

1. Uvod

1.1. Geotehnika, geotehničko inženjerstvo, mehanika tla i stijena

Geotehnika je dio uglavnom građevinske tehnike koji obuhvaća postupke planiranja konstrukcija i radova, strojeve, način korištenja materijala te postupke i vještine za izvođenje građevinskih radova u tlu i stijeni. Sami postupci i vještine za planiranje i izvođenje tih radova nazivaju se geotehničkim inženjerstvom. U tom je smislu geotehničko inženjerstvo dio građevinarstva, kao što je to na primjer i inženjerstvo konstrukcija, hidrotehničko inženjerstvo i inženjerstvo prometnica.

Temeljne discipline geotehničkog inženjerstva su mehanika tla i mehanika stijena. One proučavaju mehanička svojstva tla i stijena, postupke utvrđivanja tih svojstava kao i ponašanje tih materijala pod različitim utjecajima iz okoline, prvenstveno onih koji su izazvani građevinskim zahvatima. Kako mehanička svojstva tla i stijena kao i njihov prostorni raspored na svakoj lokaciji bitno ovise o njihovom nastanku i o njihovoj geološkoj prošlosti, geologija ima bitnu ulogu u geotehnici i geotehničkom inženjerstvu. Potreba za interpretacijom geološke prošlosti tla i stijena koje su u domašaju i pod utjecajem građevinskih zahvata, usmjerena prema problemima koji su povezani s građevinskim zahvatima u tlu i stijeni, potaknula je nastanak i razvoj posebne grane geologije koja se naziva inženjerskom geologijom. To je grana znanosti koja se nalazi na granici

između građevinarstva i geologije, na koju se geotehničko inženjerstvo u značajnoj mjeri oslanja.

Ovaj tekst u najvećoj će mjeri obuhvatiti rješavanje problema geotehničkog inženjerstva u tlu, mada se mnogi problemi mehanike stijena rješavaju na sličan način. Obradit će se problemi stabilnosti kosina, plitkih temelja, potpornih konstrukcija, dubokih temelja, ugradnje zemljanih materijala i nasipa, poboljšanja tla te problemi vezane uz dinamička opterećenja.

1.2. Geotehničko projektiranje

Građevinski poduhvati obuhvaćaju različite i često složene postupke koji trebaju osigurati ispunjenje postavljenih ciljeva i zahtjeva. Zahtjevi s građevinskog stanovišta prvenstveno su stabilnost, uporabivost i trajnost konstrukcije, njena otpornost na moguće vanjske utjecaje te izbjegavanje njenog nepovoljnog utjecaja na okoliš. Ovi se zahtjevi ponekad nazivaju bitnim zahtjevima za građevinu. Poseban zahtjev čini ekonomičnost izgradnje i korištenja građevine.

Da bi se osiguralo racionalno ispunjenje navedenih zahtjeva, potrebno je građevinske zahvate planirati. Dio tog planiranja čini izrada projekta kojim se utvrđuje oblik i dimenzije građevine i njenih dijelova te radovi potrebni za njenu izgradnju, a prilažu se i dokazi da će planirana građevina ili građevinski zahvat zadovoljiti navedene bitne zahtjeve. Zbog složenosti postupka planiranja, ono se provodi na više razina, od grubog planiranja na razini osnovne zamisli o budućoj građevini sve do vrlo detaljnog planiranja na razini konkretnih postupaka koji će se primijeniti pri njevoj izgradnji.

Samo se planiranje gotovo redovito vodi metodom pokušaja i pogreške u kojoj se pretpostavi neki zahvat ili građevina ili njezin dio, a zatim se provjerava ispunjenje traženih zahtjeva stabilnosti, uporabivosti, trajnosti, utjecaja na okoliš i zdravlje ljudi kao i njegove ekonomičnosti u svim kritičnim fazama kroz koje će se proći tijekom izgradnje i korištenja građevine. Obično se u prvim koracima ustanovi da neki od traženih zahtjeva nije ispunjen pa se zamišljena građevina ili njen dio mijenja sve dotle dok se ne zadovolje traženi zahtjevi. Taj se postupak naziva projektiranjem a dokument koji opisuje konačnu zamišljenu građevinu ili građevinski zahvat naziva se projektom. Dio projekta u kojem se prikazuje rješavanje probleme vezanih za tlo ili stijenu naziva se geotehničkim projektom. Obzirom na razinu detalja koji se rješavaju projektom, uobičajeno je razlikovati idejni

projekt, u kojem se naznačuju glavni problemi i njihovo rješavanje, glavni projekt u kojem se rješavaju svi problemi vezani za bitne zahtjeve na građevinu, te izvedbeni projekt, u kojem se rješavaju svi detalji naznačeni u glavnom projektu kao i detalji vezani na izvedbu same građevine.

