

Temeljenje

Antun Szavits-Nossan
2012.

Sadržaj

- Uvod
- Plitki temelji
 - Granična stanja
 - Nosivost plitkih temelja
 - Slijeganje temelja samaca
 - Interakcija konstrukcija-temelj-tlo
- Temelji na pilotima
 - Granična stanja
 - Uzdužno opterećenje pilota
 - Poprečno opterećenje pilota
 - Piloti u grupi

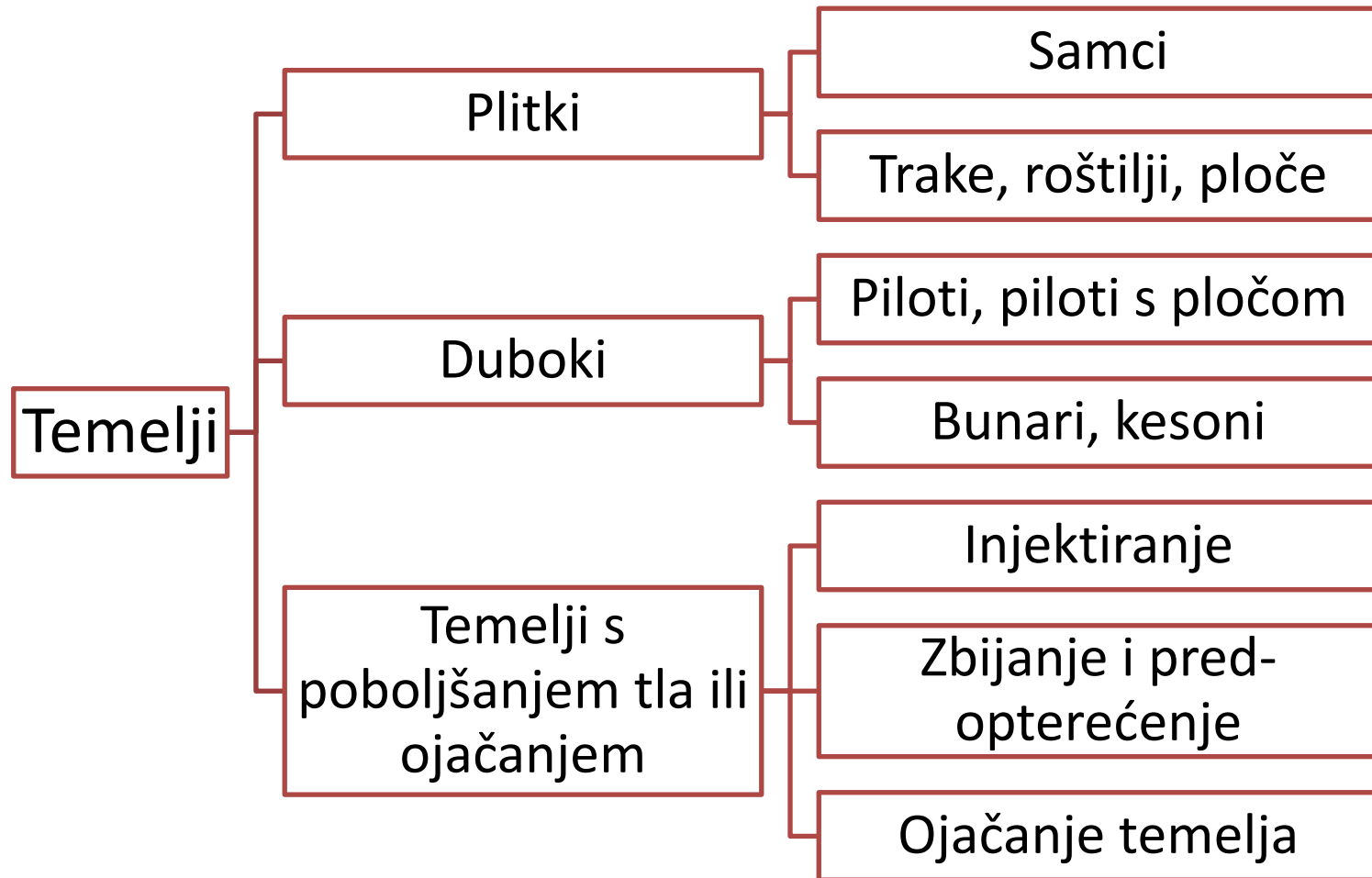
Uvod

- Temelj i temeljenje
- Vrste temelja
- Projektiranje temelja
- Zakonski okvir projektiranju u RH
- Projekti i drugi dokumenti
- Projektiranje i istražni radovi
- Elementi mehanike tla važni za temeljenje
- Osnovi projektiranja prema Eurokodu 7
- Umjesto zaključka: ponašanje temelja i pojednostavljenja

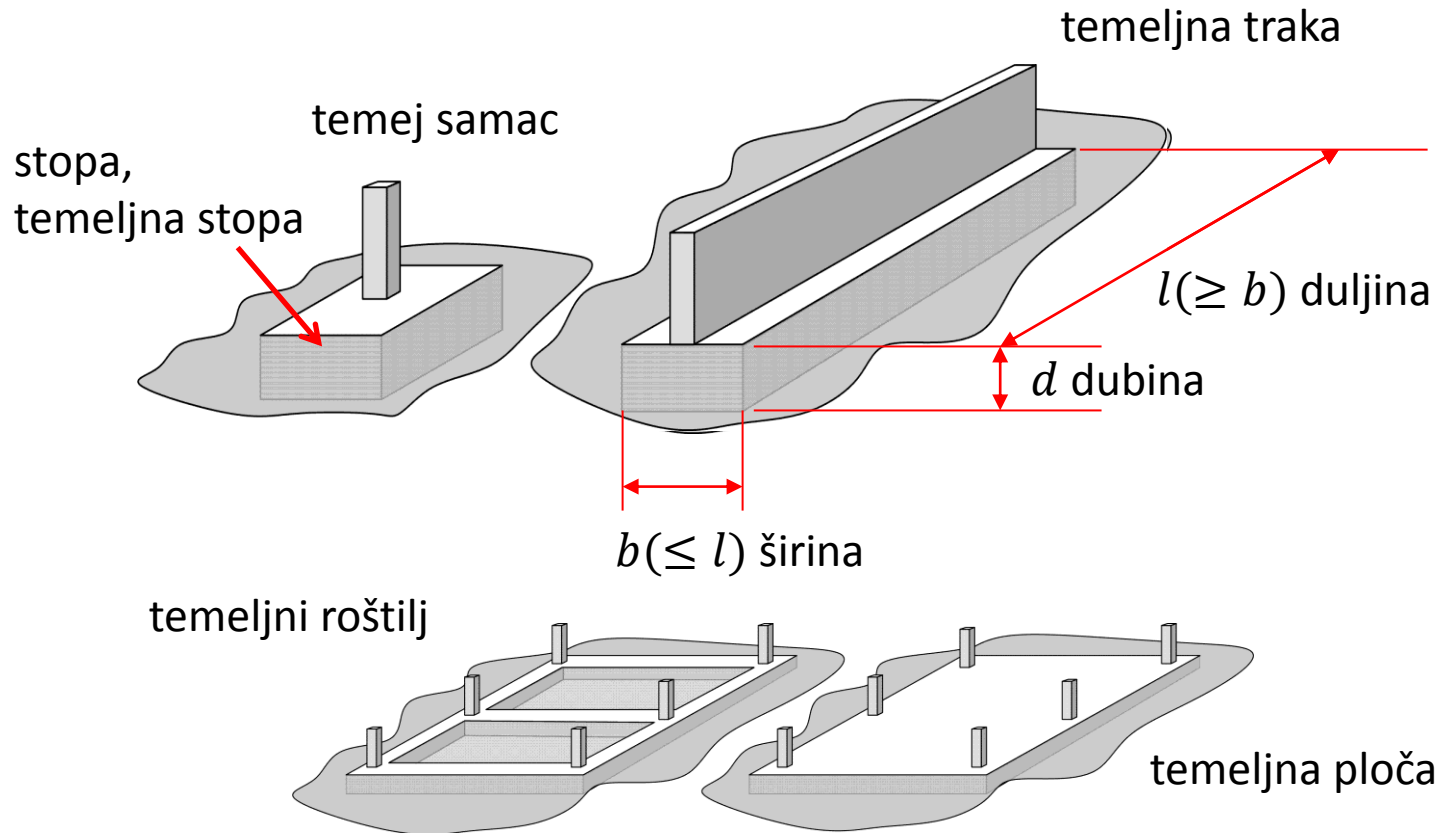
Temelj i temeljenje

- Temelj: dio konstrukcije koji prenosi opterećenja ostalih dijelova konstrukcije u tlo;
- Uspješni temelj: temelj koji sigurno i ekonomično prenosi opterećenja u tlo uz zadovoljenje niza uvjeta koje nameće vrsta, svrha i životni vijek konstrukcije, svojstva temeljnog tla, raspoloživa sredstva za izvođenje temelja, ...
- Temeljenje: radnje koje treba planirati (projektirati), izvoditi i dovršiti da bi se izgradili temelji;
- Teoretsku osnovu za projektirane temelja čine mehanika tla, teorija konstrukcija te mehanika materijala iz kojeg je izgrađen temelj (ziđe, beton, čelik, drvo, ...)

