

19 GEOTEHNIČKO ISTRAŽIVANJE

Geotehničkim istraživanjem procjenjuju se uvjeti u podzemlju prije nego započne faza građenja.

Geotehničko istraživanje prethodi geotehničkom projektiranju (neizostavnom dijelu projektiranja građevine). Pozicija geotehničkog istraživanja u građevinskim projektima definirana je Zakonom o gradnji (NN 175/03).

Zakon o gradnji (NN 175/03):

Ovim se Zakonom uređuje projektiranje, građenje, uporaba i uklanjanje građevine...

Sudionici u gradnji: investitor; projektant; revident; izvođač; nadzorni inženjer.

Prema **NAMJENI I RAZINI RAZRADE PROJEKTI** se razvrstavaju na: idejni projekt, glavni projekt, izvedbeni projekt.

Ciljevi geotehničkog istraživanja variraju ovisno o veličini i vrsti predloženih inženjerskih radova, ali pri tome je potrebno odrediti slijedeće:

- ✓ pogodnost lokacije za predloženi projekt;
 - ✓ uvjete građenja i značajke podzemlja;
 - ✓ potencijalne poteškoće vezane za podzemlje i/ili nestabilnosti;
 - ✓ podatke o podzemlju potrebne za projektiranje građevina.
- Planiranje istraživanja treba usmjeriti prema prikupljanju podataka o 3 različita aspekta uvjeta u podzemlju:
- ✓ stanje pokrivača i tla, što, osobito u slučaju koherentnih glinovitih tala, podrazumijeva laboratorijske pokuse i primjenu tehnika mehanike tla;
 - ✓ dubinu do stijene, čija dubina će značajno utjecati na tehniku iskapanja i način temeljenja;
 - ✓ osnovnu stijenu, čije su značajke čvrstoće i promjene u strukturi, kao i vjerojatnost da sadrži kaverne i ostale šupljine, vrlo relevantne za projekt.

CIJENA GEOTEHNIČKOG ISTRAŽIVANJA

Veličina i cijena geotehničkog istraživanja enormno varira ovisno o složenosti (vrsti) projekta i lokalnoj složenosti i/ili poteškoćama prirodnih, odnosno geoloških uvjeta.

Izraženo u postocima cijene projekta, podaci u tablici ilustriraju različite vrste projekata, ali pri tome ne odražavaju različite geološke uvjete.

Tipične cijene geotehničkog istraživanja

Projekt	% ukupne cijene	% cijene temeljenja
Zgrade	0.05-0.2	0.5-2
Ceste	0.2-1.5	1-5
Brane	1-3	1-5

Princip svakog geotehničkog istraživanja treba biti da ono treba trajati sve dok uvjeti u podzemlju nisu dobro utvrđeni da bi se građevinski radovi mogli provesti sigurno.

Ovaj princip se može i treba primjenjivati gotovo neovisno o cijeni, a čak će i dupliciranje budžeta za istraživanje povisiti cijenu projekta za <1%. Nasuprot tome, nakon neodgovarajućih geotehničkih istraživanja, nepredviđeni uvjeti u podzemlju mogu, a često i povećavaju cijenu projekta za >10%.

Neka novija istraživanja iz Velike Britanije jasno pokazuju važnost odgovarajućih geotehničkih istraživanja:

- ✓ 1/3 građevinskih projekata završava se kasnije zbog problema s podzemljem;
 - ✓ nepredviđeni uvjeti u podzemlju glavni su uzrok podizanja sudskih tužbi;
 - ✓ premašivanje cijene predviđene troškovnikom za više od pola nastaje uslijed neodgovarajućih geotehničkih istraživanja ili loše interpretacije podataka.
- Štednja na budžetu za geotehnička istraživanja najčešće se pokazala kao neekonomična.

Geotehnička istraživanja se plaćaju, neovisno o tome da li se provode.

