi značajan obujam zemljanih radova za zgradu tlocrtnih dimenzija 124,5x15,5 metara. Drugi problem je to odgovaraju li postojeći temelji projektnoj dokumentaciji te bi li postojala opasnost od narušavanja statičke stabilnosti zgrade prilikom ovakvih zahvata.

Sljedeća varijanta koja je odabrana je mlazno injektiranje, odnosno jet-grouting. Ustanovljeno je da je ova varijanta sigurnija i manje komplicirana od prethodno navedene. Princip je u tome da se jet-grouting metodom ugrađuju piloti (stupnjaci) do nosivog tla. Negdje su visine do 8 metara te prolaze kroz glinu i šljunak. Ovakvi piloti izvode se uz područje nosivih zidova i postojećih temelja te su im razmaci različiti (kod nekih pilota udaljenost je 80 cm). Izvode se tako da se prvo iskopa jama dubine 1 metar te se s te razine izvodi mlazno injektiranje. Uloga ovakvih pilota je da ojačaju temeljno tlo, tj. da preuzmu tlačna opterećenja od konstrukcije. Kako se izvedeni piloti ponašaju kao betonski, oni mogu preuzeti samo tlačna naprezanja. Pri potresnom opterećenju, zidovi koji bi bili oslonjeni na ovakve pilote radili bi moment, odnosno uzrokovali bi vlačna naprezanja koje beton ne može preuzeti te bi potencijalno došlo do izdizanja pilota skupa s temeljnim tlom. Da ne bi došlo do toga, nakon mlaznog injektiranja u pilot se postavlja armatura (sidro) koja će preuzimati vlačna naprezanja. Ovakva armatura, koja se može vidjeti na slici 31 sidri se u novu podnu ploču sidrenom pločom, a podna ploča prati područje ugrađenih pilota, uz nosive stupove i zidove.



Slika 31 Armatura jet-grouting pilota

Kod dvorišne zgrade primjenjuje se isti princip ojačanja mlaznim injektiranjem, s tim da je zgrada drugačijeg nosivog sustava. Prvotno je ova zgrada imala dvije etaže, prizemlje i prvi kat, nakon čega je došlo do nadogradnje te su nadograđene još dvije etaže prilikom čega su postavljeni određeni stabilizacijski sustavi, no temelji kod ove zgrade su bili plitki, a tako je ostalo i nakon nadogradnje. Kasnije je nadograđen još i četvrti kat te su poduzete određene mjere ojačanja nosive konstrukcije. Sadašnjim projektom obnove je, kao i kod glavne zgrade, predviđeno ojačanje mlaznim injektiranjem, kojim će se na sličan način zgradi ojačati nosiva konstrukcija. Novi temelji izvest će se na čvrstoj podlozi od jet-grouting stupnjaka, a geometrija novih temelja projektirana je na temelju arhivske dokumentacije postojećih temelja. Projektirani promjer stupnjaka je 800 mm. Na slici 32 može se vidjeti područje izvedbe nove temeljne konstrukcije, gdje područje označeno crvenom bojom predstavlja novu temeljnu konstrukciju, dok je zelenom bojom označen iskop i izvedba novog dijela podne ploče. Kod dvorišne zgrade izvodit će se i podbetoniravanje postojeće temeljne trake ispod zabatnih zidova u kampadama duljine cca 150 cm.



Slika 32 Izvedba nove temeljne konstrukcije

Sama tehnologija izvođenja radova sastoji se od toga da se prvo iskopaju jame te se iskopani materijal odvozi na gradilišnu deponiju s koje se dalje odvozi. Bušenje se izvodi pomoću stroja za bušenje (slika 33) koji je hidrauličnim cijevima spojen na vanjsko postrojenje. Sastavni dio opreme je mikser injekcijske smjese te se takva smjesa dalje tlači prema stroju za bušenje.

