

Primljen / Received: 28.5.2018.

Ispravljen / Corrected: 23.8.2018.

Prihvaćen / Accepted: 30.8.2018.

Dostupno online / Available online: 25.10.2018.

Inženjerska klasifikacija tla prema EN ISO 14688-2:2018

Autori:



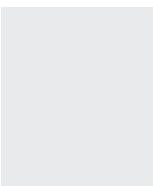
Prof.dr.sc. **Meho Saša Kovačević**, dipl.ing.građ.
Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
msk@grad.hr



Izv.prof.dr.sc. **Danijela Jurić-Kačunić**, dipl.ing.građ.
Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
djk@grad.hr



Doc.dr.sc. **Lovorka Librić**, mag.ing.aedif.
Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
lilibric@grad.hr



Gordana Ivoš, mag.ing.aedif.
Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
givos@grad.hr

Prethodno priopćenje

Meho Saša Kovačević, Danijela Jurić-Kačunić, Lovorka Librić, Gordana Ivoš

Inženjerska klasifikacija tla prema EN ISO 14688-2:2018

U radu se prikazuju novosti u identificiranju i opisu tla prema europskoj normi EN ISO 14688-1:2018 i promjene u načelima za klasifikaciju tla prema europskoj normi EN ISO 14688-2:2018. Razvijena je nova verzija Europske klasifikacije tla za inženjerske potrebe (ESCS). Napravljena je detaljna usporedba s Jedinstvenom klasifikacijom tla (USCS) s obzirom na označavanje grupa tla simbolima, nazive grupa tla i procedure za klasifikaciju. Razvijena je i nova verzija računalnog programa KLASIF. Program predstavlja informatičku podršku za provođenje Jedinstvene (USCS) i Europske (ESCS) klasifikacije tla i olakšava njihovu jednostavnu paralelnu primjenu.

Ključne riječi:

klasifikacija tla, računalni program, norma, granulometrijski sastav tla, plastičnost

Preliminary report

Meho Saša Kovačević, Danijela Jurić-Kačunić, Lovorka Librić, Gordana Ivoš

Engineering soil classification according to EN ISO 14688-2:2018

This paper presents novelties in the identification and description of soil according to European standard EN ISO 14688-1:2018, as well as changes in the principles of soil classification according to European standard EN ISO 14688-2:2018. A new version of the European Soil Classification System (ESCS) for engineering purposes is developed. A detailed comparison with the Unified Soil Classification System (USCS) is performed according to soil group symbols, soil group names, and soil classification procedures. A new version of the KLASIF computer software is also developed. The program provides IT support for implementing both USCS and ESCS classifications, and facilitates their parallel use.

Key words:

soil classification, computer software, standard, particle size distribution, plasticity

Vorherige Mitteilung

Meho Saša Kovačević, Danijela Jurić-Kačunić, Lovorka Librić, Gordana Ivoš

Technische Klassifizierung des Bodens gemäß EN ISO 14688-2:2018

In der Abhandlung werden die Tragfähigkeit bei der Identifizierung und der Beschreibung des Bodens gemäß der europäischen Norm EN ISO 14688-1:2018 sowie die Änderungen in den Grundsätzen für die Bodenklassifizierung gemäß der europäischen Norm EN ISO 14688-2:2018 dargelegt. Entwickelt wurde eine neue Version der Europäischen Bodenklassifizierung für technische Zwecke (ESCS). Durchgeführt wurde ein detaillierter Vergleich mit der Einheitlichen Bodenklassifizierung (USCS) in Bezug auf die Kennzeichnung der Bodengruppen mit Symbolen, Bezeichnung der Bodengruppen sowie der Klassifizierungsprozedur. Entwickelt wurde auch eine neue Version des Computerprogramms KLASIF. Das Programm stellt eine IT-Unterstützung für die Durchführung der Einheitlichen (USCS) und der Europäischen (ESCS) Bodenklassifizierung dar und erleichtert eine einfache parallele Anwendung.

Schlüsselwörter:

Bodenklassifizierung, Computerprogramm, Norm, granulometrische Bodenzusammensetzung, Plastizität

1. Uvod

Opis i klasifikacija tla za inženjerske potrebe u graditeljstvu predstavlja osnovu za komunikaciju među inženjerima širom svijeta s ciljem boljšeg razumijevanja i uspoređivanja dobivenih rezultata terenskih i laboratorijskih ispitivanja tla. Pomoću inženjerske klasifikacije tla moguće je okvirno ocijeniti o kakvom se tlu radi i u kojem rasponu se nalaze njegova mehanička svojstva. Klasificiranjem po unaprijed utvrđenim pravilima različite vrste tla se razvrstavaju u grupe sličnih mehaničkih svojstava i ponašanja pod djelovanjem opterećenja. Najpoznatija i najraširenija inženjerska klasifikacija tla je Jedinstvena klasifikacija tla, USCS (Unified Soil Classification System), koja je prikazana u američkoj normi ASTM D 2487-11 [1].

Tehnički odbor svjetske organizacije za normizaciju ISO/TC 182 "Geotechnics" u suradnji s Tehničkim odborom europske organizacije za normizaciju CEN/TC 341 "Geotechnical Investigation and Testing" izradio je u ožujku 2018. godine norme: Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 1: Identification and description (EN ISO 14688-1:2018) [2] i Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 2: Principles for a classification (EN ISO 14688-2:2018) [3]. Izlaženjem tih normi povučene su dotadašnje norme EN ISO 14688-1:2002 [4] i EN ISO 14688-2:2004 [5], zajedno s dodacima na te norme EN ISO 14688-1:2002/A1:2013 [6] i EN ISO 14688-1:2004/A1:2013 [7].