Vrste temeljenja

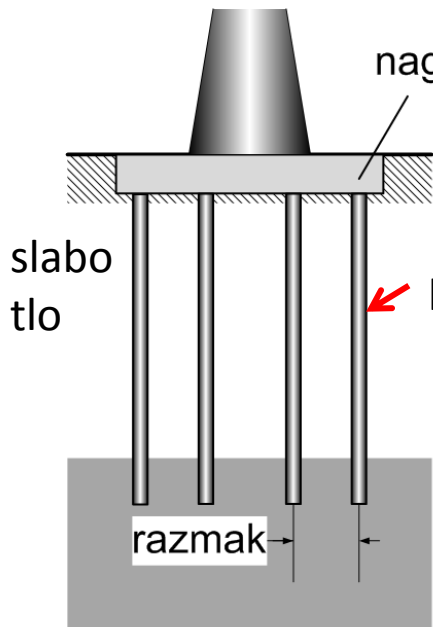


Plitki temelji



Duboki temelji - piloti

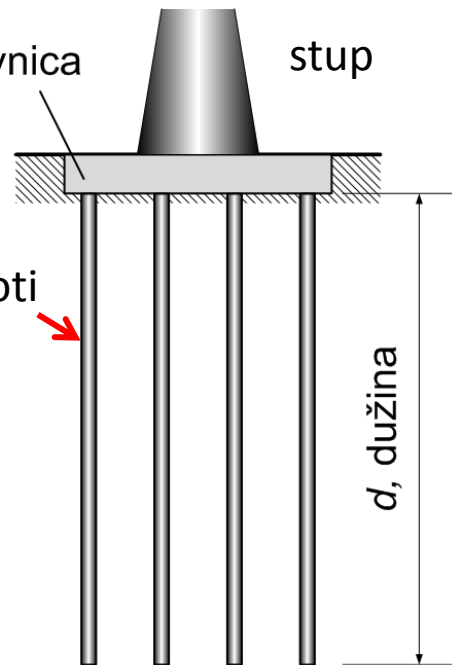
Piloti nosivi na kraju



čvrsto

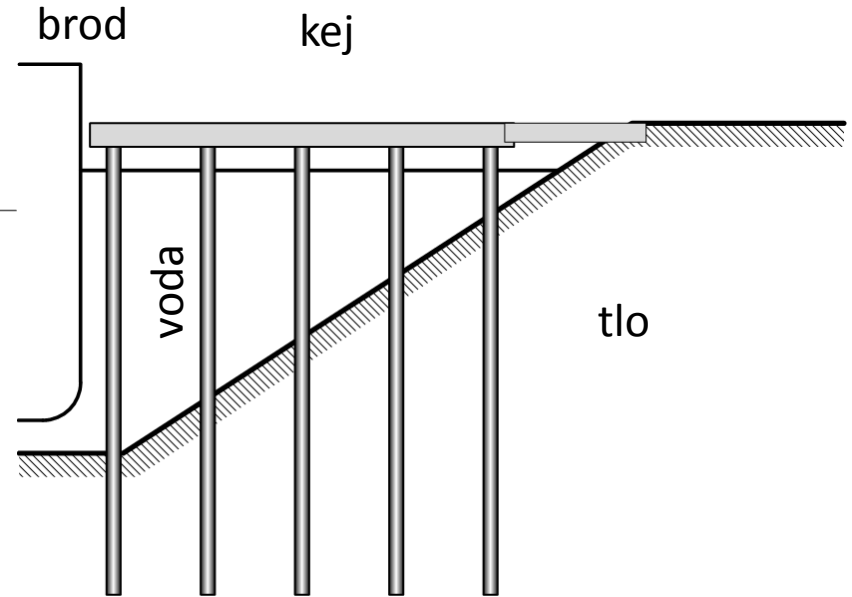
tlo ili stijena

Piloti nosivi na trenje,
„plivajući” piloti

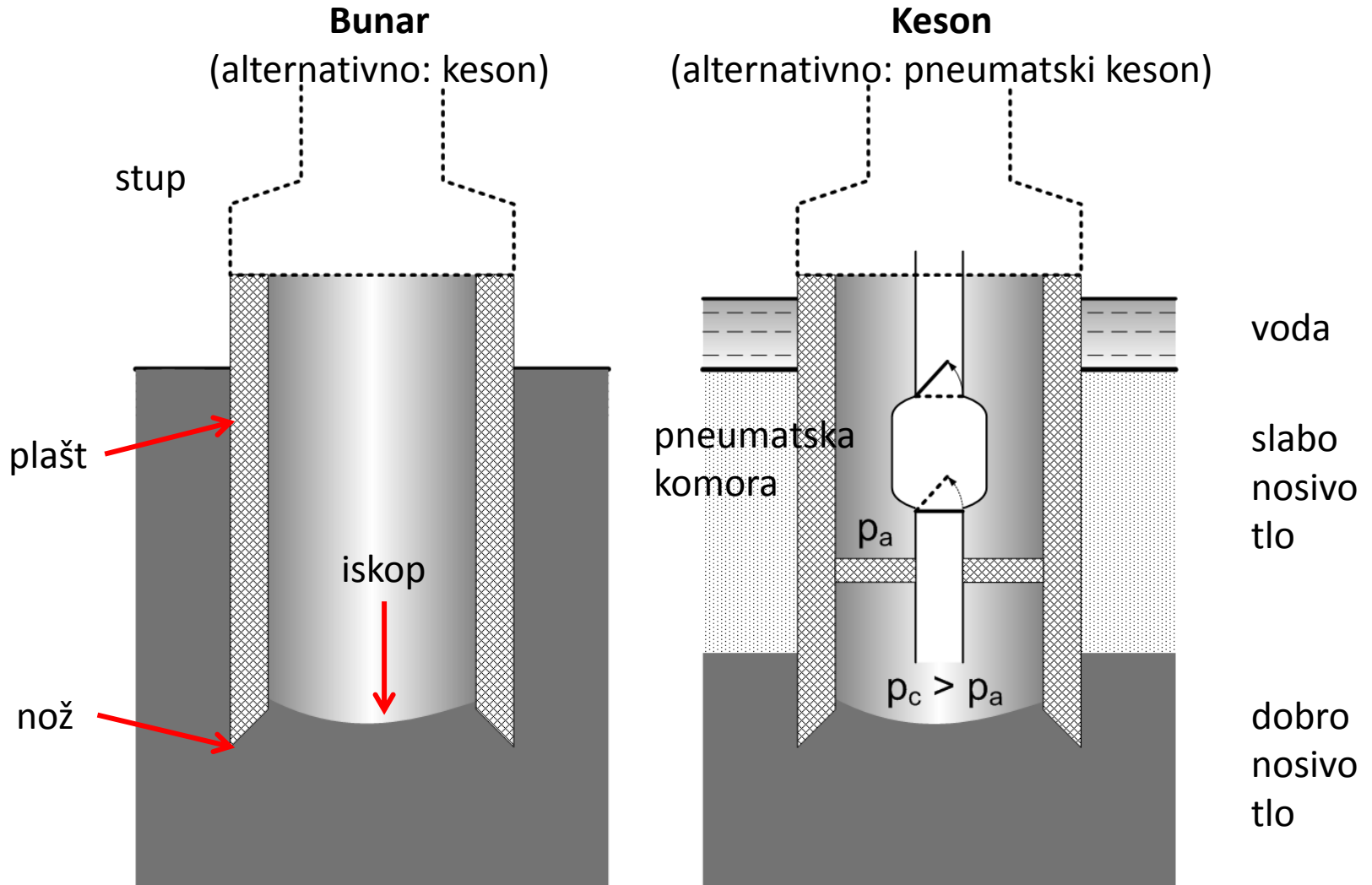


b , promjer, širina u stopi

Piloti produženi u stupove

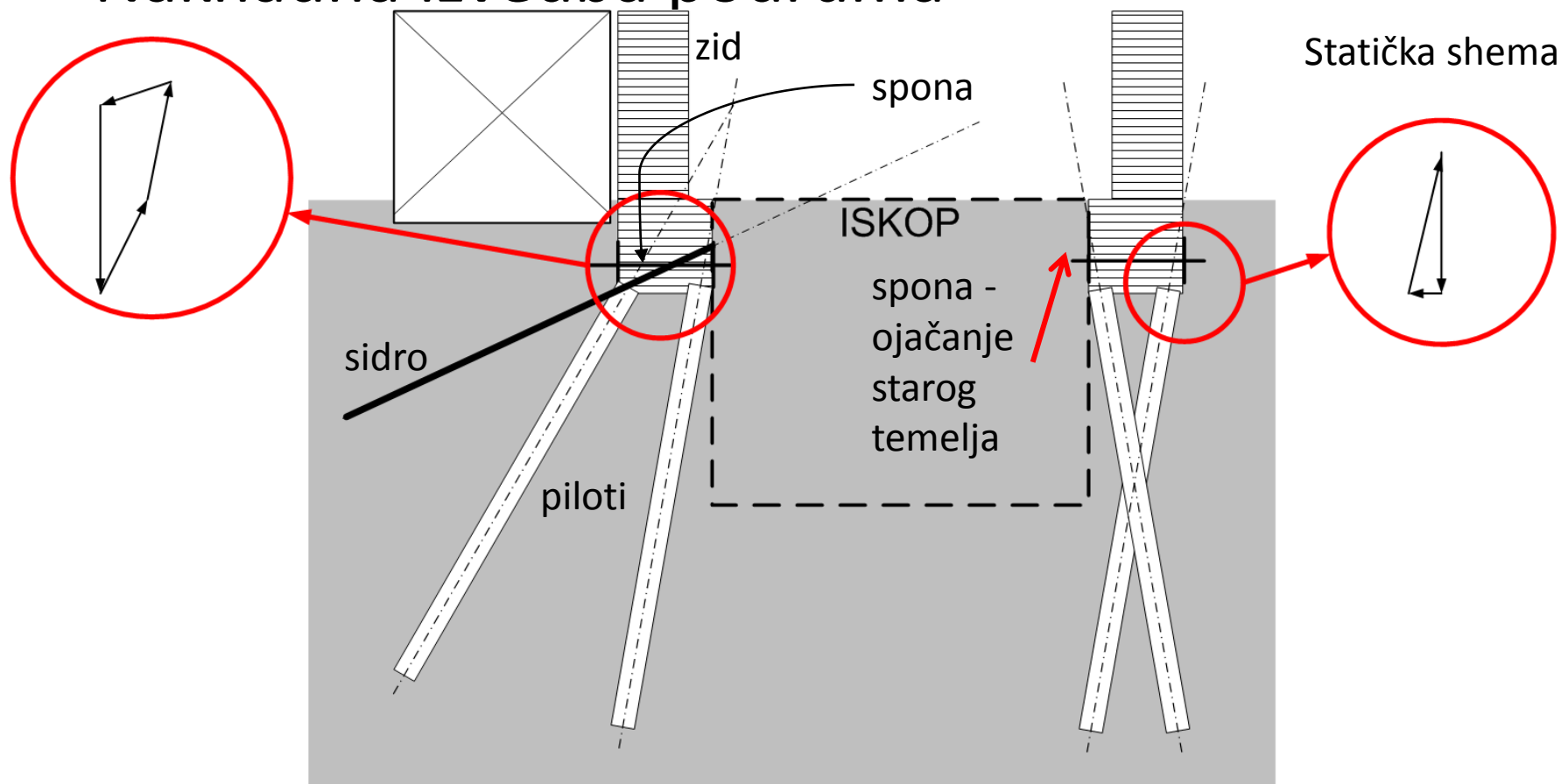


Duboki temelji – bunari i kesoni



Posebni temelji - ojačanja

- Naknadna izvedba podruma



Projektiranje temelja

Planiranje se u praksi provodi u fazama, a prikazuje u raznim dokumentima: idejni, glavni i izvedbeni projekti. Za projektiranje temelja potrebno je poznavati ili osigurati:

1. **Vrsta konstrukcije i djelovanja:** geometrija – tlocrt i presjeci, statički sustav, trajna, prolazna i izvanredna opterećenja – potres, dodatni uvjeti za temelje – dozvoljeni pomaci i deformacije, trajnost, ... (Arhitektonski i konstrukterski projekt);
2. **Plan i izvještaj o geotehničkim istražnim radovima:** tlocrt terena, položaj i vrsta bušotina i drugih istražnih radova, rezultati terenskih ispitivanja, vrsta i rezultati laboratorijskih pokusa, djelovanja s lokacije – potresi, pritisak vode, ...; opseg i vrsta istražnih radova ovise o vrsti i geometriji temelja i djelovanjima s lokacije; (Geotehnički elaborat)
3. **Geotehnički projekt:**
 - a) **Izbor vrste, dimenzije i načina izvedbe temelja** uključivo poboljšanje tla (iskustvo),
 - b) **izbor parametara tla** za provjeru mehaničke otpornosti i stabilnosti temelja (iz istražnih radova),
 - c) **provjera mehaničke otpornosti i stabilnosti u kritičnim situacijama** tijekom izvođenja i života konstrukcije, trajnost, izvodivost, troškovi, plan kontrole i osiguranja kvalitete,... (moguće prilagodbe ili iteracije prvenstveno unutar točke 3, ali i šire vezano na točke 1 – racionalnija konstrukcija, ili 2 – istražni radovi prilagođeni vrsti, dimenzijama i opterećenju temelja i sl.; iteracije se provode u skicama, dok se u projektima prikazuje i dokazuje izabrano rješenje)

Zakonski okvir projektiranju u RH

Zakoni

(Zakon o prostornom planiranju i gradnji,...)