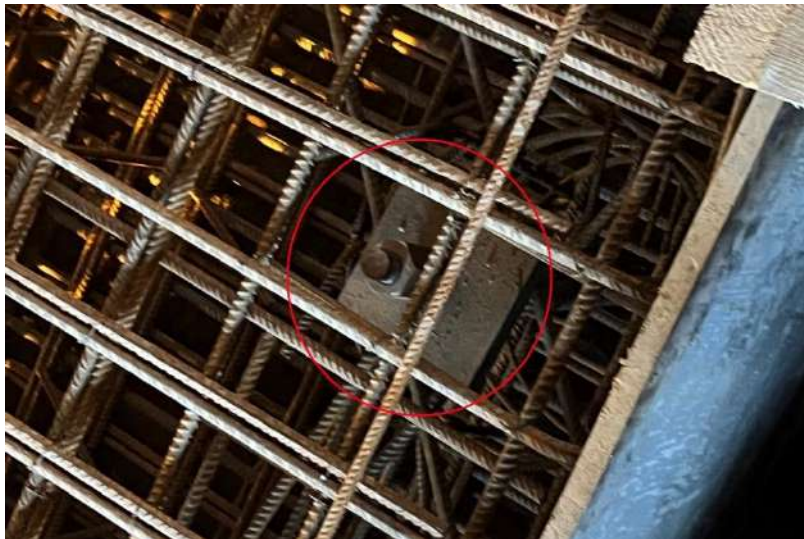


Slika 33 Stroj za bušenje

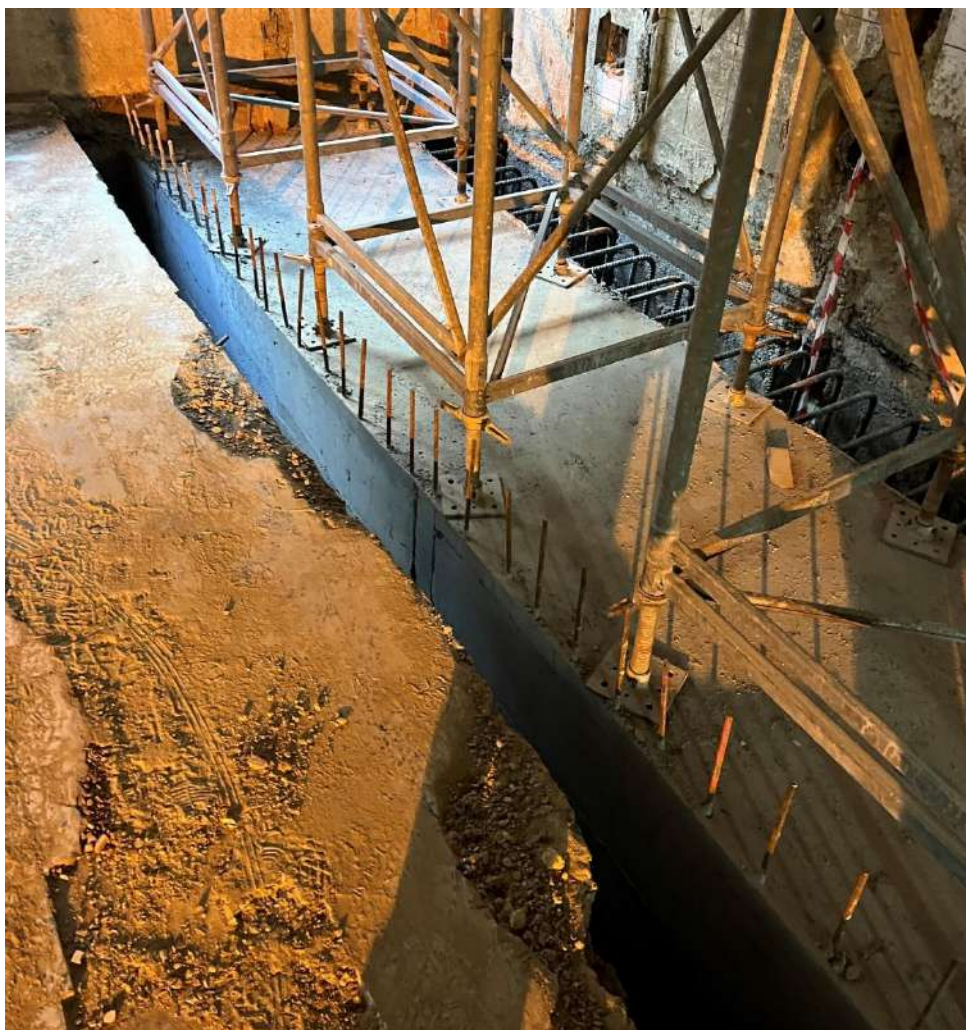
Bušaća cijev na vrhu ima krunu te se bušenje vrši pomoću vode pod pritiskom od 400 bara. Nakon bušenja, cijev se vraća nazad pri čemu se kroz otvore na kruni promjera 2,5 mm pod pritiskom izbacuje injekcijska smjesa, s tim da se takva smjesa u šljunku ponaša kao vezivo, dok je u glini potrebno izbušiti veću rupu kako bi se ona zapunila injekcijskom smjesom. Pri dizanju cijevi također se podiže i voda te izbušeno tlo. Nakon umetanja smjese, postavlja se sidro. Pri bušenju, bitno je da se istovremeno ne buše dva stupnjaka koji se nalaze na maloj udaljenosti, kako ne bi došlo do prodiranja tla u injekcijsku smjesu zbog pritiska. Nakon postavljenih jet-grouting stupnjaka, u jamu dubine 1 m postavlja se podložni beton, na kojeg se postavlja armatura vidljiva na slici 34. Sidro stupnjaka vezuje se pomoću sidrene ploče (slika 35). Nakon armiranja, betonira se nova ploča debljine 1 m pomoću pumpe (slika 34 i slika 36).



