

Određivanje konzistentnog stanja tla

Mulabdić, Mensur; Glavaš, Tomislav

Source / Izvornik: **Građevinar, 2000, 52, 719 - 725**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:133:772065>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



GRAĐEVINSKI I ARHITEKTONSKI FAKULTET OSIJEK
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

Repository / Repozitorij:

[Repository GrAFOS - Repository of Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek](#)



Određivanje konzistentnog stanja tla

Mensur Mulabdić, Tomislav Glavaš

Ključne riječi

tlo,
konzistentno
stanje,
krutost tla,
pokusi,
laboratorij, teren

M. Mulabdić, T. Glavaš

Prethodno priopćenje

Određivanje konzistentnog stanja tla

Obrađuje se problem određivanja konzistentnog stanja koherentnog tla na temelju laboratorijskih i terenskih pokusa, te se uspoređuju odgovarajući postupci iz geotehničke prakse u Hrvatskoj i u svijetu. Predlaže se kategorije konzistentnog stanja tla vezati uz indeks konzistencije, a da kategorije određene na temelju nedrenirane čvrstoće tla označavaju kategorije krutosti tla. Predložen je mogući sustav kategorizacije konzistentnog stanja i krutosti tla za primjenu u Hrvatskoj.

Key words

soil,
consistency,
soil stiffness,
test,
laboratory,
field

M. Mulabdić, T. Glavaš

Preliminary note

Determination of soil consistency

The problem of determining consistency of a coherent soil is analyzed based on laboratory and field testing and comparisons are made between practical geotechnical procedures used in Croatia and worldwide. According to the authors, the categories of soil consistency should be linked to consistency index, while categories determined according to the undrained strength of soil should denote categories of soil stiffness. A system for soil consistency and stiffness classification in Croatia is proposed.

Mots clés

sol,
état de consistance,
rigidité du sol,
essai,
laboratoire,
in situ

M. Mulabdić, T. Glavaš

Note préliminaire

Détermination de l'état de consistance du sol

L'article étudie le problème de détermination de l'état de consistance d'un sol cohérent à partir des essais en laboratoire et in situ. On compare les procédés correspondants dans la pratique géotechnique en Croatie et dans le monde. Il est proposé que les catégories de l'état de consistance du sol soient liées à l'indice de consistance et que les catégories déterminées en fonction de la résistance non drainée du sol indiquent les catégories de la rigidité du sol. On propose un système de catégorisation de l'état de consistance et de rigidité du sol à mettre en oeuvre en Croatie.

Schlüsselworte:

Boden,
Konsistenz,
Bodensteifigkeit,
Versuch,
Laboratorium,
Gelände

M. Mulabdić, T. Glavaš

Vorherige Mitteilung

Bestimmung der Bodenkonsistenz

Behandelt ist das Problem der Bestimmung der Konsistenz von bindigen Böden auf Grund von Labor- und Geländeuntersuchungen, weiter sind entsprechende Verfahren aus der geotechnischen Praxis in Kroatien und in der Welt verglichen. Es wird vorgeschlagen die Konsistenzkategorien mit dem Konsistenzindex zu verbinden, während die auf Grund der undrenierten Bodenfestigkeit bestimmten Kategorien Bodensteifigkeitskategorien bezeichnen. Für die Anwendung in Kroatien ist ein mögliches System der Kategorisierung der Konsistenz und der Steifigkeit des Bodens vorgeschlagen.

Autori: Doc. dr. sc. **Mensur Mulabdić**, dipl. ing. građ.; **Tomislav Glavaš**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

1 Uvod

Geotehnička praksa služi se usklađenim i dogovorenim postupcima opisa tla za karakterizaciju njegovih fizikalnih i mehaničkih svojstava. Ti se postupci temelje na opisu tla (kao na primjer terenska klasifikacija i identifikacija tla) ili na procjeni svojstava na osnovi nekog mjerenja (primjerice relativna gustoća nekoherentnog tla na temelju broja udaraca u SPT pokusu).

Za koherentna tla posebno je važan podatak o konzistentnom stanju tla, odnosno o odnosu prirodne vlažnosti tla s granicom tečenja i granicom plastičnosti tla kao važnim parametrima za ta tla. Na osnovi procijenjenoga konzistentnog stanja tla može se steći dojam o njegovoj krutosti i čvrstoći.

