

1 Što je mehanika tla, geotehnika?

1.1 Problemi koje ćemo naučiti prepoznati, izbjeći, riješiti ili naći put rješenja

Gradimo li građevinu od opeke, drveta, betona, čelika... na zemlji, potrebno je opterećenje od ljudi, opreme,... vjetra, snijega,... vlastite težine prenijeti na tlo sigurno i bez neželjenih posljedica. Čak i za automobil, avion ili brod, trebamo, bar povremeno, cestu, uzletišta ili luku, opet na zemlji, opet na tlu. Građiva u graditeljstvu redovito biramo pažljivo ili pripremamo po provjerenim procedurama sustavno kontrolirajući kvalitetu. Pri tome, tlo je takvo kakvo na mjestu nađemo: često vrlo nehomogeno, često bitno mekše i slabije od ostalih građiva, te potpuno nepoznatih svojstava – jer je u pravilu nastalo mimo naše volje, izbora ili kontrole kvalitete.

Da bismo saznali dovoljno o svojstvima tla, o stišljivosti, čvrstoći, propusnosti... trebamo se pozabaviti danim tlom *in situ* - na mjestu. Proces prikupljanja i obrade podataka o lokaciji i tlu, te njihovu interpretaciju zovemo *geotehnički istražni radovi (geotechnical investigations)*.

Geološka znanja o lokaciji od velike su pomoći, jer često daju smjernice ili upozorenja: postojanje i pružanje slojeva, možda postojanje nekih posebno slabih slojeva ili zona, možda već razvijene klizne plohe, ... ali stvarna svojstva konkretnog danog tla potrebno je ispitati za svaku lokaciju posebno, i to na različitim dubinama. Idealno bi bilo poznavati svaki element podloge, ali najčešće moguće je tek pojedine podatke pridružiti cijelom sloju, odnosno dijelu tla koje nas zanima.

Pri tome

- vadimo – sa što manje poremećivanja – neporemećene uzorke tla koje ispitujemo na licu mjesta i potom u laboratoriju, pa im mjerimo čvrstoću, stišljivost, vodopropusnost,... u uvjetima koje biramo i namećemo na ispitni uzorak – tako dobivamo najtočnije podatke, ali svedene na elemente tla, dakle dobivamo relativno mali broj “točkastih” podataka,
- bušenjem dolazimo do uzoraka uzduž cijelog pravca bušenja – najčešće vertikalne – te, prema boji, teksturi i drugim svojstvima vizualno prepoznatljivima, kao i jednostavnim ispitivanjem, zaključujemo o rasprostiranju tla kroz bušotinu, i tako dobivamo “linijske” podatke: po bušenoj vertikali možemo detektirati postojanje slojeva, tj. granica između slojeva,
- radimo različita *in situ* ispitivanja – na malim razmacima uzduž bušotine, kontinuirano po pravcu, u ravnini ili cijelom ispitivanom volumenu, mjerimo električnu otpornost ili brzinu širenja valova kroz tlo i slično i tako dobivamo podatke niže preciznosti, ali takve da potvrđuju prostiranje masa jedinstvenih svojstava, upućuju na neka svojstva tla, kao i stupanj rastrošenosti stijene, ukazuju na postojanje slabih leća, možda rasjeda i slično,
- jasno, najkorisnije je kombinirati različita ispitivanja, možda započeti s inženjerskom geologijom, raditi geofizička ispitivanja, prema rezultatima dodati ispitivanja *in situ* i bušenje, ispitati uzorke u laboratoriju, te uspoređujući različite rezultate dobivene u različitim uvjetima, zaključiti o prostiranju i svojstvima tla.

Izvodimo li duboki podrum u blizini postojećih zgrada (danas česte *interpolacije*), nije moguće raditi u *širokom iskopu*. Kopanjem uz građevinu i njenu podlogu dovode se u pitanje uporabivost ili oštećenja postojećih građevina. Rješenje može pružati *vitka potporna konstrukcija*, i to *izvedena od čeličnih predgotovljenih elemenata, talpi*, kao *AB dijafragma*, kao *sustav pilota i sidara* ili kao potporna konstrukcija drugih oblika, ali tako da budu preuzeti pritisci tla i spriječi se deformiranje (prvenstveno horizontalno, te vertikalno) temeljnog tla postojećih građevina, pa onda i štete. *Potpornom konstrukcijom* pridrži se tlo i pri gradnji ceste ili u drugim situacijama gdje treba izvesti stepenicu, denivelaciju terena, a ona može biti vitka, ili može biti *masivni potporni zid*, a mnoštvo je i novih oblika geotehničkih rješenja: *armirano tlo, tlo pridržano sidrima, čavlane tlo...* kakvima se pridržava tlo, preuzima pritiske tla i kontrolira deformaciju tla.