FAZE ISTRAŽIVANJA

Početna faza

- ✓ kabinetska obrada postojećih podataka
- ✓ obilazak lokacije i vizualna procjena
- ✓ preliminarni izvještaj i plan terenskog istraživanja

Glavna faza

- ✓ terenska istraživanja
 - geološko kartiranje, ako je neophodno
 - geofizičko istraživanje ako je odgovarajuće
 - pokusi, raskopi i bušotine
- ✓ laboratorijski pokusi, uglavnom na tlu
- ✓ konačan izvještaj

Završna faza

- ✓ praćenje za vrijeme iskapanja i građenja

Ove faze su poredane od jeftinije prema skupljoj, tako da ih je potrebno provoditi ovim redoslijedom kako bi bile potpuno isplative.

Neophodno je početi s kabinetskim istraživanjem. Najjednostavnije i najminimalnije je konzultiranje postojećih geoloških karata, a to je ujedno i osnova za planiranje daljnjeg istraživanja.

Započinjanje istraživanja s bušenjem je neučinkovito i neekonomično. Neučinkovito je zbog toga što je često vrlo teško interpretirati jezgre bušotina bez da je prethodno poznat geološki kontekst. Neekonomično je stoga što bušotinama nije moguće predvidjeti i locirati probleme, koje je potrebno identificirati kabinetskim istraživanjima.

TEŠKI UVJETI GRAĐENJA

Učinkovitim geotehničkim istraživanjima, za vrijeme početnih kabinetskih istraživanja, prepoznat će se mogućnosti ili vjerojatnosti bilo koje vrste posebno teških uvjeta građenja koji postoje na lokaciji građenja.

Time se usmjeravaju terenska istraživanja ili prema tome da se eliminiraju mogućnosti za nastanak problema, ili se utvrđuje opseg geotehničkih problema.

Najčešći teški uvjeti građenja su:

- meki i varijabilni materijali pokrivača;
- trošna, slaba ili raspucana stijena;
- prirodne ili umjetne šupljine unutar osnovne stijene;
- aktivni ili potencijalni slom kosine i klizanje;
- stišljiv nasip;
- tečenje podzemne vode ili postojanje plina metana;
- neočekivani temelji starih građevina.

NEPREDVIĐENI UVJETI GRAĐENJA

Gradnja višekratne garaže u Plymouthu je dobar primjer kašnjenja projekta zbog nepredviđenih uvjeta građenja.

Veličina lokacije građenja je bila više od 200x70 m, potpuno prekrivena pokrivačem, odnosno bez izdanka osnovne stijene.

U 15 bušotina pronađena je osnovna stijena na dubini 5-10 m. Prilikom izvođenja pilota otkriveno je da je u reljefu osnovne stijene usiječen duboki kanjon starih strana; koji se protezao preko cca 10% lokacije; kanjon nije otkriven niti jednom bušotinom.

Projekt je zaustavljen da bi se napravilo 100 ispitivanja kojima je detaljno istražena dubina do vrha osnovne stijene. Kanjoj je nastao otapanjem relativno uskog sloja vapnenca, koji je bilo nemoguće predvidjeti.

ISTRAŽIVANJE PODZEMLJA

U okviru geotehničkih istraživanja provode se terenski istraživački radovi podzemlja (bušenja, in situ pokusi, geofizičke metode i sl.). Istraživanje podzemlja komplementarno je istraživanjima površine (inženjerskogeološkom kartiranju). Svrha istraživanja podzemlja je utvrditi inženjerskogeološke uvjete u podzemlju i njihove značajke na lokacijama istraživačkih

radova i to: (i) izravnim uvidom u stijene/tla, kopanjem raskopa ili izradom bušotina, iz kojih se uzimaju uzorci za laboratorijske pokuse; i (ii) neizravnim uvidom u distribuciju značajki stijena/tala, pomoću in situ pokusa i geofizičkim metodama.