1.3. Geotehnički podaci i geotehnički istražni radovi

Svaka građevina prenosi svoje opterećenje u tlo ili stijenu, a tlo ili stijena djeluju na građevinu. Mogućnost preuzimanja opterećenja na građevinu bez ugrožavanja bitnih zahtjeva koje ta građevina mora zadovoljiti kao i djelovanja koja se iz tla prenose na građevinu ovise o svojstvima tla i stijene. Ukupnost svih svojstava tla kao i njihov prostorni i vremenski raspored koji su od utjecaja na zadovoljenje bitnih zahtjeva na građevinu nazivaju se geotehničkim podacima. Za razliku od industrijski proizvedenih materijala koji se koriste u građevinarstvu, kao što su primjerice beton, čelik i opeka, tlo je uglavnom materijal nastao prirodnim procesima. Brojnost i različitost tih procesa kroz vrlo dugu geološku prošlost uvjetovao je veliku raznolikost svojstava tla kao i veliku raznolikost u prostornom rasporedu tih svojstava. Racionalno projektiranje ima za cilj utvrditi, koliko je to bolje moguće i u kolikoj mjeri ekonomske mogućnosti i raspoloživo vrijeme to dozvoljavaju, svojstva tla u mjeri od značenja za planirani građevinski zahvat. Iz tog se razloga gotovo uvijek provode geotehnički istražni radovi na svakoj lokaciji budućeg građevinskog zahvata.

Geotehnički istražni radovi provode se radi prikupljanja podataka o tlu koji su od značaja za ispunjenje bitnih zahtjeva na građevinu. Oni se provode odgovarajućim postupcima na terenu i u laboratoriju, ali i pretraživanjem postojećih podataka iz dostupnih izvora kao što su postojeće geološke karte, podaci o susjednim ranije istraženim lokacijama i slično. Svi se ti podaci razvrstavaju i interpretiraju kako bi se utvrdio vjerodostojan, prvo geološki, a zatim geotehnički model tla. Ovi će modeli poslužiti za analize kojima se provjerava zadovoljenje bitnih uvjeta za građevinu tijekom njene izgradnje i eksploatacije kao i za utvrđivanje načina i postupaka izgradnje. Zbog složenosti i raznolikosti tla geološki i geotehnički modeli su nužno samo više ili manje gruba slika ili idealizacija stvarnih uvjeta u tlu. Nužna razina idealizacije mora osigurati utvrđivanje svih svojstava tla čiji je utjecaj bitan

za upotrebljivo i pouzdano planiranje građevinskog zahvata te dokazivanje bitnih zahtjeva na građevinu.

Geološki model obično obuhvaća pogodan grafički i tekstualni prikaz slojeva i zona u tlu sličnog porijekla i uvjeta nastanka. Grafički prikazi sastoje se iz pogodnih karata i vertikalnih presjeka kroz tlo s naznakom bitnih geoloških podataka. Ovi podaci ovise o konkretnim prilikama na lokaciji, a mogu obuhvatiti slojevitost, vrste materijala u slojevima, vrijeme i mehanizme nastanka, različite pojave, kao što su pukotine, proslojci, njihov razmak i nagnutost, prilike vezane za podzemnu vodu kao i niz drugih bitnih podataka.

Geotehnički model nadovezuje se na geološki model s time da mu dodaje mehanička svojstva pojedinih materijala u slojevima. Ta svojstva su prvenstveno čvrstoća, krutost, vodo-propusnost, te pritisci podzemne vode i njihova moguća promjena u vremenu. Ti podaci se utvrđuju interpretacijom rezultata različitih pokusa. Interpretacija može biti složen postupak obzirom složenost ponašanja tla kao i ograničenja raspoloživih postupaka istražnih radova. Tehnološka i financijska ograničenja uvjetuju da je geološki i geotehnički model tla nužno približan i idealiziran sa stalno prisutnom vjerojatnošću da je promaklo utvrđivanje nekog bitnog svojstva tla ili čak neke bitne zone u tlu. To ima za posljedicu da su građevinski zahvati u tlu manje ili više opterećeni ponekad neizvjesnim stupnjem rizika od nepovoljnog događaja. Postojanje rizika od nepovoljnog događaja potakla je projektante da prilagode svoje postupke projektiranja na način da se taj rizik smanji na zadovoljavajuću razinu.