Tehnički propisi

(betonske konstrukcije, čelične konstrukcije, drvene konstrukcije, ...)

Temeljne norme

(Eurokodovi, HRN EN 199x; x: 0-Osnove, 1-Djelovanja, 2-Betonske konstrukcije, 3-Čelične konstrukcije,..., **7-Geotehničke konstrukcije**, 8-Konstrukcije otporne na potres, ..)

Prateće norme i preporuke

(..., za terenska i laboratorijska ispitivanja, za izvođenje, ...)

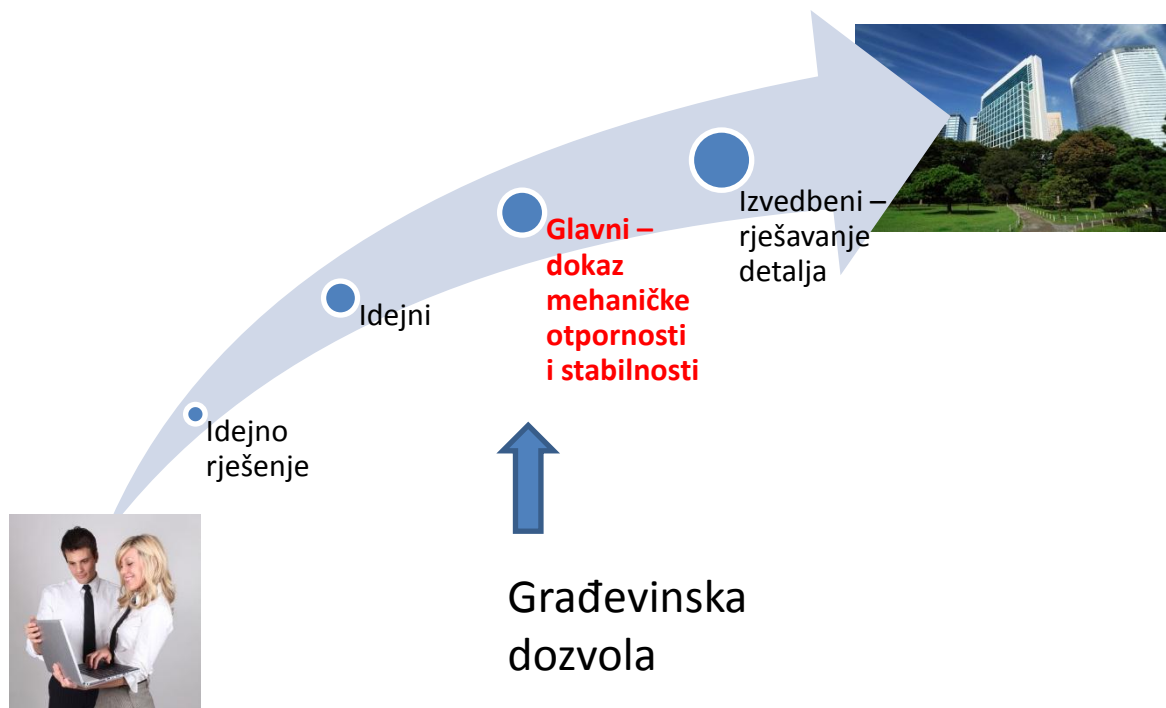
**Priznata i
usporediva
pravila
struke**

Projekti i drugi dokumenti

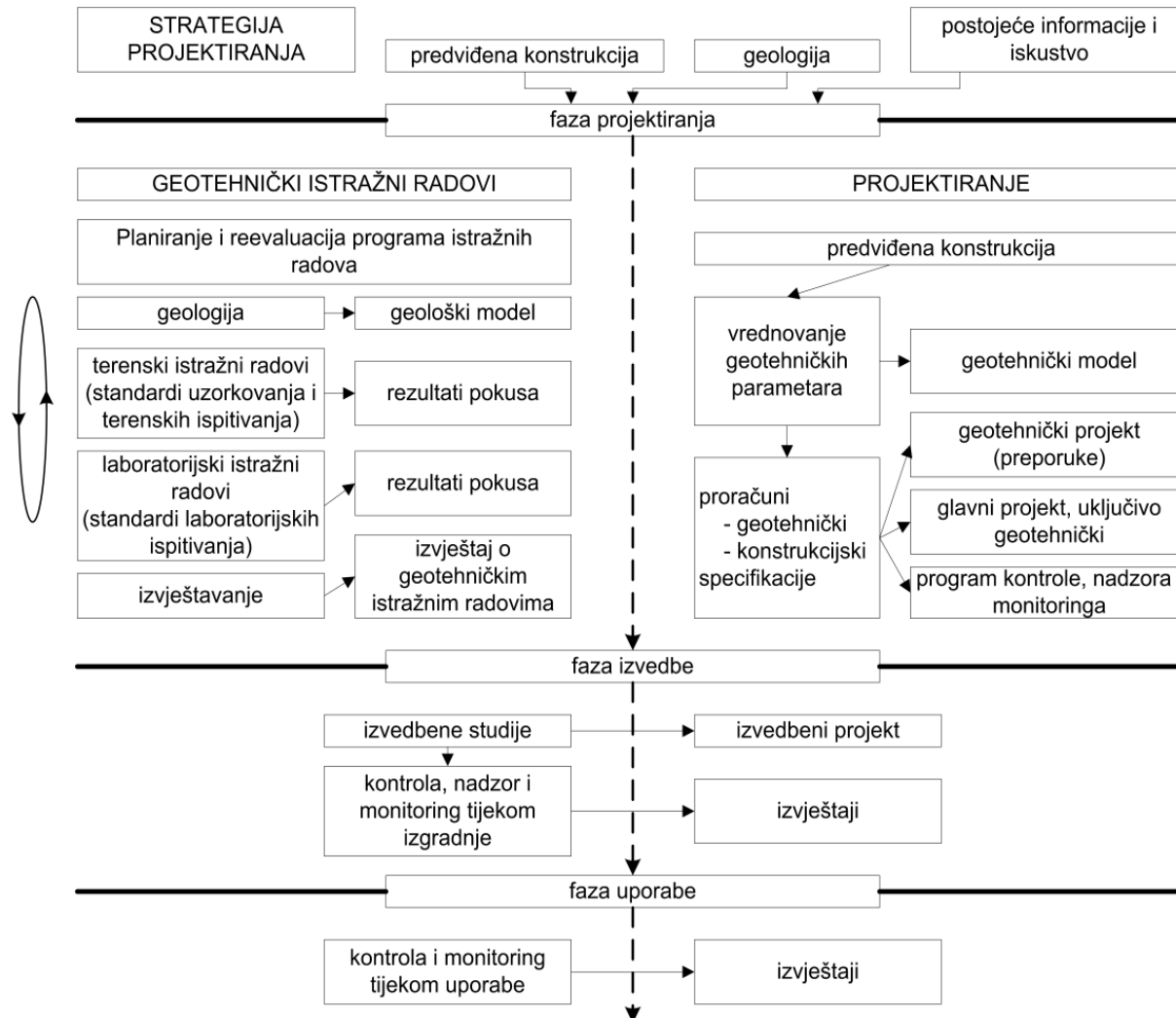
Vrste projekata i dokumenata

- Podloge
 - Geodetske
 - Geološke
 - **Geotehnički istražni radovi**
 - Hidrološke
 - Seizmološke
 - Klimatološke
 -
- Projekti
 - Geodetski
 - Arhitektonski
 - Građevinski
 - Konstrukcijski
 - **Geotehnički**
 - ...
 - Elektrotehnički
 - Strojarski
 - ...

Razina projekata



Istražni radovi i geotehničko projektiranje



Elementi mehanike tla važni za temeljenje 1

- Povijesni okvir – zaostajanje mehanike tla za drugim građevinskim temeljnim znanostima, vodo-propusnost, efektivna naprezanja

„Jedan od glavnih razloga kasnog razvoja mehanike tla kao sustavnog dijela građevinarstva bila je poteškoća u spoznaji da razlika u posmičnoj čvrstoći između pijeska i gline ne leži toliko u razlici kuta trenja među njihovim česticama, koliko u vrlo velikoj razlici – oko milijun puta – u njihovoj propusnosti. Promjene srednjeg naprezanja u vodom zasićenoj glini ne može proizvesti bilo kakvu promjenu komponente čvrstoće koja ovisi o trenju sve dok nije prošlo dovoljno vremena za istjecanje (ili utjecanje) vode kako bi se ostvarila odgovarajuća promjena volumena.” (Bishop & Bjerrum, 1960)

Tek je Terzaghi (1936) jasno izrazio osnovni zakon ponašanja vodom zasićenih tla koristeći pojam efektivnih naprezanja: „Naprezanja se u bilo kojoj točki tla mogu izračunati iz ukupnih glavnih naprezanja $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ koja djeluju u toj točki. Ako su pore tla ispunjene vodom pod tlakom u , ukupna naprezanja se sastoje iz dva dijela. Jedan dio djeluje u vodi i na čvrste čestice jednako u svim smjerovima. Zove se tlak vode (Terzaghi ga naziva neutralnim naprezanjem). Razlika $\sigma'_1 = \sigma_1 - u, \sigma'_2 = \sigma_2 - u$ i $\sigma'_3 = \sigma_3 - u$ predstavlja višak nad tlakom vode u (ili neutralnim naprezanjem) koji svoje sjedište ima isključivo u čvrstoj fazi tla. Taj se dio ukupnih glavnih naprezanja naziva **efektivnim glavnim naprezanjima**. Promjena neutralnog naprezanja (u) ne mijenja volumen tla i praktički nema utjecaja na stanje naprezanja pri slomu. Porozni materijali (kao što su pijesak, glina ili beton) reagiraju na promjenu u -a kao da su nestišljivi i kao da im je unutarne trenje jednako nuli. Svi mjerljivi utjecaji promjene naprezanja, kao što su kompresija, distorzija, i promjena posmične čvrstoće isključivo su posljedica promjene efektivnih naprezanja σ'_1, σ'_2 i σ'_3 . Zbog toga, bilo koje istraživanje stabilnosti zasićenog tla zahtijeva poznavanje ukupnih i neutralnih naprezanja (ili tlaka vode).