Tlo je također građivo za cijeli niz *nasipa* i brana (*nasute brane*). Radi li se o cestovnom ili željezničkom nasipu, osnovni se zahtjevi odnose na stabilnost u različitim uvjetima opterećenja i različitim režimima podzemnih voda. Deformacije tla u nasipu ne smiju smanjivati kvalitetu prometa. Radi li se o brani ili hidrotehničkom nasipu,

dovoljno malena propusnost postaje jedan od bitnih zahtjeva, kako za sami nasip, tako i za temeljno tlo. Pri tome, budući da se radi o golemim količinama materijala, **pozajmište**, mjesto uzimanja materijala, treba biti što bliže mjestu ugradnje. Svi se ovi zahtjevi mogu ispuniti izborom zemljanih materijala, možda injektiranjem, dodavanjem geomembrana, možda konstruktivnih elemenata, te veoma pažljivom izvedbom.

Postojeće kosine ili kosine nastale gradnjom, također dio su geotehničke djelatnosti: **stabilnost kosine** može biti poremećena uslijed iskopa, dodatnog opterećivanja, promjene režima podzemne vode, jakih ili dugotrajnih kiša, naglog otapanja snijega, uslijed potresa ili u sličnim situacijama, te uslijed promjena svojstava tla. **Klizište** je ime za područja zemljanog i stjenovitog materijala u pokretu, skupa sa šumama ili naseljima na površini, nastala gubitkom stabilnosti kosine. Sanacija klizišta jedan je od čestih zadataka geotehničara u Hrvatskoj. Sve češće, također, postavlja se pitanje utjecaja klimatskih promjena, od kojih povećanje količine oborina najviše utječe na stabilnost kosina, a na žalost, najmanje su pouzdane projekcije koje možemo napraviti.

Odlagališta otpada otvorila su novo područje u geotehnici. Prvo, svojstva otpada slična su svojstvima tla. Drugo, podloga za odlagalište otpada posebni je geotehnički objekt, često sastavljen od naizmjeničnih slojeva gline (što manje propusnosti) s sintetičkim membranama (praktički nepropusnim), sa šljunčanim drenažnim slojevima. Osim pitanja ugradnje, treba voditi brigu i o ponašanju podloge u različitim uvjetima tijekom njene uporabe, dakle zauvijek.

Slijeganje tla (settlement) pomak je površine tla ili dna temelja uslijed deformiranja tla zbog izvedbe građevine ili zbog drugih ljudskih djelatnosti ili prirodnih pojava. Na primjer crpljenje vode u području grada Mexico učinilo je takve promjene u podzemlju da su se površinski temeljene građevine slegle i do oko 7 metara. Pri tome objekti temeljeni duboko slegli su se manje, te su izvirili metrima iznad površine terena.

Tako i **smrzavanje tla** ili – u vrlo hladnim područjima – **topljenje tla** (npr. ispod zgrada u kojima se grije) mogu izazvati nezanemarive deformacije tla.

Dinamički opterećeno tlo čini posebno područje geotehnike – važno kod temeljenja strojeva i sl., te u slučaju potresa.

Potres posebno može promijeniti svojstva tla. Utjecaj potresa pri tome, budući da se na građevinu prenosi kroz tlo, bitno ovisi o svojstvima tla. Tlo može pojačati djelovanje potresa ili ga smanjiti. U rahlom tlu pri potresu dolazi do zbijanja, a – ako je tlo zasićeno vodom – može doći i do **likvefakcije (liquefaction)**, pojave smanjivanja čvrstoće tla i – u ravnim područjima – do višemeterskog slijeganja i **ključanja tla (sand boiling)**, pri čemu zakopani objekti, kao vodovodne i kanalizacione cijevi... isplivaju na površinu potrgavši se pri tom, ili – na kosinama, čak malih nagiba od nekoliko stupnjeva – do klizanja nazvanog **tečenje tla (flow failure)** na duljinama od više metara ili kilometara.

Posebnu pažnju u geotehnici dajemo vodi zbog važnosti koju ima **prisutnost vode** na ponašanje tla, kao i utjecaj **tlaka vode u porama (pore water pressure)** – koji možemo svesti na uzgon i strujni tlak. Pri tome razina podzemne vode i smjerovi strujanja vode mijenjaju se iz sezone u sezonu, iz godine u godinu, a zanemarivanje utjecaja vode često vodi do golemih šteta.

1.2 Što je tlo? Stijena i tlo, meka stijena i kruto tlo.

Nastajanjem i vrstama stijena bave se geologija i petrologija; razlikujemo:

- ◆ eruptivne ili magmatske stijene,
- ◆ sedimentne (taložne) stijene (koje nastaju kroz sljedeće faze: trošenje, transport, taloženje, stvrdnjavanje ili litifikacija, dijageniza ili promjena minerala): klastične i neklastične sedimentne stijene,
- ◆ metamorfne stijene;

ili

- vezane i čvrste stijene: magmatske, dio sedimentnih i metamorfne stijene:
 - ⇒ u geotehnici: **stijene**,
- poluvezane stijene: gline, prah, slabi lapori, prapor ili les,
 - ⇒ u geotehnici: **sitnozrno tlo**: veći dio (maseni) čvrstih čestica sitnije je od oko 0,06 mm, **meka stijena i kruto tlo**: prijelaz između stijene i tla,
- nevezane stijene: šljunak, pijesak:
 - ⇒ u geotehnici: **krupnozrno tlo**: veći dio (maseni) čvrstih čestica veće je od 0,06 mm.

