

21 INŽENJERSKOGEOLOŠKO ISTRAŽIVANJE

VRSTE ISTRAŽIVANJA

Dva su osnovna tipa inženjerskogeoloških istraživanja: regionalne studije i istraživanja pojedinačnih lokacija.

Regionalnim studijama procjenjuju se potencijali i ograničenja u prostoru s obzirom na raspoloživost odnosno pogodnost zemljišta za određenu namjenu i na prirodne resurse. **Istraživanja pojedinačnih lokacija** se najčešće provode u inženjerskoj geologiji, a usmjerena su prema pridobivanju geoloških informacija koje utječu na projektiranje i građenje u okviru određenog geotehničkog ili rudarskog projekta, na točno određenoj lokaciji.

Definicija inženjerske geologije. U statutu Međunarodnog društva za inženjersku geologiju (*eng. International Association of Engineering Geology, IAEG*) inženjerska geologija definirana je kao znanost koja se bavi istraživanjem, proučavanjem i rješavanjem inženjerskih problema i problema vezanih za zaštitu okoliša, koji mogu nastati kao rezultat interakcije između geološkog okoliša i inženjerskih radova, tj. ljudskih aktivnosti; kao i predviđanjem geoloških hazarda, razvojem mjera zaštite od hazarda ili mjera njihova ublažavanja.

OSNOVNE VRSTE INŽENJERSKOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA

VRSTE ISTRAŽIVANJA	REGIONALNA ISTRAŽIVANJA (STUDIJE)	ISTRAŽIVANJA POJEDINAČNIH LOKACIJA
NAMJENA	<ul style="list-style-type: none">• istraživanje geoloških resursa (vodnih, mineralne sirovine i sl.)• istraživanje geoloških ograničenja (npr. geodinamički procesi kao geološki hazard)• odabir najpovoljnijih lokacija za određenu namjenu (npr. urbanizam)	<ul style="list-style-type: none">• istraživanje utjecaja građevina na geološki okoliš i obrnuto• podloga za projektiranje i građenje objekata• podloga za projektiranje ležišta mineralnih sirovina
PRIMJENA	<ul style="list-style-type: none">• urbanističko planiranje• vodoopskrba• rudarstvo• zaštita okoliša	<ul style="list-style-type: none">• geotehnika/građevinarstvo• rudarstvo
veličina istraživanog područja	nekoliko kvadratnih kilometara do nekoliko tisuća kvadratnih kilometara	nekoliko stotina metara kvadratnih (nekoliko hektara) do nekoliko kilometara kvadratnih
količina podataka i detaljnost podataka	mala količina podataka (ako se promatra po jedinici površine); podaci male preciznosti	brojni podaci velike preciznosti za određenu lokaciju

FAZE ISTRAŽIVANJA POJEDINAČNIH LOKACIJA

Inženjerskogeološka istraživanja uvijek se provode u okviru ostalih inženjerskih projekata, najčešće građevinskih (točnije geotehničkih) i rudarskih. Unutar svakog inženjerskog projekta postoje faze projektiranja, gradnje/izvođenja i održavanja. U okviru projektiranja razlikuju se tri vrste projekata: idejni, glavni i izvedbeni projekt. Svaki od ovih projekata potreban je radi utvrđivanja različitih rješenja građevine, koja se međusobno razlikuju po stupnju razrađenosti. Ovisno o fazi projektiranja inženjerskog objekta, razlikuju se i inženjerskogeološka istraživanja, s obzirom na količinu i kvalitetu potrebnih informacija.