Slika 34 Armatura nove betonske ploče



Slika 35 Sidrena ploča



Slika 36 Nova betonska ploča

7. USPOREDBA TEHNIKA OJAČANJA

U radu su pregledane različite vrste ojačanja koje se koriste te je u primjerima prikazana izvedba nekih od ojačanja. Prilikom rekonstrukcije ili nadogradnje zahtijeva se detaljna analiza da bi se ustanovilo kakvi su zahvati potrebni. Kao što je ranije navedeno, takve analize definirane su i propisima te se sastoje od raznih istražnih radova, pregleda projektne dokumentacije itd. Nakon obavljenih analiza i ustanovljenih oštećenja ili nedostataka koje je potrebno ispraviti, uglavnom se nudi nekoliko varijantnih rješenja. Potrebno je odabrati ono koje će biti optimalno za zadani problem. Postoji više čimbenika pomoću kojih se odabire određeno rješenje, u ovom slučaju ojačanja temelja. Prvo se promatra u kolikoj je mjeri zahvat potreban (jesu li analize pokazale da je temeljima znatno opala nosiva funkcija, je li došlo do odvajanja od ostatka konstrukcije, kolika su slijeganja, kakva su svojstva tla itd.). Kad se ustanovi stanje, na temelju nekoliko faktora bira se onaj način izvedbe koji će za dani slučaj biti optimalan. To nije uvijek lako odrediti odmah te se treba promotriti više slučajeva. Kao prvo, hoće li promatrano rješenje zadovoljiti zahtijevanu nosivu ulogu, je li dostupna tehnologija kojom bi se zahvat izveo, kakva je dostupnost materijala na određenom području te koliko je određeni zahvat ekonomičan u odnosu na druga rješenja.

U nastavku će se ugrubo prikazati gdje se najčešće koriste, odnosno gdje se ne koriste neke od navedenih metoda. Zatim se navodi kakve je složenosti tehnologija izvođenja pojedine metode te koje su joj prednosti i mane.

Jačanje temelja betonskom oblogom

- Najčešće se koristi kod manjih oštećenja kada nije ugrožena nosivost konstrukcije (kod temelja koji su istrošeni, napuknuti, deformirani...). Uglavnom se koristi kod temelja od opeke i kamena
- Ne preporučuje se koristiti u situacijama kada je došlo do velikog prekoračenja dozvoljenog opterećenja ili do slijeganja tla
- Tehnologija izvođenja je relativno jednostavna ovisno o pristupu temeljima, no potreban je oprez prilikom iskopa jame kako se ne bi oštetili postojeći temelji. Iskop se može vršiti pomoću mini bagera te ručno. Za osnovu proračuna nužno je imati kruto povezane oslonce za koje se može pretpostaviti ponašanje, a što se postiže upravo ovakvim oblaganjem.