1.3 Mehanika tla, mehanika stijena, temeljenje, geotehnika.

Svojstva stijena dominantno su određena kontinuiranošću i raspucalošću: uzorak stijene, ispitan u laboratoriju, pokazat će svojstva materijala, ali će do deformiranja ili loma u stijeni doći prije svega u ovisnosti o postojećim sustavima pukotina. **Mehanika stijena** je disciplina koja se bavi svojstvima i ponašanjem stijene i stijenske mase (*rock mechanics*). Tlo je sastavljeno od čvrstih čestica koje čine **skelet tla**, te vode i zraka u porama između čvrstih čestica. Za razliku od komada stijene, kamena, čestice tla se djelovanjem vode, ili, na primjer prstima, mogu odvojiti od grumena tla. **Mehanika tla** je disciplina koja se bavi svojstvima i ponašanjem tla (*soil mechanics*). U posljednje vrijeme sve se više istražuje ponašanje meke stijene i krutog tla (*soft rock and stiff soil*) na granici ova dva područja, te dolazi do spajanja dvije discipline u jedinstvenu disciplinu **Mehanika tla i stijena**. **Temeljenje** je dio inženjerstva koji, primjenjujući saznanja iz mehanike tla, rješava onaj dio projektiranja i izvedbe građevine koji se odnosi na temelje. **Geotehnika** pokriva i temelje i potporne konstrukcije i nasipe i brane i sve ostale inženjerske ili znanstvene djelatnosti vezane za tlo, uključujući i kruto tlo, meku stijenu i stijenu.

Iako je tlo oduvijek nezaobilazni dio graditeljskog posla, te predmet znanstvenog istraživanja negdje od 18. stoljeća, začetnikom ove discipline smatra se Karl Terzaghi, a začetkom njegovo objavljivanje knjige *Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer grundlage* 1925. godine. Konferencije Međunarodnog društva za mehaniku tla i temeljenje održavaju se od 1936. otprilike svake četiri godine, a 1997. godine, društvo je preimenovano u Međunarodno društvo za mehaniku tla i geotehničko inženjerstvo, **International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ISSMGE**, zbog bitnog proširenja područja djelatnosti unutar discipline. Društvo djeluje u mnogim tehničkim odborima, te kroz nacionalna društva, a redovito se održavaju i regionalne konferencije. Odnedavno se zbornici radova Društva objavljuju online, kao i zapisi predavanja koja održavaju izabrani eksperti, newsletters i slično. Sve se to može vidjeti na <https://www.issmge.org/>. Službeni jezici su tradicionalno engleski i francuski, iako se francuski u posljednje vrijeme koristi sve rjeđe.

Međunarodno društvo za mehaniku stijena i inženjerstvo stijena, **International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering, ISRM**, također ima bogate web stranice, <https://www.isrm.net/>, redovite svjetske i regionalne konferencije, webinare svaka tri mjeseca, bogatu literaturu, preporuke, rječnik koji povezuje niz jezika i slično.

Shvaćajući važnost međusobne suradnje, ova su dva međunarodna društva, zajedno s Međunarodnim društvom inženjerske geologije, **International Association of Engineering Geology, IAEG**, i **International Geosynthetics Society, IGS**, udružene u Međunarodnu federaciju geotehničkih društava, **Federation of International Geo-Engineering Societies, FedIGS**, o kojoj se može ponešto vidjeti na ne dobro održanim stranicama <https://www.geoengineeringfederation.org/>.

Što se tiče Hrvatske, geotehničari su bili organizirani na razini države od 1949. godine, a 1983. osnovano je Društvo za mehaniku tla i temeljenje Hrvatske, 1990. preimenovano u Hrvatsko društvo za mehaniku tla i temeljenje, 1997. u Hrvatska udruga za mehaniku tla i geotehničko inženjerstvo, koja se 2006 spojila s Hrvatskim društvom za mehaniku stijena te je nastalo **Hrvatsko geotehničko društvo, HGD, Croatian Geotechnical Society**. Društvo redovito organizira savjetovanja, u posljednje vrijeme s međunarodnim sudjelovanjem ili međunarodna, a vrlo uspješno organizirana je i Podunavska konferencija za mehaniku tla i geotehničko inženjerstvo Poreč 1998., koja je okupila vrhunske predavače iz cijelog svijeta i 300 sudionika. 2009. godine Društvo je također vrlo uspješno u Cavtatu organiziralo europsku konferenciju za mehaniku stijena, Eurock 2009. Društvo organizira i radionice, Geotehnički okrugli stol, te, otprilike jednom godišnje, Nonveiller Lecture, našem sjajnom profesoru Ervinu Nonveilleru u čast predavanja najpoznatijih naših i izabranih vrhunskih svjetskih geotehničara. Podaci o ovim i drugim zanimljivim događajima, novosti, zbornici radova za sve novije i kad je to moguće, objavljeni su na stranicama HGD, <http://www.hgd-cgs.hr/>, koje se objavljuju na hrvatskom i engleskom jeziku.