Istraživački raskopi i bušotine

Istraživački raskopi. Dvije su osnovne namjene istraživačkih raskopa: uzimanje uzoraka materijala iz podzemlja i kartiranje podzemnih značajki i uvjeta. U tablici su prikazani osnovni tipovi istraživačkih raskopa, njihova osnovna namjena, prednosti i ograničenja.

Osnovni tipovi istraživačkih raskopa, njihova upotreba i značajke.

METODA ISKAPANJA	NAMJENA	PREDNOSTI	OGRANIČENJA
manulano kopane jame i šahtovi	uzorkovanje stijena/tala, <i>in situ</i> pokusi, vizualni pregled	dobivanje podataka iz nedostupnih područja, minimalni mehanički poremećaj stijena/tala	skupo, dugotrajno, ograničeno na male dubine, iznad razine podzemne vode
strojno kopani rovovi (eng. <i>backhoe trenches</i>)	uzorkovanje stijena/tala, <i>in situ</i> pokusi, vizualni pregled, određivanje dubine osnovne stijene i razine podzemne vode	brzo, ekonomično, najčešće dubine do 5 m, a moguće dubina do 10 m (najčešća širina 1 m)	doprema strojne opreme, ograničeno na dubine iznad razine podzemne vode, ograničeno dobivanje neporemećenih uzoraka
bušeni šahtovi	prethodi iskopu pilota i šahtova, istraživanje klizišta, drenažne bušotine	brzo, puno ekonomičnije od manualnih raskopa, minimalnog promjera 75 cm, a maksimalno 180 cm	doprema strojne opreme, teško dobivanje neporemećenih uzoraka, ograničen vizualni pregled
usjeci (eng. <i>dozer cuts</i>)	značajke osnovne stijene, dubine do osnovne stijene i podzemne vode, određivanje uvjeta iskapanja, postizanje veće dubine izrade rovova, osiguravanje nulte razine istraživačke opreme	relativno jeftino, stvaranje umjetnih izdanaka za geološko kartiranje	istraživanje ograničeno na dubine iznad razine podzemne vode

Metode bušenja istraživačkih bušotina i njihova primjena.

TEHNIKA BUŠENJA	PRIMJENA
ručna bušilica	plitka istraživanja iznad razine podzemne vode u pacijalno saturiranim pijescima i prahovima i mekim do krutim koherentnim tlima; može se koristiti za čišćenje bušotine između manevara u slučaju zarušavanja u mekom tlu ili ispod razine podzemne vode
bušenje s isplakom	koristi se u pijescima, prahovima i šljuncima bez gromada i u mekim do tvrdim koherentnim tlima; obično se primjenjuje na nedostupnim lokacijama; teško dobivanje neporemećenih uzoraka
rotacijsko bušenje	primjenjivo u svim tlima osim u onima koja sadrže krupne šljunke i gromade; nije praktično za primjenu na nedostupnim lokacijama zbog teške strojne opreme; jezgra stijena i tala ograničena na promjer manji od 15 cm
udarno bušenje	ne preporučuje se za upotrebu u slučaju potrebe dobivanja neporemećenih uzoraka, zbog poremećaja prouzročenih tehnikom bušenja i otežanog dobivanja jezgre; obično skuplje; obično se koristi u kombinaciji s bušenjem svrdlom ili isplakom za penetraciju u krupnije šljunke, gromade i stijene; promjene u brzini bušenja ukazuju na šupljine ili oslabljene zone u stijeni.

Istraživačka bušotina je zajednički naziv za cijelu skupinu istraživački objekata načinjenih raznim metodama bušenja, a sa svrhom dobivanja uvida u stijene/tla (vađenjem jezgre) i uzimanja uzoraka materijala. U tablici su nabrojane metode bušenja istraživačkih bušotina i područja njihove primjene.