Elementi mehanike tla važni za temeljenje 2

- Model vodom zasićenog tla i deformacije
 - Čestice, skelet, pore, voda: vodom zasićeno tlo sastoji se iz nakupina krutih čestica u međusobnom dodiru (skelet tla) i vode u porama među česticama.
 - Volumenska i distorzijska deformacija: materijali u tlu, čestice, skelet i voda mogu se deformirati. U mehanici tla pogodno je ukupnu deformaciju promatrati kao zbroj komponente kojom se mijenja samo volumen materijala bez promjene njegova oblika i komponente kojom se mijenja oblik (distorzija) bez promjene volumena (distorzija: promjena oblika bez promjene volumena). Opaža li se deformacija tla, opaža se zapravo deformacija skeleta pa su to identični pojmovi.
- Mehanizam koji objašnjava princip efektivnih naprezanja
 - Krutost skeleta obzirom na promjenu tlaka vode: Krute čestice tvore skelet tla sposoban za prijenos sila. U nekom malom volumenu tla tlak vode u porama u na čestice djeluje jednoliko podijeljenim normalnim opterećenjem u po čitavom oplošju svih čestica. Takvo opterećenje čestica nazivamo homogenim (homogenost: neovisnost nekog svojstva o položaju u prostoru). Uz pretpostavku izotropnosti materijala iz kojeg je čestica sastavljena, od takvog homogenog opterećenja javlja se homogeno polje izotropnog naprezanja u na bilo kojem prerezu kroz česticu uključivo i mjesta dodir među susjednim česticama (izotropnost: neovisnost nekog svojstva o smjeru u prostoru). Neposredna i posredna opažanja u eksperimentima ukazuju da je deformacija skeleta, a time i čestica, u promatranom malom volumenu tla izazvana takvim homogenim i izotropnim opterećenjem praktički zanemariva.

Elementi mehanike tla važni za temeljenje 3

- **Krutost vode:** Volumen vode zanemarivo se mijenja promjenom njenog tlaka. **Kaže se da je voda kruta obzirom na promjenu volumena.** Suprotno, voda nema krutost (ne opire se distorziji) obzirom na promjenu oblika ili distorziju.
- **Efektivno naprezanje:** ako se skelet tla optereti ravnotežnim opterećenjem bez promjene tlaka vode, to će se opterećenje prenijeti kroz čestice i dodirna mjesta među njima. Prosječna vrijednost takvog opterećenja na površini nekog zamišljenom ravnog presjeka kroz tlo (presjeka kroz čestice i pore) naziva se efektivnim naprezanjem. Obzirom da se to opterećenje pronosi iz čestice na česticu samo na mjestima dodira, opterećenje čestice neće biti homogeno po čitavom oplošju čestice, već će doći do njegove koncentracije na mjestima dodira među česticama. Od tog se opterećenja čestice i skelet mogu deformirati (utiskivanje čestice u česticu, drobljenje na mjestu dodira čestica, međusobno klizanje i kotrljanje dviju susjednih čestica).
- **Promjena volumena vode jednaka suprotnoj promjeni volumena pora:** kako su čestice krute obzirom na promjenu volumena, svaka promjena volumena tla odvija se na račun suprotne promjene volumena pora.
- **Prijenos sila kroz tlo:** Iz gornjih razmatranja slijedi da se tlak vode u porama prenosi vodom i česticama, dok se razlika ukupnog naprezanja i tlaka vode, ili efektivno naprezanje, prenosi skeletom. Ta se razlika naziva efektivnim naprezanjem. **Deformacija skeleta uzročno i posljedično je povezana promjenom efektivnih naprezanja** (to naprosto slijedi iz opažanja da promjena tlaka vode uz istu takvu promjenu ukupnog naprezanja ne uzrokuje zamjetljivu deformaciju skeleta ili tla).

Elementi mehanike tla važni za temeljenje 4

- Drenirano stanje u vodom zasićenom tlu, vlažnost, drenirana čvrstoća i drenirana analiza
 - Drenirano stanje u tlu je stanje u kojem voda slobodno istječe ili utječe u tlo prema Darcyevom zakonu procjeđivanja, neovisno o promjeni volumena skeleta. Tipični primjer je vrlo sporo ili stalno opterećenje slabo propusnog tla ili umjereno sporo ili stalno opterećenje dobro propusnog tla. Drenirano stanje je obično stanje kojem se približava proces konsolidacije.
 - Općenito u dreniranom stanju deformacija tla uključuje i promjenu njegova volumena, a time i promjenu njegove vlažnosti w ili koeficijenta pora e) kao mjere količine vode u porama.
 - Čvrstoća tla raste s porastom normalnog efektivnog napreznja (ili srednjeg efektivnog napreznja $p' = (\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3)/3$) pri slomu približno po zakonu trenja ili Mohr-Coulombovom zakonu. Kako će pri većem srednjem efektivnom napreznju volumen pora, a time i vlažnost w kao mjera volumena vode u tlu, biti manji nego pri manjem p' , to znači da se čvrstoća može izraziti i kao funkcija vlažnosti. Manje vlažno tlo pri slomu će imati veću čvrstoću od više vlažnog tla iste vrste.
 - U dreniranim uvjetima u tlu čvrstoća će, dakle, u svakom elementu tla biti funkcija ukupnog srednjeg napreznja $p = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ i tlaka vode u porama (pornog tlaka) u . Pri tome će veličina tlaka vode u porama biti uvjetovana slobodnim procjeđivanjem vode kroz tlo, a ne deformacijama tla.
 - Za drenirane uvjete analiza deformacija i analiza stabilnosti provodi se u efektivnim napreznjima te korištenjem parametara krutosti i čvrstoće izraženih preko efektivnih napreznja i određen iz, na primjer, tro-osnih pokusa provođenih u dreniranim uvjetima na vrlo kvalitetnim uzorcima (tzv. efektivni ili drenirani parametri; na pr. Youngov modul $E' = \sigma'_1/\epsilon_1$, Poissonov broj $\nu' = -\epsilon_3/\epsilon_1$, posmična čvrstoća $\tau_f = c' + \sigma' \tan \varphi'$).

Elementi mehanike tla važni za temeljenje 5

- Nedrenirano stanje u vodom zasićenom tlu, vlažnost, nedrenirana čvrstoća i $\varphi = 0$ analiza
 - Nedrenirano stanje vodom zasićenog tla je stanje u kojem je ukupni volumen vode u svakom malom dijelu tla stalan (ili se voda ne giba ili je ukupno istjecanje vode nadomješteno jednako takvim utjecanjem). Tipični primjeri su naglo opterećena slabo propusna tla (gline, prahovi), ali i dobro propusna tla (pijesci i šljunci) kod vrlo brzih opterećenja kao što su potresi. Kad se novo opterećenje ustali, počinje proces konsolidacije pa je nedrenirano stanje obično početno stanje procesa konsolidacije. Kako nedrenirano stanje sprečava volumensku deformaciju tla, ono ima bitan utjecaj na krutost tla i njegovu čvrstoću.
 - Zbog velike krutosti čestica tla i vode (praktički beskonačne) obzirom na promjenu volumena, bilo kakva promjena tlaka vode u , a time ni bilo koja promjena srednjeg ukupnog naprezanja $p = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ u nedreniranim uvjetima neće nimalo promijeniti volumen tla. S druge strane, čvrstoća tla raste s porastom normalnog efektivnog naprezanja (ili srednjeg efektivnog naprezanja $p' = (\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3)/3$ pri slomu približno po zakonu trenja ili Mohr-Coulombovom zakonu čvrstoće. Kako će pri većem srednjem efektivnom naprezanju volumen pora, a time i vlažnost w kao mjera volumena vode u tlu, biti manji nego pri manjem p' , to znači da se čvrstoća može izraziti i kao funkcija vlažnosti. Kako je vlažnost u nedreniranim uvjetima konstantna, bit će i čvrstoća konstantna, neovisno o srednjem naprezanju p . Ta se čvrstoća naziva nedreniranom čvrstoćom i označava s c_u . Tlak vode će biti uvjetovan deformacijama u tlu koje nije mijenjalo volumen kao i srednjem ukupnom naprezanju, ili $u = p - p'$.
 - Izrazi li se u nedreniranim uvjetima posmična čvrstoća τ_f preko ukupnih naprezanja uz korištenje Mohr-Coulombovog zakona, iz uvjeta da je čvrstoća u tim uvjetima neovisna o ukupnom normalnom naprezanju ili srednjem ukupnom naprezanju slijedi $\tau_f = c_u + \sigma \tan \theta = c_u$. Označi li se nagib Mohr-Coulombovog pravca čvrstoće s φ_u , slijedi $\varphi_u = 0$. Otuda analizi stabilnosti preko ukupnih naprezanja u nedreniranim uvjetima potječe naziv $\varphi = 0$ analiza.

Elementi mehanike tla važni za temeljenje 6

- Za nedrenirane uvjete analiza deformacija i analiza stabilnosti provodi se u ukupnim naprezanjima te korištenjem parametara krutosti i čvrstoće izraženih preko ukupnih naprezanja i određen na primjer iz tro-osnih pokusa provođenih u nedreniranim uvjetima (tzv. ukupni ili nedrenirani parametri; na pr. Youngov modul $E = \sigma_1/\epsilon_1$, Poissonov broj $\nu = -\epsilon_3/\epsilon_1 = 0.5$, posmična čvrstoća $\tau_f = c_u + \sigma \tan \varphi_u$ uz $\varphi_u = 0$).
- Načelno se za nedrenirane uvjete analiza deformacija i analiza stabilnosti može provesti i u efektivnim naprezanjima koristeći efektivne ili drenirane parametre krutosti i čvrstoće, ali bi pri tome trebalo poznavati kao deformacije tla utječu na promjenu poreznih tlakova. Kako to danas u praksi nije niti jednostavno niti pouzdano moguće utvrditi, takve se analize u praksi izbjegavaju (na primjer, danas nema pouzdanog načina određivanja nedrenirane čvrstoće iz poznatih efektivnih parametara c' i φ' ; nešto je lakši, ali ipak nepouzdan, slučaj određivanja nedreniranog iz dreniranog Youngovog modula ako se pretpostavi da je tlo linearno elastično i izotropno – obzirom da za takvo tlo posmični modul ne ovisi o uvjetima dreniranja, tj. $G = G'$, slijedi iz $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ i $G' = \frac{E'}{2(1+\nu')}$ da je $E = E' \frac{3}{2(1+\nu')}$; ovaj posljednji izraz bit će posebno upitan za slučaj normalno konsolidiranog tla kod kojeg je izražen jaki porast poreznih tlakova pri nedreniranom smicanju).
- Iz navedenih se razloga nedrenirani parametri krutosti, a posebno važno nedrenirana čvrstoća za meka sitnozrna tla, u praksi određuju iz nedreniranih pokusa na neporemećenim uzorcima uz posebnu pažnju da im je vlažnost pri ispitivanju ostala približno jednaka onoj u tlu na terenu. S tim ciljem najpogodniji su ili nekonsolidirani nedrenirani tro-osni pokusi (UU) na uzorcima najviše kvalitete (krutost i čvrstoća), u manjoj mjeri (za čvrstoću) pokus jedno-osne čvrstoće (posebna vrsta UU pokusa pri kojoj je $\sigma_3 = 0$) ili terenski pokusi krilnom sondom ili u manjoj mjeri statičkom penetracijskom sondom (čvrstoća).