- U odnosu na druge zahvate jeftina metoda, materijali i strojevi koji se koriste su univerzalni, od materijala: beton, armatura i sidra kojima će se nova betonska obloga učvrstiti za postojeći temelj. Jačanje betonskom oblogom može imati isti učinak kao i podbetoniranje ako se povezivanje obloga napravi na način da se dvije strane obloge kruto i neodvojivo povežu. Ipak, podbetoniranje se preporučuje izvoditi ako se očekuje veća nosivost tla ili manja stišljivost tla na dubini na kojoj će se izvoditi podbetoniranje
- Kod iskopa jame može doći do izdizanja tla kako se vidi na slici 3 na kojoj je prikazano da kad se izvodi iskop kako bi se temelji proširili, tlo ispod temelja može biti potisnuto u iskopanu jamu, što se može dogoditi kod svake intervencije kod koje se temelj iskopava do razine temeljne plohe. Također, kod nepreciznog izvođenja može doći do dodatnog oštećenja temelja

Podbetoniranje temelja

- Koristi se kod temeljnih traka kod kojih je prekoračena nosivost tla ili u situaciji kada se zbog provedbe ojačanja mijenja raspored opterećenja po temeljima, zbog čega je potrebno osigurati siguran prijenos opterećenja u tlo. Najbolje ju je koristiti kod temelja ispod kojih dubina do nosivog sloja tla nije velika te kod zgrada kod kojih stabilnost ostalih nosivih elemenata nije narušena zbog drugih faktora (urušeni zidovi, ploče..., kod kojih bi svaki ovakav zahvat bio rizičan)
- Ne koristi se ako se ispitivanjima utvrdi da je dubina do nosivih slojeva tla prevelika te podbetoniranje ne bi imalo velikog utjecaja na sprečavanje slijeganja temelja
- Tehnologija izvođenja je srednje složena, najviše zbog iskopa ispod temelja. Takvi zahvati kod kojih se prekida prijenos opterećenja temelja u tlo uvijek su rizični tako da je potrebna preciznost pri izvođenju: iskop se vrši pomoću mini bagera te ručno ispod temelja, potrebna je obučena radna snaga koja će precizno izvoditi zahvate
- Materijali i strojevi koji se koriste su univerzalni, manji utrošak materijala, nego izvođenjem nove temeljne ploče. Kod pravilno izvedenog podbetoniranja i do razine nosivog tla, ojačani temelji imaju kapacitet preuzeti opterećenje bez prekoračenja dozvoljene granice
- Podbetoniranjem se može ugroziti stabilnost konstrukcije koja se ojačava, ali i okolnih konstrukcija ako su temeljene na manjoj dubini od dubine podbetoniranja

Izrada nove temeljne ploče

- Nova temeljna ploča često se izvodi kod promjene namjene objekta zbog značajnog povećanja opterećenja na temelje, u situacijama kada se identificira nejednolika stišljivost ili nosivost temeljnog tla unutar gabarita objekta, kada se mijenja namjena podrumskog prostora ili kada je zbog konstrukcije zahtijevano povezivanje svih zidova u razini temelja, a čime se postiže ujednačavanje ponašanja same konstrukcije
- Ne preporučuje se koristiti ako je osnova objekta prevelika (u poglavlju 6.3 kod obnove i ojačanja temeljne konstrukcije Građevinskog fakulteta u Zagrebu prikazana je djelomična izvedba ploče, samo uz nosive zidove i stupnjake) te kada opterećenje nije preveliko pa se može ojačati na druge načine
- Tehnologija izvođena je različite složenosti, ovisno o dostupnosti prostora u kojem se izvodi, uglavnom su to ograničeni prostori podruma gdje je potrebno koristiti za to prikladnu opremu i strojeve tako da se ovakav način izvodi ukoliko je to jedina opcija
- novom temeljnom pločom dosta će se ojačati preuzimanje opterećenja, pogotovo ako su na području ojačanja bile samo temeljne trake ili samci
- veliki obujam radova, od iskopa do zamjene stare ploče, ako se zamjenjuje starom. Ako je postojeće temeljenje izvedeno na većim dubinama te ako bi se nova temeljna ploča radila na toj istoj dubini, ovakav zahvat predstavljao bi visoki rizik za statičku stabilnost konstrukcije