U svjetskim okvirima prihvaćeno je da se kategorije konzistentnih stanja koherentnog tla vežu za indeks konzistencije tla I_c , a primjenjuje se i nedrenirana čvrstoća tla (c_u) u ocjeni krutosti tla (što se često neopravdano izravno poistovjećuje s konzistentnim stanjima tla). Time se postiže da se konzistentno stanje i krutost tla okarakteriziraju objektivnim parametrom koji se dobiva mjerenjem (granica tečenja - granica plastičnosti - prirodna vlažnost, nedrenirana čvrstoća). Pri tome treba napomenuti da se nedrenirana čvrstoća mjeri na neporemećenom uzorku, a spomenute granice na pregnječenom (poremećenom) uzorku tla. Zbog toga se nedrenirana čvrstoća dominantno rabi za ocjenu krutosti tla jer odražava i utjecaj građe i strukture tla koja se uništava pri ispitivanju granica tečenja i plastičnosti. U radu se odvojeno promatra konzistentno stanje od krutosti tla preko navedenih parametara. Time se podržava princip da se konzistentna stanja tla vežu za indeks konzistencije i da se za tu svrhu ne primjenjuje nedrenirana čvrstoća.

Za svaki postupak kategorizacije valja izabrati i odrediti granične vrijednosti pojedinog parametra da bi se imenovale kategorije konzistentnog stanja tla i krutosti tla. Na terenu se u sklopu terenske identifikacije i klasifikacije tla daje ocjena njegova konzistentnog stanja i krutosti na temelju jednostavnih postupaka ispitivanja.

U Hrvatskoj se rabe naslijeđeni dokumenti koji reguliraju aktivnosti vezane uz temeljenje i geotehničke zahvate, a koji nisu uvijek u skladu sa suvremenim rješenjima u struci primjenjivanim u drugim zemljama. Zbog tog se razmimoilaženja pojavljuju problemi pri suradnji i komunikaciji sa stranim i domaćim investitorima ili izvoditeljima. Tako se u Pravilniku o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata (1990.) spominju kategorije konzistentnih stanja, ali ne i granice među njima. Dokument kojim se tumače odredbe Pravilnika Šuklje [3] navodi granice konzistentnih stanja preko indeksa konzistencije tla i preko nedrenirane čvrstoće. Evidentna je, dakle, nedosljednost i raznolikost u geotehničkoj

regulativi, a svakako i u praksi pri opisu konzistentnog stanja koherentnog tla.

U ovome radu daje se pregled postupaka koji se uvelike primjenjuju u svijetu i u Hrvatskoj za ocjenu konzistentnog stanja tla na temelju različitih parametara te sugerira prihvaćanje jednog sustava pogodnog za geotehničku praksu kod nas. Norma ISO/DIS 14688 [12] izrađena je kao radni prijedlog postupka za klasifikaciju i identifikaciju tla koji bi se trebao primjenjivati širom svijeta. Ona definira kategorije konzistentnog stanja tla ali ne i kategorije krutosti tla. Stoga je prijedlog iznesen u ovome radu o kategorijama konzistentnog stanja i krutosti tla jedan od mogućih dogovora za prijelazno razdoblje do prihvaćanja konačne norme na europskom ili međunarodnom nivou, odnosno do definiranja hrvatske norme. Ovaj je prijedlog sukladan ideji koju propisuje i navedena ISO/DIS norma da se samo I_c rabi za ocjenu konzistentnih stanja tla. Za razliku od te norme, koja klasificira nedreniranu čvrstoću po iznosu (od male do velike) i ne rabi ju za bilo kakvu klasifikaciju tla, u ovom radu autori predlažu da se nedrenirana čvrstoća primjenjuje za klasifikaciju tla po krutosti, što je sukladno praksi u mnogim zemljama, uključujući i Hrvatsku.

Tri su cilja postavljena pred ovaj rad:

- da usporedi postojeće postupke i nazive za pojedine kategorije konzistentnog stanja i krutosti tla koji se primjenjuju u svijetu s postojećom praksom u Hrvatskoj i s iznesenim prijedlogom,
- da potakne geotehničku zajednicu u Hrvatskoj na usvajanje jednog postupka (privremenog ili trajnog) za kategorizaciju konzistentnog stanja tla,
- da se omogući bolje razumijevanje u komunikaciji stručnjaka u Hrvatskoj i sa stručnjacima (dokumentima) iz drugih zemalja glede konzistentnog stanja tla.

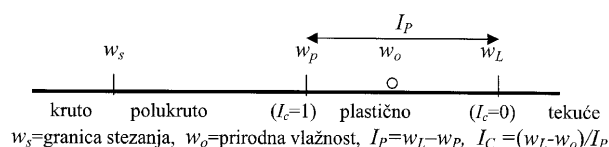
2 Pojmovi i njihovo fizikalno značenje

Konzistentno stanje tla odnosi se na koherentno tlo i odražava krutost tla u stanju prirodne vlažnosti. Općenito se razlikuju kategorije konzistentnog stanja od žitkog (tekućeg) do (jako) krutog, između kojih se u pojedinim zemljama pojavljuju dodatne kategorije ovisno o posebnostima lokalnih uvjeta i geotehničkoj praksi.