Elementi mehanike tla važni za temeljenje 7

- Konsolidacija
 - Konsolidacija u tlu je nestacionarna, u vremenu promjenjiva, pojava procjeđivanja i deformacija u tlu koja se sastoji iz međudjelovanja procesa procjeđivanja podzemne vode (Darcyev zakon) koji izaziva promjene volumena pora (ili vlažnosti) i promjene efektivnih naprezanja nastale iz te promjene volumena pora. Matematički se konsolidacija izražava kao problem početnih i rubnih uvjeta odgovarajućih diferencijalnih jednažbi procjeđivanja, ravnoteže, naprezanja i deformacija te kontinuiteta.
 - Ako je konsolidacija izazvana naglom promjenom opterećenja nekog volumena tla iza koje ono staje nepromijenjeno, početak konsolidacije obilježavaju nedrenirani uvjeti, a pri kraju se tlo asimptotski približava dreniranim uvjetima u tlu - u tom je slučaju konsolidacija proces u kojem se kroz vrijeme i postupno odigrava prijelaz iz nedreniranih u drenirane uvjete u tlu. Nedrenirani i drenirani uvjeti u tlu omeđuju takav proces konsolidacije.
 - Zbog svoje složenosti, u praksi temeljenja se općenito trodimenzionalni proces konsolidacije, kad je to moguće, pojednostavljuje rješenjem jednog sličnog jednodimenzionalnog problema, ili se razmatraju samo njegovi krajnji slučajevi: nedrenirano i drenirano stanje, a trajanje se procesa konsolidacije samo približno procjenjuje..
 - Danas je moguće analizirati složene dvo- pa i trodimenzionalne slučajeve konsolidacije, ali samo uz pomoć složenih numeričkih postupaka na računskom stroju. Rezultati takvih analiza su, međutim, u današnjoj praksi često nepouzdana zbog problema oko dovoljno pouzdanog određivanja raspodjele parametra vodo-propusnosti (k iz Darcyevog zakona) u deformacijama zahvaćenom volumenu tla kao i rubnih uvjeta na rubovima tog područja.

Geotehničko projektiranje prema Eurokodu 7 (HRN EN 1997-1:2008, -2:2008)

Sustav Eurokodva

- Projektiranje bilo koje građevinske konstrukcije (iznad tla) obvezno uključuje i primjenu Eurokoda 7; na primjer, relevantni paket za projektiranje betonskih konstrukcija čini:
 - HRN EN 1990 Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija;
 - HRN EN 1991 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije
 - HRN EN 1992 Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija
 - **HRN EN 1997 Eurokod 7: Geotehničko projektiranje**
 - HRN EN 1998 Eurokod 8: Projektiranje konstrukcija otpornih na potrese

Sadržaj Eurokoda 7-1

(Geotehničko projektiranje, 1. dio – Opća pravila) – HRN EN
1997-1:2004

- Obuhvaća:
 - Planiranje terenskih i laboratorijskih geotehničkih istražnih radova
 - Geotehničko projektiranje različitih geotehničkih konstrukcija:
 - Osnove geotehničkog projektiranja
 - Geotehnički podaci
 - Nadzor, opažanje i održavanje
 - Nasipavanje, odvodnja, poboljšanje tla i armiranje
 - Plitki temelji
 - Temelji na pilotima
 - Sidra
 - Potporne konstrukcije
 - Hidraulički slom
 - Opća stabilnost
 - Nasipi
 - Dodaci (parcijalni i korelacijski faktori, pozadina proračunskih pristupa 1, 2 i 3, granične vrijednosti pritiska tla na vertikalne zidove, analitička metoda proračuna nosivosti tla, primjer proračuna slijeganja, nosivost plitkih temelja na stijeni, granične vrijednosti deformacija konstrukcija i temelja, podsjetnik za provođenje nadzora i opažanja ponašanja)

Sadržaj Eurokoda 7-2

(Geotehničko projektiranje -- 2. dio: Istraživanje i ispitivanje temeljnoga tla) - HRN EN 1997-2:2007)

- Obuhvaća

- Planiranje istraživanja tla
- Uzorkovanje tla i stijena te mjerenja podzemne vode
- Terensko ispitivanje tla i stijena
- Laboratorijsko ispitivanje tla i stijena
- Izvještaj o istraživanju terena
- Dodaci

Popis rezultata geotehničkih standardnih ispitivanja, planiranje, primjer dugotrajnog ispitivanja tlaka podzemne vode, CPT i CPTU ispitivanje, presiometarsko ispitivanje, SPT, ...

Osnovni pojmovi 1

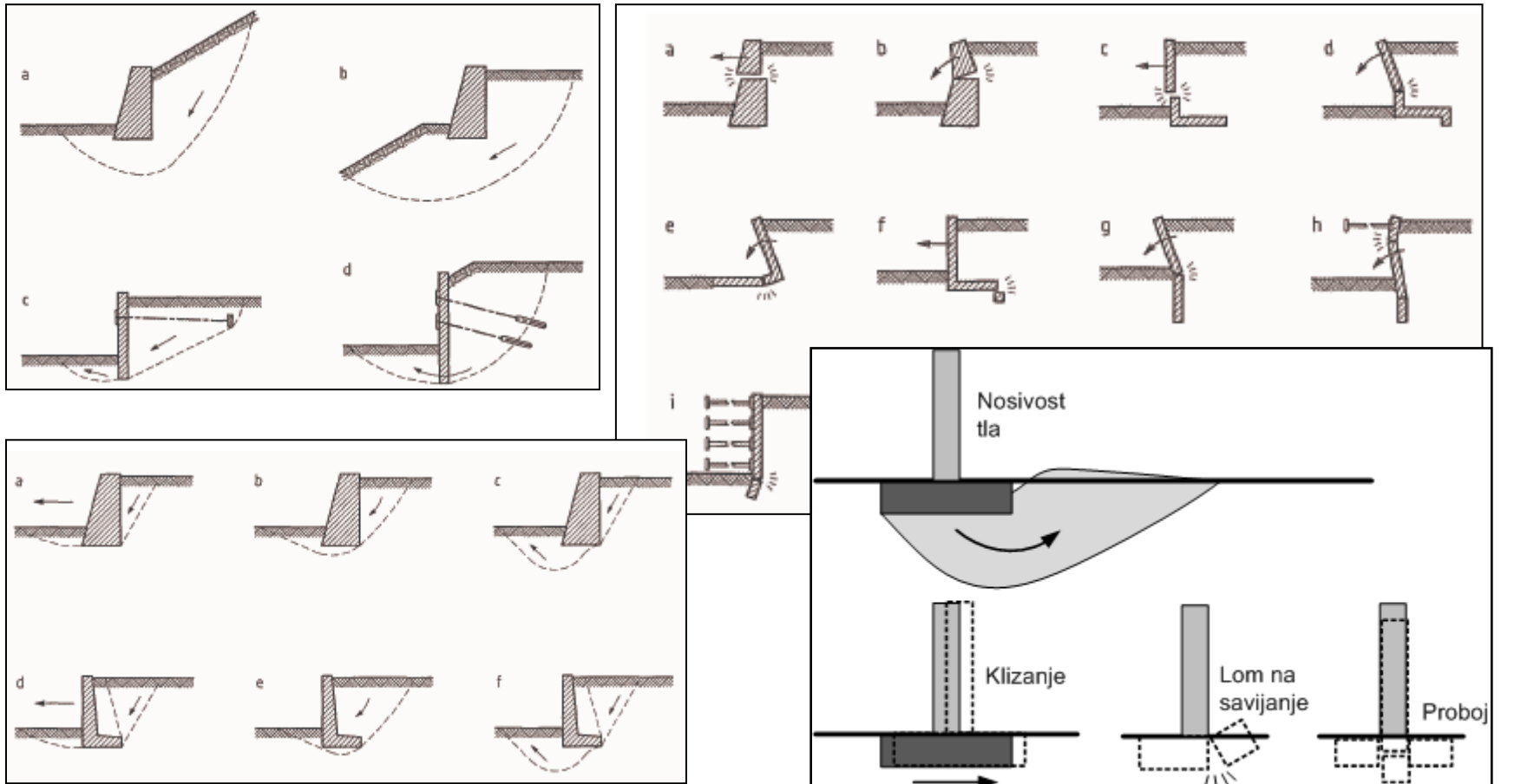
- **Bitni zahtjevi na konstrukciju:** nosivost, uporabivost, robusnost, trajnost, pouzdanost i otpornost na požar
- **Geometrijski podaci (α):** svi geometrijski podaci koji opisuju konstrukciju uključivo i tlo (u posljednjem slučaju to se debljine slojeva, razina podzemne vode i td.)
- **Djelovanje (F, Δ, \dots):** opterećenje silom, temperaturom ili pomakom na konstrukciju (stalna G , promjenjiva Q , sila u sidru P , udesna A , potresna A_E, \dots)
- **Učinak djelovanja (E):** sila, moment, naprezanje ili tlak; ili, pomak, rotacija ili deformacija u nekom presjeku, dijelu ili čitavoj konstrukciji koji nastaju zbirom svih djelovanja na konstrukciju u nekom trenutku njenog izvođenja ili korištenja
- **Parametri materijala konstrukcije uključivo tlo i stijenu (X):** parametri koji su potrebni za dokaz mehaničke otpornosti i stabilnosti konstrukcije ili njenog dijela putem proračuna (krutost, čvrstoća, gustoća, vodopropusnost, ...)
- **Otpornost (R):** najmanja sila, moment, naprezanje ili tlak koji izazivaju slom (ili prestanak nosivosti ili velike-neprihvatljive deformacije) u nekom presjeku, dijelu ili čitavoj konstrukciji u nekom trenutku njene izgradnje ili korištenja; slom u bilo kom dijelu ili čitavoj konstrukciji je neprihvatljivo ponašanje konstrukcije

Osnovni pojmovi 2

- **Najveći dozvoljeni učinak djelovanja - pomaci ili deformacije (C_d):** najveći pomak, kut zaokreta ili deformacija koju konstrukcija smije doživjeti tijekom izgradnje ili korištenja, a da se ne ugrozi njena uporabivost
- **Granično stanje:** stanje konstrukcije ili njenog dijela na granici između prihvatljivog i neprihvatljivog ponašanja pod učinkom djelovanja u odnosu na otpornost (rušenje ili neprihvatljivo oštećenje) R (**granično stanje nosivosti**) ili dozvoljeni učinak djelovanja C kod kojeg konstrukcija još može služiti svojoj svrsi (**granično stanje uporabivosti**)
- **Proračunska situacija:** mogući trenutak tijekom izvođenja ili korištenja konstrukcije zajedno s mehanizmom koji dovodi do prekoračenja jednog graničnog stanja (**uključuje trenutnačnu geometriju konstrukcije, djelovanja, proračunski model tla s pripadnim parametrima materijala – uključivo tlo i stijenu, stanje u podzemnoj vodi zajedno s mehanizmom dosezanja graničnog stanja**)

Osnovni pojmovi 3

- Primjeri **mehanizama graničnog stanja nosivosti** nekih geotehničkih konstrukcija; svaki mehanizam treba pridružiti odgovarajućoj proračunskoj situaciji (izvor: Eurokod 7-1)