Za vrijeme planiranja projekta (prelimirana faza; faza izrade idejnog projekta) primarni cilj svih istraživanja je predložiti nekoliko varijantnih rješenja, od kojih će samo jedno biti odabrano za kasniju daljnju razradu. Za svaki pojedini prijedlog potrebno je procijeniti i njegovu cijenu. Da bi se to moglo načiniti, mora se znati: što će se graditi, gdje, tj. na kakvoj podlozi i od kakvih materijala (npr. u slučaju nasipa potrebno je predvidjeti i nalazišta materijala). Inženjerskogeološkim istraživanjem prikupljaju se podaci o geološkim značajkama šire okolice planirane građevine, kako bi se na osnovi njih moglo dobiti tražene informacije za svako alternativno rješenje. U preliminarnoj fazi projekta primjenjuju se samo one metode inženjerskogeološkog istraživanja kojima se dobiva sveobuhvatni, ali općeniti uvid u cijelo potencijalno područje projekta. Prilikom odabira lokacija zadatak inženjer geologa je odrediti mjesta potencijalnih opasnosti od klizanja ili rasijedanja, za što je potrebno imati uvid u vrste stijena koje uzrokuju opasnost, njihove značajke i prostorni raspored. Iz iskustava u sličnim stijenama, s drugih područja, moguće je predvidjeti probleme koji mogu nastati tijekom građenja, te tako uključiti odgovarajuće mjere za njihovo sprečavanje/ublažavanje već u preliminarni projekt. Inženjerskogeološkim istraživanjem također treba procijeniti dubinu do stijene odgovarajuće kvalitete (svježije stijene) kako bi se približno izračunale količine tla i trošne stijene

koje je potrebno odstraniti. U slučaju potencijalnih slomova, inženjer geolog treba na osnovi poznavanja vrste stijene i geološke strukture predvidjeti tipove sloma (npr. klinasti slom). Rezultat inženjerskogeološkog istraživanja također je i aproksimativni model toka podzemne vode istraživanog terena. Nepotpuno ili pogrešno provedeno inženjerskogeološko istraživanje u preliminarnoj fazi projekta ima za posljedicu izbor krive lokacije, a time i pogrešnu (najčešće prenisku) procjenu troškova projekta.

U fazi izrade glavnog projekta (projektiranje u užem smislu riječi) istraživanjima se nastoje prikupiti sve potrebne informacije kako bi se mogla detaljno razraditi projektna dokumentacija. Pouzdanijim metodama istraživanja potrebno je potvrditi glavne zaključke iz preliminarnih istraživanja, a procijenjene količine preciznije odrediti, kako bi poslužile kao osnova za proračun stvarnih troškova. Značenje inženjerskogeoloških istraživanja prilikom utvrđivanja cijene izvođenja određene građevine dolazi do izražaja prvenstveno kod projektiranja temeljenja. Geotehnički modeli na osnovi kojih se projektira način temeljenja proizlaze kao rezultat suradnje inženjer geologa i geotehničkog inženjera. Projektne parametri - svojstva čvrstoće i deformabilnosti za stijene i tla, kao i njihova prostorna distribucija utvrđuju se terenskim istraživanjima (istraživačkim bušenjem, *in situ* pokusima, geofizičkim mjerenjima), laboratorijskim pokusima i inženjerskogeološkim kartiranjem. S obzirom da svaka izmjena u trenutku građenja može prouzročiti znatne troškove, vrlo je važno provesti kvalitetna istraživanja, koja će omogućiti što točniju interpretaciju geološke građe podzemlja i fizičko-mehaničkih značajki stijena/tala. Ovo se najslabije odražava kod projektiranja izvođenja podzemnih prostorija (npr. tunela) kod kojih je način iskopa izravno povezan s vrstom stijene/tla u kojoj se radi, tj. njezinom klasifikacijom. Zbog prognoznog karaktera geotehničkog modela (predviđanje građe podzemlja na temelju ograničenog broja pouzdanih podataka), usprkos provedenim istraživanjima, u praksi se mogu dogoditi i odstupanja. Kako bi se umanjile štetne posljedice nepredviđenih situacija, moguće je već u fazi izrade glavnog projekta predvidjeti alternativna rješenja, koja će

se, prema potrebi, primijeniti tijekom građenja. Kontinuirana suradnja inženjer geologa s projektantom najnaglašenija je tijekom projektiranja, a može biti i odlučujuća za uspješnost cjelokupnog projekta.

Za **vrijeme izvođenja/građenja** podzemnih prostorija, neophodna je stalna nazočnost inženjer geologa na radilištu, budući da je njegov zadatak klasificiranje stijena/tala u trenutku njihova iskopa uz praćenje tehnike izvođenja radova. Tla i stijene, tj. geološke uvjete potrebno je zabilježiti u trenutku njihova otkrivanja, bilo pomoću skica ili fotografija. Ove zabilješke višestruko su korisne, jer se

FAZE INŽENJERSKOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA POJEDINAČNIH LOKACIJA.