Za koherentna tla u praksi se koriste tri pristupa za klasifikaciju tla prema konzistenciji i krutosti: temeljem mjerenja nedrenirane čvrstoće, temeljem indeksa konzistencije i opisom konzistentnog stanja tla u sklopu terenske identifikacije i klasifikacije tla.

Indeks konzistencije I_c jest odnos brojčane razlike granice tečenja i prirodne vlažnosti i indeksa plastičnosti. Indeks plastičnosti I_p je brojčana razlika granice tečenja i granice plastičnosti (slika 1.). Granica plastičnosti w_p

je vlažnost (pregnjenog uzorka) pri kojoj tlo postaje suviše suho da bi bilo plastično, tj. ne može se oblikovati a da mu se ne naruši kontinuitet. Granica tečenja w_L jest vlažnost pri kojoj tlo prelazi iz tekućeg u plastično stanje, to jest počinje pokazivati sasvim male vrijednosti posmične čvrstoće (definicije prema ETC5 [11]). Neki autori predlažu da se granica tečenja definira kao vlažnost uzorka pri kojoj je nedrenirana čvrstoća 2 kPa. Ona se ispituje u Casagrandeovu aparatu (na pregnjenom uzorku) ili s pomoću padajućeg šiljka (također na pregnjenom uzorku [11]). Granice se određuju iskustveno ustanovljenim i propisanim postupcima.



Slika 1. Granice i konzistentna stanja, prema općeprihvaćenim principima

Nedrenirana je čvrstoća maksimalno posmično naprezaње u tlu pri nedreniranim uvjetima brzog smicanja. Njezina vrijednost ovisi o postupku ispitivanja.

Inženjerski je interes da se ustanovi krutost tla u zoni geotehničkog zahvata budući da o njoj ovisi deformabilnost tla i da je ona usko povezana s čvrstoćom tla. Ona se može ustanoviti mjerenjima u pokusima na neporemećenim uzorcima tla, što je skup i dugotrajan postupak. Često se inženjeri služe procjenama krutosti na temelju jednostavnijih i manje skupih pokusa, pri čemu je potreban oprez glede podrijetla i karaktera primijenjenih parametara. Prva korisna informacija o krutosti tla odnosi se na opis njegova konzistentnog stanja, odnosno na klasifikaciju tla po krutosti.

Kao rezultat primjene jednog od navedenih postupaka (nedrenirana čvrstoća, indeks konzistencije, terenska klasifikacija) promatrano tlo u prirodnom stanju svrstava se u neku kategoriju krutosti, od vrlo mekog do krutog. Pravila za takve klasifikacije razlikuju se u pojedinim zemljama. Kao što će se pokazati, ne postoji pouzdana međusobna korelacija između ocjena o krutosti tla dobivenih prema različitim postupcima, pa se zato zahiti oprez pri njihovoj primjeni. Neka su objašnjenja s tim u vezi navedena u nastavku rada.

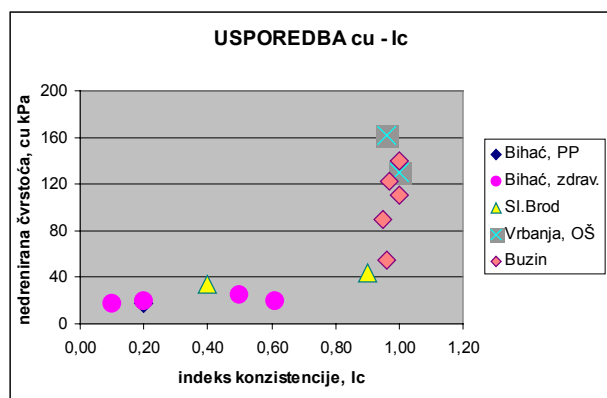
Indeksom konzistencije opisuje se konzistentno stanje (kao neka mjera krutosti tla) prema odnosu prirodne vlažnosti tla i granice tečenja i granice plastičnosti tla. Što je veća vrijednost I_c to je tlo kruće. Koristeći se modelom Cam Clay i teorijom kritičnog stanja pojedini autori [1, 8] utvrdili da je nedrenirana čvrstoća pri granici plastičnosti veća otprilike sto puta od nedrenirane čvrstoće pri granici tečenja. Mjerenjima je utvrđeno da je nedrenirana čvrstoća na granici tečenja oko 2 kPa, pa proizlazi da