Osnovni pojmovi 4

- **Kritične proračunske situacije:** skup svih proračunskih situacija za koji se lako pokazuje da će sve ostale moguće proračunske situacije biti manje kritične s obzirom na dosezanje nekog od graničnih stanja; to su one proračunske situacije za koje se provjerava da li je došlo do prekoračenja graničnog stanja
- **Proračunski model tla:** proračunska metoda i potrebni podaci (geometrijski i materijalni) o tlu koji će se koristiti u provjeri da li je u jednoj od kritičnih proračunskih situacija došlo do prekoračenja graničnog stanja (stvarno mehaničko ponašanje tla idealizirano u matematičko-mehanički oblik)
- **Karakteristična vrijednost (indeks k):** ona statistički definirana ili utvrđena veličina djelovanja, učinka djelovanja, parametra materijala, otpornosti ili geometrijskog podatka za koju je vjerojatnost da će biti prekoračena u nepovoljnom smislu manja od 5 % - što se statistički naziva 5 postotnim fraktilom (vjerojatnost prekoračenja do 5 % smatra se još prihvatljivom pogreškom procjene u današnje građevinarstvu) ponekad se potpuno pogrešno izabire kao srednja vrijednost pojedine veličine); odnosi se i na parametre tla ili stijene koje zbog ograničenog broja ispitivanja nije priklano statistički obrađivati – u tom slučaju izboru karakteristične vrijednosti parametra tla ili stijene Eurokod 7 posvećuje posebnu pažnju te umjesto statističke obrade upućuje na **opreznu procjenu karakteristične vrijednosti parametra** (statistički slično kao srednja vrijednost umanjena za pola standardne devijacije parametra)

Osnovni pojmovi 5

- **Proračunska vrijednost (indeks d):** vrijednost djelovanja, učinka djelovanja, otpornosti ili geometrijskog podatka izvedena iz karakterističnih vrijednosti tih parametara uz uključnje dozvoljenog stupnja rizika od prekoračenja pojedinog granično stanje (dozvoljena vjerojatnost da se prekorači odgovarajuće granično stanje); za granično stanje nosivosti Eurokod bira vjerojatnost manju ili jednaku 10^{-4} (0.0001), dok za granično stanje uporabivosti ta je vjerojatnost manja ili jednaka 1;
- **Parcijalni koeficijent (γ):** koeficijenti ili grupa koeficijenata kojima se množe karakteristične vrijednosti djelovanja (γ_F) ili karakteristične vrijednosti učinka djelovanja (γ_E), te dijele karakteristične vrijednosti otpornosti (γ_R) ili karakteristične vrijednosti parametara tla (γ_M) da bi se odredile proračunske vrijednosti djelovanja, učinka djelovanja ili otpornosti. Ti su koeficijenti određeni tako da uvažavaju vjerojatnosti rizika od prekoračenja odgovarajućeg graničnog stanja; na primjer, parcijalni koeficijent za stalno opterećenje za sva granična stanja nosivosti iznosi 1.35 i množi se s karakterističnom vrijednošću tog opterećenja da bi se dobila njegova proračunska vrijednost (jer je procijenjeno da je vjerojatnost da stalno opterećenje bude premašeno 35 % oko 10^{-4}); za prolazno opterećenje, koje je teže držati pod kontrolom od stalnog pa je i rizik od prekoračenja veći, parcijalni koeficijent je veći i obično iznosi 1.5; za granično stanje uporabivosti ti su koeficijenti u najvećem broju slučajeva jednaki 1.

Osnovni pojmovi 6

- **Reprezentativna vrijednost (F_{rep}) i kombinacijski koeficijenti (ψ_i):** karakteristična vrijednost zamjenjujućeg djelovanja koja objedinjuje neku moguću kombinaciju karakterističnih prolaznih djelovanja; dobiva se kao težinski zbroj karakterističnih vrijednosti pojedinih djelovanja uz primjenu **kombinacijskih koeficijent (ψ_i)** – težinskih faktora (na primjer najveće prometno opterećenje i najveći vjetar na mostu – vrlo je malo vjerojatno da će se najveće vrijednosti tih opterećenja javiti istovremeno pa će reprezentativna vrijednost prolaznog djelovanja biti puna vrijednost prometnog djelovanja i samo dio opterećenja vjetra ili obratno; za neke česte slučajeve Eurokod 7 predlaže odgovarajuće kombinacijske faktore);

Primjer za granično stanje nosivosti: $Q_{rep} = \psi_1 Q_1 + \psi_2 Q_2$; $E_d = E(\gamma_G G) + E(\gamma_Q Q_{rep})$ (na pr.: $\psi_1 = 1.00, \psi_2 = 0.50, \gamma_G = 1.35, \gamma_Q = 1.50$)

Primjer za granično stanje uporabivosti: $Q_{rep} = \psi_1 Q_1 + \psi_2 Q_2$; $E_d = E(\gamma_G G) + E(\gamma_Q Q_{rep})$ (na pr.: $\psi_1 = 1.00, \psi_2 = 0.50, \gamma_G = 1.00, \gamma_Q = 1.00$)

Osnovi projektiranja 1

- **Projektiranje u odnosu na granična stanja**

- **Izbor kritičnih proračunskih situacija** (uvijek graničnih stanja nosivosti, a obično i graničnih stanja uporabivosti – ponekad je provjera graničnih stanja nosivosti za neku geotehničku konstrukciju dovoljan dokaz da će pomaci temelja biti mali, a njihova točna veličina nebitna pa se provjera graničnih stanja uporabivosti niti ne provode)
- **Provjera da ni u jednoj od kritičnih proračunskih situacija nije prekoračeno njeno granično stanje**
- za granično stanje nosivosti: $E_d \leq R_d$
- za granično stanje uporabivosti: $E_d \leq C_d$

- **Primjena parcijalnih koeficijenata**: proračunske vrijednosti djelovanja, proračunske vrijednosti parametara materijala (uključivo tla) te proračunske vrijednosti otpornosti izračunavaju se iz karakterističnih vrijednosti uz primjenu **parcijalnih koeficijenata**; ponekad, ako proračunski modeli nisu dovoljno sigurni, proračunska otpornost se dodatno umanjuje dijeljenjem s **koeficijentom modela**

- **Uvažavanje stupnja rizika (geotehnički razredi)**

- Obzirom na stupanj rizika i moguće štete u slučaju havarija, uvode se **tri geotehnička razreda** građevina ili njenih dijelova: 1. ili najjednostavniji, 2. ili uobičajeni (njome se bavi Eurokod) i 3. ili jako rizični za zahtjevne konstrukcije;
- O razredu će ovisiti opseg i sadržaj istražnih radova, složenost proračunskih modela, veličine parcijalnih koeficijenata, razrada projekta i td.

Osnovi projektiranja 2

- Provjera graničnih stanja
 - **Propisanim mjerama** (jednostavnije konstrukcije, usporedivo iskustvo)
 - **Proračunom** (izračunavanje učinka djelovanja pomoću funkcija $E(\dots)$ te otpornosti pomoću funkcija $R(\dots)$ na temelju proračunskih modela, poznatih djelovanja i parametara materijala, uključivo tla i stijena; većina konstrukcija)
 - **Ispitivanjem** (probna opterećenja – piloti, sidra, centrifuga, ...)
 - **Metodom opažanja** (izvođenje konstrukcije na terenu započinje osnovnim projektnim rješenjem koje se temelji na pretpostavkama o tlu dostupnim za vrijeme projektiranja, ugrađuje se odgovarajuća mjerna oprema na pogodnim planiranim mjestima, opaža se ponašanje konstrukcije tijekom njenog izvođenja, prilagođava se osnovno rješenje na temelju analize odstupanja opaženog ponašanja konstrukcije od onog predviđenog u osnovnom rješenju; zahtijeva poseban oprez, organizaciju izvođenja i obučeni nadzor; nije uvijek primjenjivo)

Određivanje proračunskog modela tla 1

Opseg istražnih radova za glavni projekt

RAZMAK ILI BROJ BUŠOTINA I TERENSKIH ISPITIVANJA

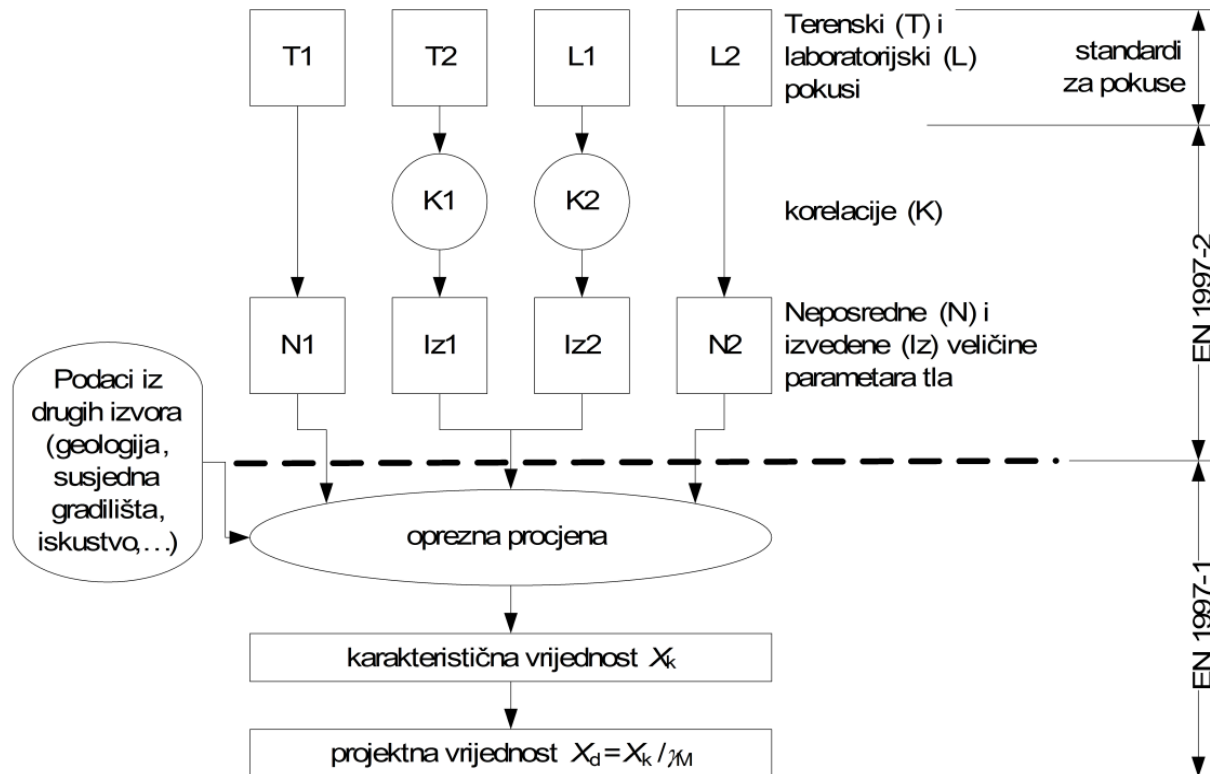
- Visoke i industrijske zgrade: razmak 15 do 40 m;
- Građevine velikog tlocrta: razmak ne veći od 60 m;
- Linijske građevine (prometnice, kanali, cjevovodi, nasipi tuneli, potporni zidovi: razmak 20 do 200 m;
- Mostovi, temelji strojeva: 2 do 6 bušotina po temelju;
- Brane: 25 do 75 m duž osi.