Ojačanje pomoću pilota

- Često se koristi; primjena kod konstrukcija kod kojih se izvodi nadogradnja, kako bi skupa s postojećim temeljima mogli preuzeti dodatno opterećenje ili kad se ispitivanjima uoči da je na plitke temelje, nasuprot onim definiranim u projektu, opterećenje prekoračeno i dolazi do slijeganja. Cilj ojačanja pomoću pilota je omogućiti objektu čvrst oslonac na podlogu, bez obzira na to na koji način sami piloti djeluju (trenje ili samo kao kontakt između krutog tla i objekta)
- Ne preporučuje se koristiti ako će se koristiti strojevi za bušenje pilota koji uzrokuju nepoželjne dinamičke učinke na starije zgrade ili tlo
- Različite su tehnologije izvođenja, pošto postoji više načina izvođenja. Uz primjenu odgovarajućih strojeva, može se izvesti na efikasan i pouzdan način.
- Oprema koja se koristi i razvija za ovu tehniku ne zauzima veliki prostor, tako da ju je moguće pozicionirati u podrumima visine od 2 metra, kako je navedeno u poglavlju

4.5. te se ovim zahvatima neće mijenjati izgled strukture što je bitno kod zgrada kod kojih je zabranjeno ikakvo arhitektonsko i strukturalno narušavanje.

- Specijalizirana oprema koja se koristi može biti nedostupna ili skupa. Ako bi se, zbog uštede ili drugih razloga koristili nepouzdana strojevi za bušenje kod zgrada kod kojih su oštećenja nosivih dijelova velika, postoji opasnost od velikih vibracija koje mogu uzrokovati urušavanje dijelova ili cijele zgrade.

Jet-grouting

- Koristi se kod objekata kod kojih je temeljno tlo nedostatne nosivosti
- Ne koristi se kod objekata kojima je dubina do nosivog tla manja i kod kojih nema potrebe u velikoj mjeri ojačavati tlo te ga se može ojačati na druge načine. Nadalje, metoda je potpuno neučinkovita u područjima gdje se mogu očekivati kaverne u tlu jer sva smjesa oteče u kaverne, a nema kvalitetnog načina za provjeriti stvarnu nosivost novog „poboljšanog“ tla, već se provjerava samo promjer na samom vrhu i čupanje sidra (ako je to cilj injektiranja)
- Princip tehnologije izvođenja je da se koristi specijalizirani stroj te posebna smjesa za ojačanja, a potrebna je i za to obučena radna snaga. Zbog toga, cijena izvođenja ove tehnologije može biti dosta veća u odnosu na druge varijante
- Prednost ovakve metode u odnosu na druge je to da se ne zadire u postojeću temeljnu konstrukciju, nego se posebnim strojevima i smjesom ojačava temeljno tlo, kod kojeg se ojačani dio ponaša kao pilot
- Jet-grouting zbog velikog pritiska injekcijske smjese kojom ojačava tlo može razoriti strukturu tla, a što može biti kontraindikativno u situacijama gdje se u blizini nalaze bitni drugi temelji, objekti ili se sama struktura tla čuva

8. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazano je niz poznatih saznanja o ojačanju temelja prilikom obnove zgrada. Na temelju literature, prikazani su različiti aspekti koji se uzimaju u obzir prilikom utvrđivanja potrebe za ojačanjem temelja te koji su razlozi zbog kojih se pristupilo ojačanju. Ti aspekti obuhvaćaju i obnove i rekonstrukcije zgrada. Pri takvim zahvatima, zgradama se često mijenja konstrukcijski sastav, zbog čega je potrebno izvršiti detaljnu analizu, među ostalim, geomehaničkih karakteristika tla. Nakon nadogradnje objekata, potrebno je izvršiti i analizu dodatnog slijeganja, koje uzrokuje povećana masa objekta. Na osnovi istražnih radova, donosi se odluka o potrebi ojačanja temelja te ostalih dijelova konstrukcije. U radu su prikazane poznate metode ojačanja koje se koriste. Neke od njih su podbetoniravanje temelja, koje se izvodi kampadno, kod kojih se tlo ispod temelja iskopa do određene dubine, a zatim armira i betonira kako bi se ojačao postojeći temelj te oslonio na čvrstu podlogu tla. Jedna od metoda je i mlazno injektiranje, poznata kao Jet-grouting, a to je metoda ojačanja temeljnog tla pomoću posebne smjese koja se injektira u tlo. U radu je prikazano više varijanti ove metode, a varijante se najviše baziraju na tome s kojim fluidom se injektira smjesa u tlo. Tako se kod jednofluidnog sustava injektira samo smjesa, kod dvofluidnog smjesa u kombinaciji sa zrakom ili vodom, a kod trofluidnom u kombinaciji sa zrakom i vodom. Ove dvije metode prikazane su i primjerima tijekom obnove zgrada oštećenih potresom u Zagrebu. Opisan je način izvođenja podbetoniravanja na jednom gradilištu te ojačavanje temelja mlaznim injektiranjem na drugom s tehnologijom izvođenja. Prikazani su i neki od propisa za održavanje te unapređivanje svojstava građevine te je na primjeru obnove objašnjeno kako se vrši pregled stanja temelja. Na temelju pregleda literature te na temelju prikazanih primjera, objašnjeno je gdje se najčešće koristi pojedina metoda i gdje ju ima smisla koristiti te koje su njezine prednosti i mane u odnosu na druge metode ojačanja.