je nedrenirana čvrstoća na granici plastičnosti oko 200 kPa, za sva tla. Ova istraživanja odnose se na tlo u kritičnom stanju, dakle za trajnu a ne za vršnu čvrstoću. Prema mehanizmu sloma i uvjetima izvedbe pokusa može se očekivati da je nedrenirana čvrstoća na granici tečenja jednaka za sve materijale (u aparatu Casagrandea formira se jedinstvena geometrija uzorka u posudici, napravi se standardizirani zarez u masi uzorka i čeka se klizanje stranica tako oformljenog kanala nakon 25 udaraca posude o podlogu i spoj kliznih tijela s dvije strane kanala u duljini 13 mm). Granica plastičnosti ima također normiran postupak ispitivanja (valjčići pucaju pri debljini od 3 mm), no smatra se da se nedrenirane čvrstoće različitih vrsta tla razlikuju na ovoj granici ali se grupiraju oko prosječne navedene vrijednosti. Logično je očekivati da se pri ovoj vlažnosti osjeti utjecaj veza među česticama tla (karakter minerala i njihova interakcija s vodom oko čestica) i da one utječu na čvrstoću tla znatno više nego pri granici tečenja kada su čestice jako razmaknute i s manje međusobnih kontakata.

Objke granice (w_L i w_p) utvrđuju se na poremećenom (pregnjenom) uzorku kojemu su uništene veze među česticama, struktura i građa skupina čestica i efekti prekonsolidacije. Nedrenirana čvrstoća pregnjenog tla pripremljenog za ispitivanja ovih granica raste smanjenjem vlažnosti tla usljed djelovanja kapilarnih sila koje proizvode porast efektivnog sfernog naprezaanja (zabilježene su vrijednosti i do 300-400 kPa, [8]). To znači da razmuljano tlo na granici tečenja sušenjem postaje sve kruće (a da mu se ne mijenja struktura), uz smanjenje volumena. Na granici stezanja prestaje smanjenje volumena od gubitka slobodne vode. Postupak ispitivanja za granicu plastičnosti mijenja početnu strukturu tla (disperzivnu u flokulastu) i vjerojatno time utječe na povećanje čvrstoće (paralelnost čestica tla se smanjuje).

Nerealna su očekivanja da se prema vrijednosti I_c prognozira nedrenirana čvrstoća tla u prirodnom stanju poradi naprijed opisanih razloga. Wood [8], navodi da se u analizama za kritična stanja tla može ustanoviti približna korelacija $c_u = 2 \cdot 100^{I_c}$. Za normalno konsolidirana i neosjetljiva tla to se još donekle može očekivati. Međutim, gotovo sva tla su prekonsolidirana [5], bez obzira na to je li uzrok prekonsolidacije mehanički, kemijski ili neki drugi. Osim toga, građa tla (postojanje strukture) i kemijske veze među česticama uvelike utječu na vrijednost nedrenirane čvrstoće prirodnog tla, a oni se uništavaju postupkom ispitivanja w_L i w_p .

Na slici 2. prikazani su rezultati analize za neka tla na lokacijama koje su istraživali autori. Vidi se da se nedrenirana čvrstoća ni u mekim tlima ni u tvrdim tlima ne može prognozirati pouzdano na temelju I_c . Čvrstoća oko granice plastičnosti za tvrde gline sa slike 2. nije veća od 200 kPa (uzorci su sa dubine 1-4 m, iznad nivoa pod



Slika 2. Prikaz ovisnosti nedrenirane čvrstoće o indeksu konzistencije tla za neka ispitana tla (vrijednosti oko $I_c = 1$ dobivene su kao $c_u = q_u/2$, a ostale vrijednosti dobivene su ispitivanjem dilatometrom Marchetti)

zemne vode). Djelomično objašnjenje ovih vrijednosti može se naći u činjenici da krute gline mogu u prirodnom stanju imati manju čvrstoću od one u pregnojčanom stanju zbog raspucalosti i smanjenja čvrstoće na tim plohama. S druge strane, poznato je da osjetljive gline (naročito tzv. *quick clays*) mogu imati vlažnost veću od granice tečenja a da im je pri tome nedrenirana čvrstoća velika (npr. od 20-100 kPa). Situaciju dodatno komplicira i otežava anizotropija (tla i naprezanja). Meke gline na slici 2. pokazuju malu čvrstoću i za indekse konzistencije veće od $I_c = 0.3$. Ta je pojava prisutna kod nekonsolidiranih glina [8], a ako su gline osjetljive (imaju razvijenu strukturu) tada dilatometar (ili CPT sonda) može oštetiti strukturu tla i mjeriti manje otpore istiskivanju membrane (ili prodoru šiljka) pa time i interpretacijom dobiti manje nedrenirane čvrstoće.