FAZE ISTRAŽIVANJA	PRELIMINARNA ISTRAŽIVANJA	DETALJNA ISTRAŽIVANJA	IMPLEMENTACIJSKA ISTRAŽIVANJA
SVRHA	<ul style="list-style-type: none"> istraživanje relativne pogodnosti alternativnih lokacija za određenu građevinu ili projekt određivanje opsega detaljnih istraživanja za potrebe projektiranja i građenja procjena troškova izvedbe objekata 	<ul style="list-style-type: none"> determinacija i interpretacija geoloških uvjeta koji imaju utjecaj na projektiranje i građenje (tzv. inženjerskogeološki uvjeti) određivanje fizičko-mehaničkih značajki geoloških materijala, u kojima se radi ili s kojima se radi, i procjena njihova ponašanja 	<ul style="list-style-type: none"> provjera rezultata istraživanja iz prethodne faze promjene projekta u slučaju nepredviđenih okolnosti, tzv. nepredviđenih inženjerskogeoloških uvjeta sanacija posljedica vezanih za geološke procese tijekom građenja
RAZINA PROJEKTA	<ul style="list-style-type: none"> projektiranje na razini idejnog projekta 	<ul style="list-style-type: none"> projektiranje na razini glavnog projekta 	<ul style="list-style-type: none"> građenje
količina podataka i detaljnost podataka	mala količina podataka manje preciznosti	brojni podaci velike preciznosti	mala količina podataka velike preciznosti

ELEMENTI ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je često sinonim za prikupljanje podataka raznim istraživačkim radovima. Međutim, istraživanje u punom smislu riječi obuhvaća sljedeće elemente: (1) formuliranje istraživanja; (2) prikupljanje podataka; i (3) interpretaciju podataka. Istraživanje se formulira u smislu postavljanja pitanja na koja je potrebno tijekom istraživanja odgovoriti i utvrđivanjem metoda prikupljanja podataka. Formuliranje istraživanja je početni korak u istraživanju, a provodi se u skladu sa svrhom istraživanja i mogućnostima, koje su uvjetovane vremenskim i financijskim okvirima inženjerskog projekta. Prikupljanje podataka i njihova interpretacija najčešće su paralelan proces. Tijekom interpretacije se prikupljeni podaci transformiraju u **informaciju korisnu za projekt**.

Formuliranje istraživanja je neophodno radi postizanja potrebne kvalitete informacija u predviđivom vremenu i u okviru predviđenih financijskih sredstva. Na osnovi postavljene svrhe projekta, formuliraju se ciljevi istraživanja. Ukoliko je svrha istraživanja odabir najpovoljnije trase prometnice, neki od ciljeva istraživanja bit će utvrditi: gdje su stijene boljih svojstava, gdje je podzemna voda, gdje su zone trošnosti itd. Tijekom formuliranja istraživanja također se mora definirati: veličina istraživanog područja; i detaljnost i količina potrebnih podataka. Veličina istraživanog područja ovisi o vrsti istraživanja, a detaljnost i količina podataka o vrsti istraživanja i razini projekta. Regionalnim inženjerskogeološkim istraživanjima najčešće se obuhvaćaju područja od nekoliko 10-aka do nekoliko 100-tina km², za razliku od inženjerskogeoloških istraživanja pojedinačnih građevinskih lokacija tijekom kojih je veličina područja obuhvata samo nekoliko puta veća od same lokacije građenja. Detaljnost i količina podataka se značajno povećavaju idući od regionalnih prema lokalnim istraživanjima. Također, najveća količina podataka i najveća preciznost se zahtijevaju u fazi izrade glavnog projekta pojedinog objekta, za razliku od preliminarnih ili implementacijskih istraživanja