DUBINA BUŠOTINA I TERENSKIH ISPITIVANJA

- Temelji samci: 3 šine temelja, ne manje od 6 m;
- Temeljne ploče ili bliski temelji samci: 1.5 puta širina ploče ili grupe temelja;
- Brane: 0.8 do 1.2 visine brane, ali ne manje od 6 m;
- Usjeci: od dna usjeka 0.4 puta visine usjeka;
- Niski nasipi: 2 m ispod poboljšanog tla;
- Rovovi: ispod dna rova 1.5 puta širina rova;
- Iskopi (građevne jame): ispod dna iskopa 0.4 puta dubina iskopa i barem 2 m do 5 m ispod dna potporne konstrukcije;
- Piloti: ispod dna pilota više od širine grupe pilota i više od 3 širine stope pilota, a ne manje od 5 m.

Određivanje proračunskog modela tla 2

- Faze rada u izboru karakterističnih vrijednosti parametara tla i stijene



Određivanje proračunskog modela tla 3

- Određivanje reprezentativnih podataka o tlu prema klasi kvalitete uzorkovanja i klasi kvalitete uzorka tla

Svojstvo tla/klasa kvalitete	1	2	3	4	5
Nepromijenjeno svojstvo					
veličina čestica	*	*	*	*	
vlažnost	*	*	*		
gustoća, indeks gustoće, vodopropusnost	*	*			
krutost, čvrstoća	*				
In situ svojstva koja se mogu utvrditi					
redoslijed slojeva	*	*	*	*	*
granice slojeva – grubo	*	*	*	*	
granice slojeva – fino	*	*			
granice konzistencije, gustoća čestica, sadržaj organske tvari	*	*	*	*	
vlažnost	*	*	*		
gustoća, indeks gustoće, koeficijent pora, vodopropusnost	*	*			
krutost, čvrstoća	*				
Kategorija uzorkovanja prema EN ISO 22475-1 (primjeri za tlo: A tankostijeni uzorkivač, B – sržna cijev ili SPT, C – bušenje ispiranjem)	A				
				B	
					C

Određivanje proračunskog modela tla 4

- Klasifikacijski parametri tla i poremećenost uzorka

parametar	vrsta tla							
	glinovita			prašinstva			pjeskovita, šljunkovita	
	kvaliteta uzorka			kvaliteta uzorka			kvaliteta uzorka	
	neporemećen	poremećen	pregnječen	neporemećen	poremećen	pregnječen	poremećen	pregnječen
geološki opis i klasifikacija	X	X	X	X	X	X	X	X
vlažnost	X	(X)	(X)	X	(X)	(X)	(X)	(X)
gustoća	X	(X)	-	X	(X)	-	-	-
najmanja i najveća gustoća	-	-	-	(X)	(X)	(X)	X	X
granice konzistencije	X	X	X	X	X	X	-	-
granulometrija	X	X	X	X	X	X	X	X
nedrenirana čvrstoća	X	-	-	(X)	-	-	-	-
vodopropusnost	X	-	-	X	(X)	(X)	(X)	(X)
osjetljivost	X	-	-	-	-	-	-	-
X moguće odrediti reprezentativnu vrijednost (X) moguće odrediti, ali vrijednost ne mora biti reprezentativna - nije primjenjivo Napomena: za neke vrste tla i drugi klasifikacijski parametri se određuju (na primjer sadržaj organske tvari, gustoća čvrstih čestica, aktivnost)								

Određivanje proračunskog modela tla 5

Primjenjivi
laboratorijski
pokusi za
određivanje
geotehničkih
parametara tla

geotehnički parametar	vrsta tla					
	šljunak	pijesak	prašina	normalno konsolidirana glina	pre-konsolidirana glina	treset i organska glina
edometarski modul (E_{oed}) i indeks stišljivosti (C_c)	(OED) (TX)	(OED) (TX)	OED (TX)	OED (TX)	OED (TX)	OED (TX)
Youngov modul (E) i modul posmika (G)	TX	TX	TX	TX	TX	TX
efektivni parametri čvrstoće (c' , φ')	TX SB	TX SB	TX SB	TX SB	TX SB	TX SB
rezidualni parametri čvrstoće (c'_R , φ'_R)	RS (SB)	RS (SB)	RS (SB)	RS (SB)	RS (SB)	RS (SB)
nedrenirana čvrstoća (c_u)	-	-	TX DSS SIT	TX DSS (SB) SIT	TX DSS (SB) SIT	TX DSS (SB) SIT
gustoća (ρ)	BDD	BDD	BDD	BDD	BDD	BDD
koeficijent konsolidacije (c_v)	-	-	OED TX	OED TX	OED TX	OED TX
vodopropusnost (k)	TXCH PSA	TXCH PSA	PTC TXCH (PTF)	TXCH (PTF) (OED)	TXCH (PTF) (OED)	TXCH (PTF) (OED)
- nije primjenjivo () samo djelomično primjenjivo Kratice laboratorijskih pokusa BDD određivanje gustoće DSS direktno jednostavno smicanje OED edometarski pokus PTF pokus vodopropusnosti s padajućim potencijalom PTC pokus vodopropusnosti sa stalnim padom potencijala RS rotacijsko (kružno) smicanje SB direktno smicanje SIT pokus s padajućim stošcem (obično samo u preliminarnoj fazi) PSA iz granulometričkog dijagrama TX troosni pokus TXCH pokus s konstantnim padom potencijala u troosnoj ćeliji						

Određivanje proračunskog modela tla 6

- Primjenjivost terenskih istražnih radova

Metode terenskih istraživanja	Kategorije uzorkovanja						Terenski pokusi											Mjerenje podzemne vode	
	tlo			stijena			CPT i CPTU	Presiometar	RDT	SDT	SPT	DPL/DPM	DPH/DPSH	WST	FVT	DMT	PLT	Otvoreni sustav	Zatvoreni sustav
	A	B	C	A	B	C													
Parametar tla																			
Osnovne informacije																			
Vrsta tla	C1 F1	C1 F1	C2 F2	-	-	-	C2 F2	C3 F3	-	C3 F3	C2 F1	C3 F3	C3 F3	-	-	C2 F2	-	-	-
Vrsta stijene	-	-	-	R1	R1	R2	R3	R3	R2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Raspored slojeva	C1 F1	C1 F1	C3 F3	R1	R1	R2	C1 F1	C3 F3 R3	R3	C3 F3	C2 F2	C1 F2	C1 F2	F2	-	C2 F1	-	-	-
Razina podzemne vode	-	-	-	-	-	-	C2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C1 F2 R2	C1 F1 R1
Pritisak podzemne vode	-	-	-	-	-	-	C2 F2	F3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C1 F2 R2	C1 F1 R1
Geotehnički parametar																			
Veličina zrna	C1 F1	C1 F1	-	R1	R1	R2	-	-	-	-	C2 F1	-	-	-	-	-	-	-	-
Vlažnost	C1 F1	C2 F1	-	-	-	-	-	-	-	-	C2 F2	-	-	-	-	-	-	-	-
Atterbergove granice	F1	F1	-	-	-	-	-	-	-	-	F2	-	-	-	-	-	-	-	-
Gustoća	C2 F1	C3 F3	-	R1	R1	-	C2 F2	-	-	-	C2 F2	C2	C2	-	-	C2 F2	-	-	-
Posmična čvrstoća	C2 F1	-	-	R1	-	-	C2 F1	C1 F1	-	-	C2 F3	C2 F3	C2 F3	C2 F1	C2 F1	C1 F1 R2	-	-	-
Krutost	C2 F1	-	-	R1	-	-	C1 F2	C1 F1	R1	F1	C2 F2	C2 F2	C2 F2	C2	-	C2 F1	C1 F1	-	-
Vodopropusnost	C2 F1	-	-	R1	-	-	C3F2	F3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C2 F3	C2 F2
Kemijski pokusi	C1 F2	C1 F1	-	R1	R1	-	-	-	-	-	C2 F2	-	-	-	-	-	-	-	-

Legenda

CPT	statička penetracija	CPTU	statička penetracija s mjerenjem pornog tlaka	DMT	plosnati dilatometar
DPL	dinamička penetracija lagana	DPM	dinamička penetracija srednja	DPH	dinamička penetracija teška
DPSH	dinamički penetracija superteška	FVT	terenska krilna sonda	PLT	probna ploča (u bušotini)
RDT	dilatometar za stijenu	SDT	dilatometar za tlo	SPT	standardni penetracijski pokus
WST	statička penetracija s utegom				

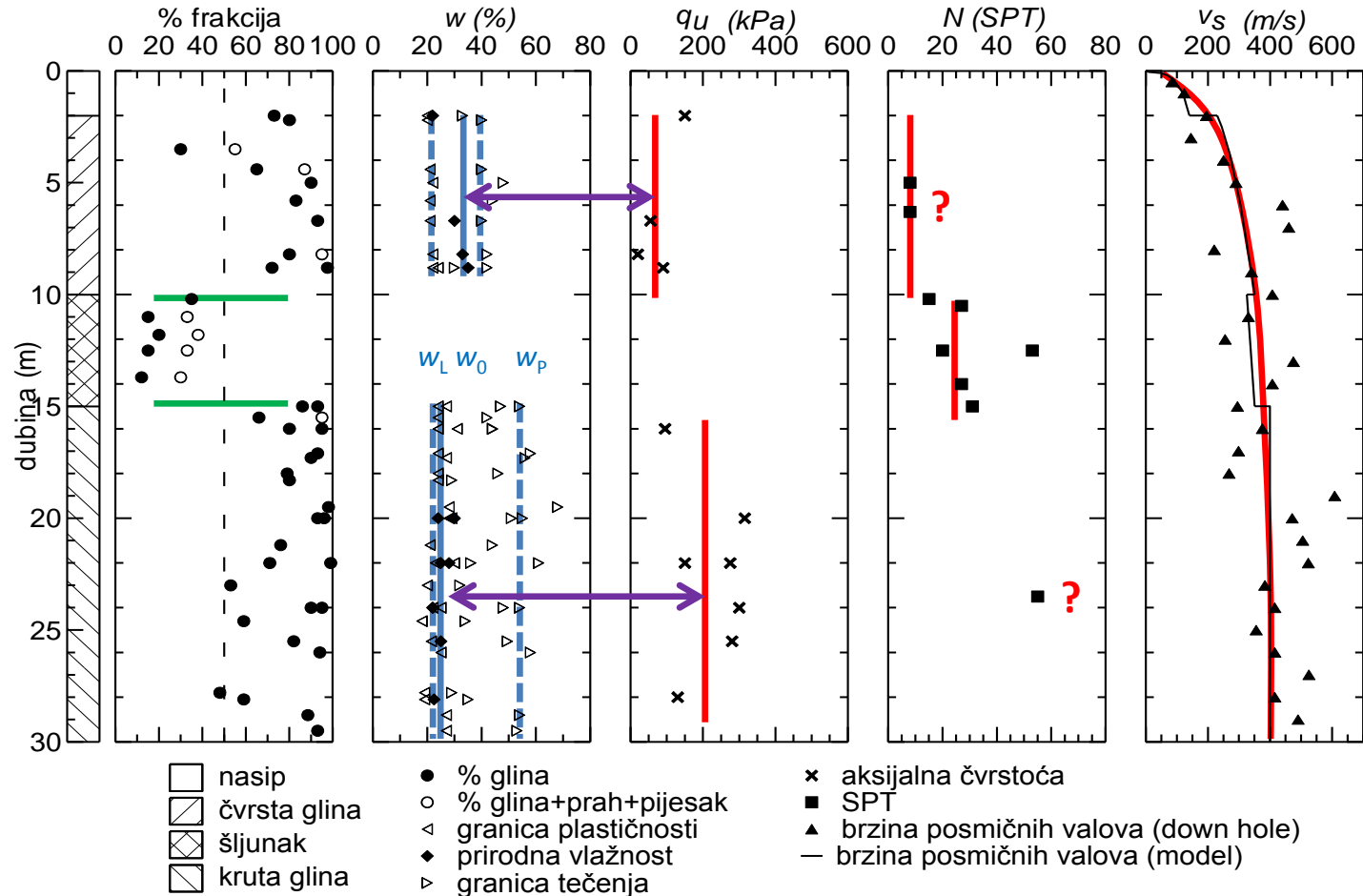
Otvoreni sustav: piezometar koji mjeri pritisak težinom stupca vode; Zatvoreni sustav: piezometar koji mjeri tlak vode neposredno (mali dotok vode)