1.4. Prilagođavanje geotehničkog projektiranja mogućem riziku od nedovoljnog poznavanja tla

Neizvjesnost u utvrđivanju bitnih svojstava tla mogući je uzrok da građevinski zahvat u tlu neće ići kako je planiran s posljedicom gubitka vremena, novca, materijalnih dobara pa u ekstremnim slučajevima i ljudskih žrtava. Važno je iskustvo da tu neizvjesnost nikad nije moguće u potpunosti ukloniti. S druge strane, isto to iskustvo ukazuje da je nepovoljne događaje moguće, barem u statističkom smislu, učiniti dovoljno rijetkima.

Uz pojam neizvjesnosti vezani su često konfuzni pojmovi hazarda i rizika. Hazard čine fizička obilježja potencijalno štetnog događaja. Na primjer, ako dođe do pojave klizanja tla na nekoj padini na kojoj je izgrađen niz

obiteljskih kuća, kuće će biti ili srušene ili će ostati neupotrebljive. Hazard može biti izražen vrijednošću izgubljene imovine takvim nepoželjnim događajem. Ako bi se mogla barem grubo procijeniti vjerojatnost pojave klizanja na padini, onda bi rizik bio umnožak vrijednosti izgubljene imovine i te procijenjene vjerojatnosti. U matematičkom smislu riziku je blizak pojam matematičke nade. Očito je tako definiran rizik racionalnija mjera štetnog događaja od samog hazarda. Drugim riječima, hazard opisuje nepovoljni događaj, a rizik opisuje njegovu vjerojatnost i moguće posljedice. Tako će biti moguć isti rizik za nepovoljni događaj male vrijednosti i velike vjerojatnosti kao i za nepovoljni događaj velike vrijednosti, a male vjerojatnosti. U načelu, u težnji k projektiranju ekonomičnih građevina, za manje vrijedne hazarde mogu se prihvatiti veće vjerojatnosti nepovoljnih događaja. Ovakav pristup projektiranju danas sve više pobuđuje interes zbog svoje racionalnosti, ali ga je u praksi teško provesti zbog vrlo nepouzdanе procjene vjerojatnosti pojedinog štetnog događaja. Geotehnička praksa razvila je druge metode prihvatljive pouzdanosti projektiranja, ali svođenje rizika na prihvatljivu mjeru kao i upravljanje rizicima ostaje trajni cilj svakog racionalnog projektiranja.

Neizvjesnost u otkrivanju bitnih svojstava tla nije moguće ukloniti, ali ju je moguće smanjiti na prihvatljivu mjeru. Geotehnička praksa je razvila nekoliko metoda smanjenja rizika od štetnih događaja vezanih uz tlo:

- dovoljno kvalitetnih i za konkretni građevinski zahvat i konkretno tlo na lokaciji primjerenih istražnih radova;
- primjena postupaka u istraživanju, projektiranju i izvođenju koji su se dokazali u praksi što traži od geotehničkog inženjera stalno praćenje literature;
- primjena sustava opažanja pri izvođenju, interpretacija opažanja i prilagođavanje zahvata saznanjima stečenim interpretacijom opažanja (primjena metode opažanja u projektiranju);
- primjena dovoljno konzervativnih rješenja u projektiranju;
- primjena suvremenih metoda upravljanja rizicima (čija primjena u praksi je još u povojima).

Informacije o izvedenim zahvatima u različitim vrstama tla kao i o rezultatima odgovarajućih znanstvenih istraživanja omogućile su stvaranje fonda znanja i iskustava koji su dragocjena pomoć pri projektiranju građevinskih, a posebno geotehničkih zahvata. Ta se znanja i iskustva objavljuju u različitim pisanim dokumentima, člancima, knjigama, izvještajima ili danas i na Internetu. Da bi se rizici od izgradnje sveli na razumno malu mjeru, organizirana društava traže da svi sudionici u izgradnji

uvažavaju ta znanja i iskustva kako se pogreške ne bi ponavljale, a nepovoljni događaji izbjegavali. S tom svrhom izrađuju se norme kojima se utvrđuje minimalna potrebna primjena stečenog iskustva radi dovođenja rizika na dogovorno prihvaćenu razinu. Do nedavno svaka je zemlja izrađivala takve norme za sebe ili je prihvaćala neki već razvijeni sustav normi druge zemlje. Razvoj vlastitih normi u općoj eri globalizacije pokazao je i niz nedostataka među kojima je glavni u poteškoćama prekogranične razmjene dobara i usluga. Iz tog razloga se u Europi, posebno Europskoj uniji radi na izradi zajedničkih normi. U području građevinskog projektirana to je sustav Eurokodova koji će dobiti status isključive norme u zemljama Europske unije kao i nekim drugim zemljama 2010. godine.

1.5. Kratka povijest geotehnike

(dodat će se)