Prikupljanje podataka za inženjerskogeološko istraživanje obavlja se u kabinetu i na terenu. U kabinetu se podaci prikupljaju iz već postojeće dokumentacije ili se koriste kabinetski istraživački postupci. Postojeća dokumentacija najčešće su izvještaji i karte nastali tijekom ranijih istraživanja predmetnog područje ili su to objavljeni znanstveni radovi (npr. članci). Svrha konzultiranja postojeće dokumentacije je stvaranje predodžbe o istraživanom terenu, uglavnom radi kvalitetnijeg i racionalnijeg planiranja ostalih istraživačkih radova/postupaka. Kabinetski istraživački radovi obuhvaćaju: interpretaciju avionskih i satelitskih snimaka; i proučavanje topografskih karata. Terensko prikupljanje podataka obuhvaća: inženjerskogeološko kartiranje; interpretaciju rezultata

koriste: (i) za provjeru geološke interpretacije iz faze projektiranja; (ii) kao dokumentacija u slučajevima potrebnih izmjena ugovorenog načina rada. Stalna komunikacija između inženjer geologa i projektanta za vrijeme građenja omogućava testiranje alternativnih rješenja i brzo reagiranje na promjene projekta uvijek kada i gdje je to potrebno.

Za **vrijeme održavanja građevine** inženjerskogeološka istraživanja se rijetko provode, osim u slučaju potrebe rješavanja problema izazvanih lokalnim nestabilnostima.

istraživačkog bušenja, in situ pokusa, laboratorijskih analiza stijena i tala i geofizičkih istraživanja. Inženjerskogeološko kartiranje je zadatak inženjer geologa, a sastoji se od obilaska terena i bilježenja svih podataka na kartu i u terenski dnevnik. Istraživačko bušenje, in situ pokuse, laboratorijske analize i geofizička istraživanja provode ekipe stručnjaka specijalizirane za te poslove, a inženjer geolog prati istraživačke radove, pri čemu sam bilježi neke rezultate (npr. determinacija jezgre bušotine) ili koristi njihove zapise o rezultatima istraživanja. Navedenim postupcima prikupljaju se podaci o geološkoj građi (inženjerskogeološkim uvjetima) i značajkama materijala.

Interpretacija je postupak kojim se prikupljeni podaci transformiraju u informaciju korisnu za projekt. Izvorni podaci se smatraju činjenicama, koje su izmjerene ili opažene na terenu, ili u kabinetu (tzv. 'sirovi' podaci). Analizom izvornih podataka dobivaju se interpretirani podaci, na osnovi kojih se donose zaključci i preporuke. Analiza podataka može se sastojati od više postupaka, što će biti ilustrirano na primjeru proširenja dionice trase ceste koja prolazi kroz usjek, a za koju je potrebno odrediti stabilnost kosina. Izvorni podaci u ovom primjeru su orijentacije pukotina u stijenskoj masi, koje je na terenu mjerilo nekoliko geologa i zapisivalo u terenske dnevnike. Analiza podataka započinje izradom stereografskih projekcija na odgovarajućim dijagramima, s ciljem identificiranja orijentacije glavnih setova pukotina. Nakon toga slijedi kinematička analiza stijenske mase radi definiranja tipa sloma kosine (planarnog, klinastog ili prevrtanja), za koju je važna relativna orijentacija setova pukotina u odnosu na orijentaciju zasjeke ceste. Priprema izvornih podataka za analizu sastoji se od izrade različitih vrsta prikaza podataka (u obliku tablica, grafova, presjeka). U inženjerskoj geologiji od osobite su važnosti prostorne varijacije podataka, tako da je većinu podataka potrebno predočiti na kartama, kako bi se uočile određene prostorne pravilnosti. U tu se svrhu mogu koristiti statističke analize kojima se određuje stupanj korelacije između pojedinih faktora. U posljednjoj fazi interpretacije se rezultati analiza transformiraju u zaključke i preporuke za daljnje istraživanje. Priilikom izrade zaključaka i preporuka koje proizlaze iz inženjerskogeoloških istraživanja potrebno je zadovoljiti sljedeće elemente. Zaključci i preporuke moraju biti formulirani u skladu sa svrhom projekta, i prezentirani na način prilagođen budućim korisnicima, koji najčešće nisu geološke struke (npr. inženjeri rudarstva ili geotehnike i sl.). Nadalje, trebaju biti potkrijepljeni podacima i analizama, pri čemu je potrebno jasno odvojiti izvorne podatke od interpretacije. Radi postizanja veće uvjerenosti zaključaka, korisniku se mora omogućiti uvid u to kako podaci podupiru zaključke.