Analiza pokusa u edometru na prosječnom slabo prekonsolidiranom tlu pokazuje da promjena vertikalnog naprezanja od 100 na 400 kPa proizvede promjenu vlažnosti od oko 10-15%, koliko se otprilike promijeni i I_c . Nedrenirana čvrstoća bi se u tom rasponu promjene vertikalnog naprezanja trebala promijeniti oko četiri puta. Dakle, moguća veza parametara I_c i c_u je izrazito nelinearna, a treba obuhvatiti i efekte osjetljivosti tla (vidi analize u: [9]).

Klasifikaciju tla preko I_c treba shvatiti kao ocjenu konzistentnog stanja u odnosu prema stanju pri granici plastič-

nosti (tvrdo) i granici tečenja (tekuće), zanemarujući pri tome "miješanje" efekata neporemećenog i poremećenog uzorka tla.

Nedrenirana čvrstoća (c_u) mjeri se na neporemećenom uzorku tla (na razne načine), a koristi se vrlo često kao kriterij za klasifikaciju tla po krutosti, slično postupku preko I_c (tablice 1. i 2.). Kategorije tla prema c_u kreću se od (vrlo) mekog do (vrlo) krutog. Norma ISO/DIS 14688 definira da je nedrenirana čvrstoća polovina jednodnosne čvrstoće. Drugačije određena nedrenirana čvrstoća može imati drugačiju vrijednost (npr. u pokusu krilnom sondom). U rasponu vrijednosti c_u kojima se određuju kategorije krutosti tla utjecaj načina određivanja c_u na izbor kategorije krutosti tla ne bi trebao biti značajan.

Klasifikaciju krutosti tla prema c_u treba shvatiti kao ocjenu krutosti tla u prirodnom stanju, u apsolutnom smislu, jer odražava prirodne uvjete i ne uspoređuje moguća stanja tla nego iskazuje čvrstoću tla u skali čvrstoća koje se općenito susreću u tlu. Valja upozoriti da norma ISO/DIS 14688 govori o vrijednosti nedrenirane čvrstoće (mala do velika) a ne kao druge norme o krutosti tla (tablica 2.).

Dakle, autori sugeriraju stav da I_c služi da se ustanovi konzistentno stanje (npr. žitko, ili čvrsto i sl.) a c_u da se ocijeni krutost tla (meko, tvrdo i sl.). Terenski opisi konzistentnog stanja teže kategorizaciji prema I_c ili c_u (tablica 3.). Fizikalna veza među tim kategorijama postoji (npr. meko tlo je lako gnječivo), ali teško je uspostaviti pouzdanu vezu prema vrijednostima parametara I_c i c_u .

3 Stanje u hrvatskoj

Pravilnik za temeljenje (1990.) raspoznaje pet kategorija konzistentnog stanja tla: žitko, lako gnječivo, teško gnječivo, polučvrsto i čvrsto konzistentno stanje. On, međutim, ne daje kriterije po kojima se razlikuju pojedina konzistentna stanja. Ova podjela više je prilagođena terenskoj (mjera je gnječivost tla) nego laboratorijskoj klasifikaciji.

L. Šuklje u svom Objašnjenju *Pravilnika o tehničkim normativima za projektovanje i izvođenje radova kod temeljenja građevinskih objekata* [3] razlikuje šest kategorija konzistentnog stanja prema I_c i pet kategorija

Tablica 1. Pregled kategorija konzistentnog stanja tla preko I_c prema raznim izvorima

IZVORI					
[12]		[3]		[7]	
vrlo meko	$I_c < 0$	tekuće	$I_c < 0$ veoma meka	$q_u < 35$ kPa	žitko
meko	$0.25 < I_c < 0.50$	meko plastično	$0 < I_c < 1/3$	$35 < q_u < 70$	lako gnječivo
čvrsto	$0.50 < I_c < 0.75$	srednje plastično	$1/3 < I_c < 2/3$	$70 < q_u < 140$	teško gnječivo
kruto	$0.75 < I_c < 1.00$	kruto	$2/3 < I_c < 1$	$140 < q_u < 280$	polučvrsto
vrlo kruto	$I_c < 1.00$	polutvrdo	$1 < I_c < (wL-ws) / I_p$	$q_u < 280$	čvrsto
		tvrdo	$I_c < (wL-ws) / I_p$		(nema kriterija)

Tablica 2. Pregled različitih sustava kategorizacije koherentnog tla prema konzistentnom stanju tla, na temelju nedrenirane čvrstoće tla

NEDRENIRANA ČVRSTOĆA, c_u (kPa)