9. LITERATURA

Akbari, A., Eslami, A., & Nikookar, M. (2021). Influence of soil stiffness on the response of piled raft foundations under earthquake loading. *Transportation Infrastructure Geotechnology*, 1-17.

Arapov, I., Cvetković, M., & Kovačević, M. S.(2009.) Mlazno injektiranje–Projektiranje u uvjetima nesigurnosti Jet grouting–Designing in uncertainty conditions.

Banjad Pečur, Ivana; Skazlić, Marijan. Mlazno injektiranje i injekcijske smjese [PowerPoint slajdovi]. Preuzeto s web stranice Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu: Dostupno: Dostupno: <https://www.grad.unizg.hr/predmet/pbit>
[Pristupljeno: 15.09.2023.]

Cherney, O. T., Smirnova, Z. V., Vaganova, O. I., & Razorenov, V. A. (2020). Strengthening technologies of different types of foundations in buildings. *International Journal*, 8(6).

Chernyakov, A. (2011). Application of jet grouting during foundation reinforcement and reconstruction of historic buildings on land occupied by the state museum and reservation" Tsaritsyno". *Soil Mechanics & Foundation Engineering*, 48(5).

Croce, P., Flora, A., & Modoni, G. (2014). *Jet grouting: technology, design and control*. Crc Press.

HRN EN 1997-1:2012/NA:2012 Eurokod 7: Geotehničko projektiranje - 1. dio: Opća pravila - Nacionalni dodatak i HRN EN 1997-1:2012 Eurokod 7: Geotehničko projektiranje - 1. dio

Ing-jet d.o.o. *Mlazno injektirani stupnjaci*

Dostupno: <https://ing-jet.hr/za-mlazno-injektirane-stupnjake>

[Pristupljeno: 19.09.2023.]

Njock, P. G. A., Chen, J., Modoni, G., Arulrajah, A., & Kim, Y. H. (2018). A review of jet grouting practice and development. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 1-31.

Ojačanje temelja od šljunka armiranobetonskom obujmicom (2022.): Dostupno:<https://hourstrong.com/ojaanje-temelja-od-ljunka-armiranobetonskom/>

[Pristupljeno:15.09.2023.]

Pecker, A., Paolucci, R., Chatzigogos, C., Correia, A. A., & Figini, R. (2014). The role of non-linear dynamic soil-foundation interaction on the seismic response of structures. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12, 1157-1176.

Pender, M. J. (1996). Earthquake resistant design of foundations. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 29(3), 155-171.

Puljiz, M. (2020). *Proračun nosive konstrukcije i toplinska analiza kamene kuće* (Doktorska disertacija Sveučilišta u Splitu. Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije. Zavod za teoriju konstrukcija).

Radnić, J., Grgić, N., Buzov, A., Banović, I., Smilović Zulim, M., Baloević, G., & Sunara, M. (2021). Potres Petrinja magnitude Mw 6.4: glavni parametri potresa, utjecaj na građevine i preporuka za njihovu obnovu. *Građevinar*, 73(11.), 1109-1128.

Rodriguez, M., & Park, R. (1991). Repair and strengthening of reinforced concrete buildings for seismic resistance. *Earthquake Spectra*, 7(3), 439-459.