Primjenjivost: C-krupnozrno tlo; F-sitnozrno tlo; R-stijena; 1-jaka; 2-srednja; 3-slaba primjenjivost

Kategorije uzorkovanja za tlo (prema EN ISO 22475-1): A-tankostijeni uzorkivač; B-uzorak iz sržne cijevi ili SPT-a; C-uzorak iz bušenja ispiranjem

Određivanje proračunskog modela tla 7

- Grafički prikaz rezultata



Određivanje proračunskog modela tla 8

- Određivanje karakterističnih vrijednosti parametara tla:
 - Inženjerska procjena, rjeđe statistički
 - Približna uputa za opreznu procjenu karakterističnih vrijednosti parametra tla iz njihove srednje vrijednosti (Orr i Farrell 1999):

Parametar tla (X)	simbol	$X_k / X_{srednje}$
Tangens efektivnog kuta trenja	$\tan \varphi'$	0.95
Efektivna kohezija	c'	0.80
Nedrenirana čvrstoća	c_u	0.85
Edometarski modul	E_{oed}	0.80
gustoća	ρ	1.00

Projektiranje uz pomoć proračuna

Proračunski učinak djelovanja E_d

$$E_d = E(\gamma_G G) + E(\gamma_Q Q) \text{ ili}$$

$$E_{d;G} = \gamma_G E(G), \quad E_{d;Q} = \gamma_Q E(Q).$$

Kad djelovanje potječe od tla:

$$E_d = E(X_k / \gamma_M) \text{ ili}$$

$$E_d = \gamma_E E(X_k)$$

Proračunska otpornost R_d

$$R_d = R(X_k / \gamma_M) \text{ ili}$$

$$R_d = R(X_k) / \gamma_R \text{ ili}$$

$$R_d = R(X_k / \gamma_M) / \gamma_R$$

Napomena 1: $E(\cdot)$, $R(\cdot)$ su funkcije učinka djelovanja odnosno otpornosti

Napomena 2: varijante proračuna ovise o proračunskom pristupu (PP), a razlikuju se po mjestu primjene parcijalnih koeficijenata: (a) na izvoru rizika (djelovanja ili parametri materijala, ili (b) na mjestu učinka i otpornosti.

Napomena 3: za granična stanja nosivosti parcijalni koeficijenti su veći od 1 za sva nepovoljna djelovanja i za otpornosti, manji od 1 za stalna povoljna djelovanja ili 0 za prolazna povoljna djelovanja, a za granična stanja uporabivosti te za jediničnu težinu tla su jednaki 1.

Proračunske situacije za granično stanje nosivosti

Vrsta	Opis	Ozn.	Uvjet	Primjer
Gubitak ravnoteže	Gubitak ravnoteže konstrukcije kad je utjecaj otpornosti tla (R_d) od manjeg značaja	EQU	$E_{dst;d} \leq E_{stb;d} + T_d$	Prevaljivanje potpornog zida
Slom konstrukcije ili tla	Slom betonskog, zidanog, čeličnog ili drvenog dijela konstrukcije (STR) ili tla smicanjem (GEO)	STR/ GEO	$E_d \leq R_d$	Slom betonskog temelja, slom tla ispod temelja
Izdizanje od uzgona	Izdizanje konstrukcije uslijed uzgona	UPL	$V_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d$	Izdizanje uronjene konstrukcije
Hidraulički slom	Vlačni slom u tlu uslijed tečenja podzemne vode	HYD	$u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d}$ Ili $S_{dst;d} \leq G'_{stb;d}$	Hidraulički slom (u dnu jame, ...)

Indeksi:

dst – nepovoljno; stb – povoljno; d – proračunski; E - učinak djelovanja, R - otpornost, V – uzgon, G – težina, u – tlak u porama tla, σ – normalno tlačno naprezanje (ukupno), S – vertikalna sila strujnog tlaka podzemne vode, G' - uronjena težina stupca tla na koji djeluje sila S , T - otpornost tla za EQU

Proračunski pristupi (PP) za GEO

Proračunski pristup (PP)	Mjesto primjene parcijalnih koeficijenata	Broj kombinacija proračuna
1	Na izvoru: primjena na djelovanja i na parametre tla (osim za pilote i sidra)	2 (dvije kombinacije parcijalnih koeficijenata za djelovanja i otpornosti; u jednoj kombinaciji parcijalni koeficijenti za djelovanje su jednaki 1, a u drugoj tu vrijednost imaju parcijalni koeficijenti za parametre tla)
2	Na mjestu učinka djelovanja: primjena na djelovanja ili učinke djelovanja i na otpornost	1 (prijedlog za primjenu u Hrvatskoj, ali samo kao alternativa za PP3 za nosivost pilota i za nosivost sidra)
3	Na izvoru: primjena na djelovanja i na parametre tla	1 (prijedlog za primjenu u Hrvatskoj za sve geotehničke proračunske situacije GEO)

Parcijalni koeficijenti za granična stanja

- Granično stanje uporabivosti

Svi parcijalni koeficijenti su jednaki 1

- Granična stanja nosivosti

Veličina parcijalnih koeficijenata ovisi o nizu okolnosti

- o karakteru karakteristične vrijednosti: djelovanja, materijalni parametri, otpornosti ili uvažavanje nesigurnih proračunskih modela
- o vrsti proračunske situacije
- o trajnosti proračunske situacije
- o učestalosti djelovanja (trajno, promjenjivo, udesno, potresno)
- o povoljnosti djelovanja: povoljno ili nepovoljno
- o procjeni projektanta o uključenim rizicima

Parcijalni koeficijenti za granična stanja nosivosti (**djelovanja**) 1

γ_F

Granično stanje	Djelovanje	Povoljnost	Simbol	Vrijednost
EQU	Stalno	Nepovoljno	$\gamma_{G,dst}$	1.1
		Povoljno	$\gamma_{G,stab}$	0.9
	Promjenjivo	Nepovoljno	$\gamma_{Q,dst}$	1.5
		Povoljno	$\gamma_{Q,stab}$	0

γ_F ili γ_E

Granično stanje	Djelovanje	Povoljnost	Simbol	Vrijednost za djelovanje	
				neposredno na konstrukciju	posredno (kroz tlo)
STR/GEO (PP3)	Stalno	Nepovoljno	$\gamma_{G,sup}$	1.35	1.0
		Povoljno	$\gamma_{G,inf}$	1.0	1.0
	Promjenjivo	Nepovoljno	$\gamma_{Q,sup}$	1.5	1.3
		Povoljno	$\gamma_{Q,inf}$	0	0

Parcijalni koeficijenti za granična stanja nosivosti (**djelovanja**) 2

γ_F				
Granično stanje	Djelovanje	Povoljnost	Simbol	Vrijednost
UPL	Stalno	Nepovoljno	$\gamma_{G;dst}$	1.1
		Povoljno	$\gamma_{G;stb}$	0.9
	Promjenjivo	Nepovoljno	$\gamma_{Q;dst}$	1.5
		Povoljno	$\gamma_{Q;stb}$	0

γ_F				
Granično stanje	Djelovanje	Povoljnost	Simbol	Vrijednost
HYD	Stalno	Nepovoljno	$\gamma_{G;dst}$	1.35
		Povoljno	$\gamma_{G;stb}$	0.9
	Promjenjivo	Nepovoljno	$\gamma_{Q;dst}$	1.5

Parcijalni koeficijenti za granična stanja nosivosti (**parametri tla i otpornosti; za pilote vidi još i poglavlje o pilotima**)

Tlo: EQU, UPL, GEO (PP3) (u HYD, osim γ , ne ulaze ostali parametri tla)

γ_M

Parametar tla	Simbol	Vrijednost
Tangens kuta trenja, $\tan \varphi'$	$\gamma_{\varphi'}$	1.25
Efektivna kohezija, c'	$\gamma_{c'}$	1.25
Nedrenirana posmična čvrstoća, c_u	γ_{c_u}	1.4
Jedno-osna tlačna čvrstoća, q_u	γ_{q_u}	1.4
Obujamska težina	γ_{γ}	1.0
Vlačna nosivost pilota (samo UPL)	$\gamma_{s;t}$	1.4
Nosivost sidra (samo UPL)	γ_a	1.4

Informativno za beton i čelik (γ_M)

Parametar	Vrijednost
Čvrstoća betona (STR)	1.5
Čvrstoća čelika (STR)	1.15

Umjesto zaključka: ponašanje temelja i pojednostavljenja

- **Temelji su sastavni dijelovi konstrukcije** čija opterećenja prenose u tlo.
- **Kontaktne naprezanja između temelja i tla rezultat su mehaničke interakcije konstrukcija-temelj-tlo** (kompatibilnost pomaka i sila na kontaktu temelja i tla); to se u praksi često zanemaruje (ponekad opravdano) pa se kontaktne naprezanja pretpostavljaju neovisnim od utjecaja tla.
- **Problem određivanja kontaktnog naprezanja između temelja i tla složen** je zbog složenih procesa u tlu (tlo podložno deformacijama promjenjivim u vremenu – konsolidacija i puzanje – koje su u složenom nelinearnom odnosu sa opterećenjem), ali i različitim kombinacijama opterećenja od strane konstrukcije tijekom njene izgradnje i života. **Zbog toga se u praksi koristi niz pojednostavljajućih pretpostavki** u postupcima dokazivanja mehaničke otpornosti i stabilnosti, čija se opravdanost brani dosadašnjim iskustvom. **Slučajevi gdje je to iskustvo mršavo ili ga nema, kao što su različite inovacije u temeljenju ili njihova primjena izvan uobičajene prakse, traže od inženjera posebnu pažnju, oprez i promišljene provjere stabilnosti i otpornosti.**
- **Uspješno projektiranje temelja zahtijeva specijalistička znanja konstrukterstva i geotehnike, posebno mehanike tla,** pa time i usku suradnju specijalista tih struka.

Reference

- Bishop, A. W., Bjerrum, L. (1960). The relevance of triaxial test to the solution of stability problems. *Proc. Res. Conf. Strength of Cohesive Soils*. Boulder, Colorado, ASCE, 437-501.
- Terzaghi, K, (1936). The shearing resistance of saturated soils. *Proc. First Int. Conf. Soil Mech. & Fdn. Engng.* Cambridge, Massachusetts, Harvard University, 1, 54-56

Prilog: Popis eurokodova i geotehničkih normi u Hrvatskoj