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
BS (British Standards)																		
	very soft (vrlo meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft to firm (meko do tvrdo)	firm (tvrd)	firm to stiff (vrdo do kruto)	stiff (kruto)	stiff (kruto)	stiff (kruto)	stiff (kruto)	stiff (kruto)	stiff (kruto)	stiff (kruto)	stiff (kruto)	stiff (kruto)	stiff (kruto)	stiff (kruto)	stiff (kruto)
SGS (švedski pravilnik)																		
	very soft (vrlo meko)	soft (meko)	medium stiff (srednje kruto)	medium stiff (srednje kruto)	medium stiff (srednje kruto)	medium stiff (srednje kruto)	medium stiff (srednje kruto)	medium stiff (srednje kruto)	medium stiff (srednje kruto)	medium stiff (srednje kruto)	medium stiff (srednje kruto)	medium stiff (srednje kruto)	medium stiff (srednje kruto)	medium stiff (srednje kruto)	medium stiff (srednje kruto)	medium stiff (srednje kruto)	medium stiff (srednje kruto)	medium stiff (srednje kruto)
Lambe & Whitman																		
	very soft (vrlo meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)
Šuklje L.																		
	vrlo meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko
ISO/DIS 14688 (odnosi se na nedreniranu čvrstoću, a ne na konzistentna stanja)																		
	very low (vrlo niska)	low (niska)	low (niska)	low (niska)	low (niska)	low (niska)	low (niska)	low (niska)	low (niska)	low (niska)	low (niska)	low (niska)	low (niska)	low (niska)	low (niska)	low (niska)	low (niska)	low (niska)
ISO/DIS 14688 (odnosi se na konzistentna stanja prema indeksu konzistencije I_c)																		
	very soft (vrlo meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)	soft (meko)
PRIJEDLOG																		
	vrlo meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko	meko

prema $q_u (= 2 c_u)$, (vidi tablice 1. i 2.). On govori o "konzistenciji" i u jednom i u drugom pristupu. Nazivi većine kategorija su jednaki pa bi se moglo zaključiti da se vrijednosti $c_u (= q_u/2)$ mogu povezati s vrijednostima za I_c preko granica jednakih kategorija. To nije sukladno suvremenom pogledu na taj problem.

Najčešća geotehnička literatura u Hrvatskoj jest knjiga prof. Nonveiller [6]. Prema njoj se daju samo kategorije za terensku klasifikaciju (čvrsto, polučvrsto, teško gnječivo, lako gnječivo, žitko) bez definiranih granica između njih. Ta podjela preslikana je u Pravilnik za temeljenje [7], (tablica 1.).

U suvremenoj geotehničkoj praksi u Hrvatskoj [7] ne primjenjuje se nedrenirana čvrstoća za klasifikaciju tla po krutosti. Smatramo da je ovako važan dokument nepotpun bez definirane kategorizacije tla po konzistenciji i krutosti tla, pa ocjenjujemo da je potrebno donijeti odluku o primjeni kategorija konzistentnog stanja tla ovisno o njegovom indeksu konzistencije i o krutosti tla ovisno o njegovu nedreniranoj čvrstoći.

4 O praksi u drugim zemljama i prijedlogu za Hrvatsku

U ovom dijelu analizirana su praktična iskustva zemalja koje imaju definirane kategorije konzistentnog stanja tla ili njegove krutosti normama ili pravilnicima. Moguće je pronaći nekoliko sustava kategorizacije kojima se koriste razvijene zemlje, bilo preko norma, bilo preko preporuka i pravilnika, pa su te informacije uvrštene u tablicu 2.

Tako su analizirane odredbe koje se rabe u Švedskoj, Engleskoj i SAD-u. Eurocode 7 ne nudi takvu klasifikaciju. Norma ISO/DIS 14688 detaljno govori o određivanju kategorija konzistentnog stanja tla (tablica 1.) i o nedreniranoj čvrstoći, ali nema kategorije za krutost tla prema c_u . Neki sustavi normi, kao npr. DIN i AFNOR, nemaju normirane postupke kategorizacije konzistentnog stanja tla ili krutosti tla prema I_c odnosno c_u .

U tablici 2. prikazane su kategorije tla po krutosti u odnosu prema nedreniranoj čvrstoći a ne po konzistentnom stanju u smislu rasprave u točki 2. ovog rada. BS i SGS nemaju kategorizaciju tla po indeksu konzistencije. Kategorije prema normi ISO/DIS 14688 govore o vrijednosti nedrenirane čvrstoće a ne o krutosti tla. Tako se izbjegava ocjena konzistentnog stanja prema c_u što se zagovara i u ovome radu.