Stevanović, B., Ostojić, D., Milosavljević, B., & Glišović, I. (2014). Aseizmičko projektovanje i izvođenje ojačanja zidova, međuspratnih konstrukcija i temelja nadograđenih zidanih zgrada. *Izgradnja*, 5, 257-267.

Strigin, B., & Fedorov, V. (2018, June). Foundation reconstruction technology. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 365, No. 6, p. 062043). IOP Publishing.

Ukhov, S. B., & Sheinin, V. I. (2004). Prediction of Consolidation-Induced Settlement of a Dual-Layer Bed Subject to Increasing Surface Load over Time. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 41, 73-77.

Vukićević, M., Marjanović, M., Pujević, V., & Obradović, N. (2018). Ocjenjivanje metoda za predviđanje osne nosivosti utisnutih i zabijenih pilota u koherentnom tlu. *Građevinar*, 70(08.), 685-693.

10. POPIS SLIKA

Slika 1 Česte tehnologije ojačanja temelja (Cherney i dr., 2020.)	5
Slika 2 Tlačni dijagram u proširenoj temeljnoj plohi (Cherney i dr., 2020.)	6
Slika 3 Moguće podizanje temelja kod iskopa jame (Cherney i dr., 2020.).....	7
Slika 4 Jačanje temelja (a) injektiranjem; b) betonskom oblogom (Stevanović i dr., 2014.)....	8
Slika 5 Jačanje temelja betonskom oblogom (Hourstrong, 2022.)	8
Slika 6 Kombinirano ojačanje i proširivanje temelja (Stevanović i dr., 2014.)	9
Slika 7 Podbetoniravanje temelja (Puljiz, 2020.).....	10
Slika 8 Podbetoniravanje po fazama (Stevanović i dr., 2014.).....	11
Slika 9 Ojačanje temelja izradom nove temeljne ploče; (Stevanović i dr., 2014.).....	11
Slika 10 Shematski prikaz ojačanja temelja “Mega” pilotima (Stevanović i dr., 2014.)	13
Slika 11 Ojačanje temelja pomoću višeslojnih pilota (Cherney, 2020.).....	13
Slika 12 Redoslijed izvođenja mlaznog injektiranja (Arapov i dr., 2009.)	16
Slika 13 Shema toka fluida kod jednofluidnog sustava (Banjad Pečur, 2022.)	16
Slika 14 Shema toka fluida kod dvofluidnog sustava a) (Banjad Pečur, 2022.)	17
Slika 15 Shema toka fluida kod dvofluidnog sustava b) (Banjad Pečur, 2022.).....	18
Slika 16 Shema toka fluida kod trofluidnog sustava (Banjad Pečur, 2022.).....	19
Slika 17 Učvršćivanje temeljnog tla ispod temeljne plohe (Cherney, 2020.)	20
Slika 18 Povećanje površine prijenosa opterećenja betonskom pločom (Cherney, 2020.).....	20
Slika 19 Faze ispitivanja temeljnog tla pri geotehničkom projektiranju, izvođenju i korištenju konstrukcije (EN 1997-2:2006).....	25
Slika 20 Tijek izvođenja nove temeljne ploče za ugradnju lifta	28
Slika 21 Uklanjanje betonske podne ploče	28
Slika 22 Prikaz stanja nakon uklonjene podne ploče	29
Slika 23 Izrada betonske podne ploče	30
Slika 24 Iskop pomoću minibagera.....	31
Slika 25 Ručni iskop	32
Slika 26 Transportna traka.....	33
Slika 27 Armatura koja se ugrađuje	33
Slika 28 Kampadno temeljenje	34
Slika 29 Iskopano područje ispod temelja.....	34
Slika 30 Presjek postojećih temelja glavne zgrade	35

Slika 31 Armatura jet-grouting pilota.....	36
Slika 32 Izvedba nove temeljne konstrukcije.....	37
Slika 33 Stroj za bušenje	38
Slika 34 Armatura nove betonske ploče	39
Slika 35 Sidrena ploča.....	39
Slika 36 Nova betonska ploča	40

11. POPIS TABLICA

Tablica 1 Seizmički parametri (HRN EN 1998-5:20113)	25
Tablica 2 Faktori važnosti zgrada (HRN EN 1998-2:2011/NA:2011/Ispr.1:2014).....	26