Svrha istraživanja i vrsta potrebnih informacija uvjetovat će tehniku bušenja, ali i raspored i dubinu bušenja. Broj i razmak bušotina treba omogućiti praćenje bočnih i vertikalnih promjena inženjerskogeoloških uvjeta (rasjeda, bora, pukotina i sl.). Općenite preporuke za raspoređivanje istraživačkih bušotina ovisno o vrsti inženjerske građevine.

Tehnika bušenja, raspored bušotina i njihova dubina moraju osigurati podatke na osnovi kojih će biti moguće interpretirati geološki presjek. Iako samo bušenje provode specijalizirane ekipe, koje istovremeno prate i zapisuju promjene u vrsti stijena, zadatak inženjer geologa je determinacija jezgre bušotine. U okviru inženjerskogeološke determinacije jezgre bušotine potrebno je detaljno opisati značajke stijena i tala (opisano u poglavlju 7 i 10): vrstu stijena/tla, značajke materijala i značajke mase stijene/tla.

In situ i laboratorijski pokusi

Sastavni dio geotehničkog istraživanja su *in situ* i laboratorijski pokusi kojima se određuju fizičko-mehaničke značajke stijena/tala. Za provođenje ovih pokusa i bilježenje rezultata zadužene su specijalizirane ekipe. U okviru inženjerskogeološkog istraživanja zadaća inženjer geologa je proučiti zapise rezultata svih provedenih pokusa, jer oni predstavljaju dodatni izvor podataka za interpretaciju inženjerskogeološkog modela. U kombinaciji s bušenjem najčešće se koristi **standardni penetracijski pokus** (SPP ili SPT) čiji rezultati se mogu korelirati s relativnom gustoćom nekoherentnih tala i nedreniranom posmičnom čvrstoćom.

Geofizičke metode

Geofizičke metode predstavljaju indirektan izvor informacija o građi

podzemlja i značajkama stijena/tala. Osnovna namjena geofizičkih metoda u okviru geotehničkih istraživanja je upotpunjavanje podacima koji nisu mogli biti dobiveni inženjerskogeološkim kartiranjem površine i relativno plitkim bušenjem. Glavna primjena geofizičkih metoda je u fazi interpolacije podataka iz bušotina. Naime, geofizički presjeci predstavljaju 'most' između bušotina, pomoću kojega se koreliraju podaci determinacije bušotina i rezultati laboratorijskih i in situ pokusa. Za primjenu u inženjerskogeološkim istraživanjima najvažnije su seizmičke i geoelektrične metode i to mjerenja s površine i u bušotinama.

Seizmičke metode zasnivaju se na činjenici da elastična svojstva stijena/tala uvjetuju brzine širenja valova kroz njih (što je viši elastični modul, veća je brzina). Dominantne značajke stijena koje utječu na brzine valova su kristalinitet i porozitet. Brzine valova veće su u stijenama koje imaju kristalastu teksturu i niski porozitet, jer one imaju viši modul elastičnosti i više tlačne čvrstoće. Porozitet tla ovisi o granulometrijskom sastavu i obliku zrna. Na brzine valova također utječe i mineralni sastav: npr. prisustvo gline u vapnencima smanjuje brzine u odnosu na čiste vapnence. Glavni faktor koji u stijenama smanjuje brzine valova su diskontinuiteti (slojevitost, pukotine, folijacija) i trošnost stijenske mase. Utjecaj vode na brzinu širenja valova je različit za različite vrste valova. U inženjerskogeološkoj praksi koriste se **metode seizmičke refrakcije i refleksije**.

Geoelektrične metode koje se najčešće koriste u inženjerskoj geologiji sastoje se od mjerenja (s površine) otpornosti materijala. Njihova upotreba zasniva se na činjenici da je električna otpornost materijala posljedica mineralnog sastava, teksture i saturiranosti. Ukupna otpornost određenog materijala funkcija je složenog utjecaja svih ovih faktora. **Metoda električne otpornosti** najčešće se koristi za određivanje dubine do osnovne stijene, a uspješno se primjenjuje za određivanje granica klizišta.