Sustavi pojedinih zemalja prilagođeni su uvjetima u tlu u tim zemljama pa je tako u mekim osjetljivim tlima, karakterističnim za Skandinaviju, detaljnija podjela nego kod drugih zemalja, a krute gline su detaljnije raspoređene u Engleskoj i SAD-u. Općenito se uporabljuje pet do šest kategorija i granice među njima su definirane sličnim vrijednostima nedrenirane čvrstoće.

Prijedlog autora za primjenu u Hrvatskoj iznesen je u tablici 2. On se odnosi na kategorije krutosti tla prema nedreniranoj čvrstoći a temelji se na dosadašnjoj praksi u Hrvatskoj, koja uzima u obzir uvjete u tlu, te na praksi drugih zemalja. Tako se predlaže razlikovati pet kategorija tla po krutosti: vrlo meko ($c_u = 2-25$ kPa), meko ($c_u = 25-50$ kPa), srednje tvrdo ($c_u = 50-75$ kPa), tvrdo ($c_u = 75-100$ kPa) i kruto ($c_u > 100$ kPa).

Predlaže se da se u Hrvatskoj primjenjuje kategorizacija konzistentnih stanja tla prema dosadašnjim nazivima, ali s granicama I_c prema ISO/DIN 14688 (tablica 1.). To znači da se koristi pet kategorija konzistentnog stanja tla: žitko ($I_c < 0$), lako gnječivo ($0.25 < I_c < 0.50$), teško gnječivo ($0.50 < I_c < 0.75$), polučvrsto ($0.75 < I_c < 1.00$) i čvrsto konzistentno stanje ($I_c > 1.00$).

Ovim prijedlogom osigurava se: (1) da se jasno razlikuju kategorije konzistentnog stanja od kategorija krutosti tla, i po naravi parametra i po nazivu kategorija, (2) da su kategorije krutosti sukladne iskustvima u drugim zemljama i našoj praksi, (3) da se zadržavaju nazivi za konzistentna stanja iz Pravilnika za temeljenje [7] te (4) da se rabe jasne granice za pojedine kategorije prema vrijednostima odgovarajućih parametara.

Konzistentno stanje ili krutost tla mora se ocijeniti i na terenu u sklopu terenske klasifikacije i identifikacije tla. U tablici 3. navedeni su postupci kojima se na terenu

Tablica 3. Opis postupaka za određivanje konzistentnog stanja koherentnog tla na terenu

Valjanje valjčica [4]	Pritisak palca [10]	Oblikovanje [12] *
SVOJSTVO KOJE SE PROCJENJUJE		
KONZISTENTNO STANJE	KONZISTENTNO STANJE	NEDRENIRANA ČVRSTOĆA
ŽITKO ne može se valjati ili se valja u vrlo tanke valjčice	VRLO MEKO ostavlja trag dubok > 25 mm	VRLO MALA tlo prolazi između prstiju prilikom stiskanja u ruci
LAKO GNJEČIVO valja se u valjčić tanji od 3 mm da ne puca	MEKO ostavlja trag dubok do 25 mm	MALA moguće oblikovanje laganim pritiscima prstiju
TEŠKO GNJEČIVO valja se teško u valjčić od 3 mm i tada se drobi	TVRDO ostavlja trag oko 6 mm	SREDNJA moguće oblikovanje snažnim pritiscima prstiju
POLUČVRSTO ne da se valjati, teško se gnječi	KRUTO palac ne prodire u tlo, ali se nokat lako utiskuje	VELIKA nije moguće oblikovanje prstima, prstima moguće prodiranje u uzorak
ČVRSTO ne da se gnječiti, mrvli se	VRLO KRUTO nokat ne prodire u tlo samo se njime para površina tla	VRLO VELIKA moguće prodiranje u uzorak samo noktima
* može se pojaviti razlika u kategorijama određenim po terenskom i laboratorijskom postupku		

može ustanoviti konzistentno stanje koherentnog tla i procijeniti njegova krutost ili nedrenirana čvrstoća pri postupku terenske identifikacije i klasifikacije tla.

Uočljivo je da se postupkom prema Mulabdiću [4] ocjenjuje konzistentno stanje tla i da se taj postupak obavlja na pregnječenom tlu, da se postupkom po ASTM D 2488-93 [10] ocjenjuje krutost tla na neporemećenom tlu, a da se postupkom po ISO/DIN 14688 ocjenjuje nedrenirana čvrstoća ali i krutost na neporemećenom uzorku tla. Ovi se postupci međusobno nadopunjuju i sukladni su predloženom razlikovanju kategorizacije tla po konzistentnom stanju u odnosu prema krutosti tla. Korisno ih je izvoditi na terenu jer se provode na čitavoj nabušenoj jezgri, na svježem uzorku tla.

5 Zaključak

U radu se razmatra problem kategorizacije konzistentnog stanja tla u smislu njegova definiranja i određivanja prema sadašnjim postupcima, te se naglašava da se kategorizacija tla prema nedreniranoj čvrstoći treba shvatiti kao kategorizacija tla po krutosti, a ne kao alternativna klasifikacija po konzistentnom stanju tla. Obrađuju se dva parametra na kojima se zasnivaju navedene kategorizacije tla – indeks konzistencije (I_c) i nedrenirana čvrstoća (c_u). Predlaže se da se pojam konzistentnog stanja (popularno konzistencije) veže isključivo za indeks konzistencije.

Opisana su rješenja iz ovog područja kojima se koriste u svijetu i međusobna usporedba tih rješenja s praksom u Hrvatskoj i predloženim rješenjima, i za laboratorijske

postupke i za postupke na terenu. Naglašava se da se kategorije konzistentnog stanja tla određene po terenskom i laboratorijskom postupku mogu razlikovati.

Predlaže se da se u Hrvatskoj primjenjuje kategorizacija konzistentnih stanja tla prema dosadašnjim nazivima, ali s granicama I_c prema ISO/DIS 14688. To znači da se radi pet kategorija konzistentnog stanja tla: žitko ($I_c < 0$), lako gnječivo ($0.25 < I_c < 0.50$), teško gnječivo ($0.50 < I_c < 0.75$), polučvrsto ($0.75 < I_c < 1.00$) i čvrsto konzistentno stanje ($I_c > 1.00$).

Također se predlaže razlikovati pet kategorija tla po krutosti: vrlo meko ($c_u = 2-25$ kPa), meko ($c_u = 25-50$ kPa), srednje tvrdo ($c_u = 50-75$ kPa), tvrdo ($c_u = 75-100$ kPa) i kruto ($c_u > 100$ kPa).

Ovim se prijedlogom osigurava razlikovanje kategorija konzistentnog stanja tla i krutosti tla i po njihovoj naravi, i po nazivima, i po parametrima tla, s jasnim vrijednostima parametara na granicama pojedinih kategorija. On nudi razuman dogovor na temelju iskustava i dosadašnje prakse u Hrvatskoj, a odgovara i prosjeku rješenja primjenjivanih u praksi u svijetu.

Prihvatanje ovog ili nekog drugog prijedloga o jedinstvenim kriterijima za kategorije konzistentnih stanja i krutosti pomoći će geotehničkoj praksi u Hrvatskoj i njezinim stručnjacima u međusobnoj komunikaciji i u suradnji s inozemnim tvrtkama koje izvedu radove kod nas. Rasprava o ovom i sličnim pitanjima unutar profesionalne populacije uvijek je dobrodošla, pa se autori nadaju da je ovaj rad u tom smislu poticajan.

IZVORI

- [1] Schofield, A.; Wroth, P.: *Critical State Soil Mechanics*, McGraw Hill, London, 1968.
- [2] Lambe, T. W.; Whitman, R. V.: *Soil Mechanics*, 1.st edn, John Wiley & Sons, Inc., New York-London-Sydney-Toronto, 1969.
- [3] Šuklje, L.: *Objašnjenje Pravilnika o tehničkim normativima za projektovanje i izvođenje radova kod temeljenje građevinskih objekata*, 1. izdanje, Izgradnja, Sarajevo, 1979.
- [4] Mulabdić, M.: *Postupak za izvođenje terenske klasifikacije tla*, 1. izdanje, Građevinski institut, 22-TRB-4/84. Zagreb, 1984.
- [5] Schmertmann, J. H.: *The mechanical aging of soils*, 25 th Terzaghi Lecture, as presented in New Orleans, 10 Oct 1989.
- [6] Nonveiller, E.: *Mehanika tla i temeljenje građevina*, 2. izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [7] *Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata*, Službeni list broj 15/1990.
- [8] Wood, D. M.: *Soil Behaviour and Critical State Soil Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- [9] Mitchell, J. K.: *Fundamentals of Soil Behaviour*, John Wiley & Sons Inc., New York, second edition 1993.
- [10] ASTM D 2488 – 93, Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure), Volume 04. 08 Soil and Rock, 1995.
- [11] ETC5-N95.7 Standardisation of Laboratory Testing, Draft recommendations for laboratory testing, Workshop 2, XI ECSMFE, Copenhagen, 1995.
- [12] ISO/DIS 14688, Draft International Standard, Geotechnics in civil engineering – Identification and classification of soil, International Organization for Standardization, 1996.
- [13] ENV 1997-1, 1997-2 Eurocode 7: Geotechnical design, Part 1 – General Rules, and Part 2 – Design assisted by laboratory testing, 1999.