Europske zemlje, članice CEN koje su se obvezale implementirati nove europske norme najkasnije do kolovoza 2018. godine su: Austrija, Belgija, Bugarska, Cipar, Češka Republika, Danska, Estonija, Finska, Francuska, Grčka, Hrvatska, Irska, Island, Italija, Latvija, Litva, Luksemburg, Mađarska, Makedonija, Malta, Nizozemska, Norveška, Njemačka, Poljska, Portugal, Rumunjska, Slovačka, Slovenija, Srbija, Španjolska, Švedska, Švicarska, Turska i Velika Britanija.

Hrvatski zavod za norme prihvatio je u ožujku 2018. godine, na prijedlog Tehničkog odbora HZN/TO 182/PO 2 "Geotehničke konstrukcije", da se europske norme EN ISO 14688-1:2018 i EN ISO 14688-2:2018 u izvorniku na engleskom jeziku prihvate kao hrvatske norme pod oznakama HRN EN ISO 14688-1:2018 [8] i HRN EN ISO 14688-2:2018 [9]. Izlaženjem tih normi povučene su dotadašnje norme HRN EN ISO 14688-1:2008 [10] i HRN EN ISO 14688-2:2008 [11], zajedno s nacionalnim dodacima na te norme HRN EN ISO 14688-1:2008/A1:2013 [12] i HRN EN ISO 14688-2:2008/A1:2013 [13].

Kovačević i Jurić-Kačunić [14] razvili su Europsku klasifikaciju tla za inženjerske potrebe ESCS (European Soil Classification System) prema opisu i simbolima označavanja iz europske norme EN ISO 14688-1:2002 i načelima klasifikacije tla iz norme EN ISO 14688-2:2004. Na Zavodu za geotehniku Građevinskog fakulteta u Zagrebu razvijen je računalni program KLASIF ver.01 koji predstavlja informatičku podršku za provođenje Jedinstvene (USCS) i Europske (ESCS) klasifikacije tla i olakšava njihovu paralelnu primjenu [15-17].

Nove europske norme donijele su neke novosti u identificiranju i opisivanju tla te neke promjene u načelima za klasifikaciju tla bitne za izradu cjelovite klasifikacije tla za inženjerske potrebe. Zbog toga je nužno razviti novu verziju Europske (ESCS) klasifikacije tla i novu verziju računalnog programa KLASIF prema normama EN ISO 14688-1:2018 i EN ISO 14688-2:2018.

2. Novosti u identificiranju tla prema EN ISO 14688-1:2018

Frakcija tla koja određuje njegova inženjerska svojstva naziva se primarna frakcija i označava se imenicom, npr. PIJESAK ili GLINA. Iako se navodi da se primarna frakcija uobičajeno piše velikim slovima, u cijeloj normi, kao i u normi vezanoj na principe klasificiranja tla, pisana je isključivo velikim slovima. Zbog toga je prihvaćeno da se u novoj verziji inženjerske klasifikacije tla, koja se predlaže u ovom radu, primarna frakcija označava imenicom pisanom velikim slovima.

Frakcije tla koje utječu odnosno modificiraju njegova inženjerska svojstva nazivaju se sekundarna i tercijarna frakcija i označavaju se s jednim ili više pridjeva koji se pišu malim slovima. Mogu se stavljati ispred ili iza primarne frakcije, npr. prašinsti PIJESAK ili GLINA šljunkovita. Iako je prepušteno korisnicima norme da primijene bilo koji redosljed riječi u označavanju frakcija, u cijeloj normi, kao i u normi vezanoj na principe klasificiranja tla, primarna frakcija navodi se na kraju. Zbog toga je prihvaćeno da se i u novoj verziji inženjerske klasifikacije tla, koja se predlaže u ovom radu, primarna frakcija navodi na kraju. Sekundarna frakcija koja najviše utječe na inženjerska svojstva tla piše se ispred primarne frakcije. Tercijarna frakcija koja utječe na inženjerska svojstva tla piše se ispred sekundarne i primarne frakcije, npr. šljunkoviti prašinsti PIJESAK. Zbog proizvoljnog redosljeda riječi u označavanju frakcija, izostavljeno je označavanje frakcija simbolima.

3. Promjene u načelima za klasifikaciju tla prema EN ISO 14688-2:2018

Primarna frakcija krupnozrnog tla označava se simbolima koji se sastoje od dva slova, od kojih se prvo piše velikim slovom:

- Gr – ŠLJUNAK (engl. GRAVEL)
- Sa – PIJESAK (engl. SAND).

Krupnozrno tlo se dodatno klasificira prema graduiranosti na:

- dobro graduirani (engl. well graded) PIJESAK ili ŠLJUNAK,
- srednje graduirani (engl. medium graded) PIJESAK ili ŠLJUNAK,
- slabo graduirani (engl. poor graded) PIJESAK ili ŠLJUNAK,
- jednolično graduirani (engl. uniformly graded) PIJESAK ili ŠLJUNAK,
- neujednačeno graduirani (engl. gap graded) PIJESAK ili ŠLJUNAK.

Klasificiranje se provodi određivanjem granulometrijskog sastava tla. Određuju se karakteristični promjeri zrna D_{10} , D_{30} i D_{60} , kao promjeri zrna od kojih 10 %, 30 % i 60 % mase uzorka

ima zrna manjeg promjera. Pomoću njih se određuju parametri oblika granulometrijske krivulje tla, koeficijent jednoličnosti $c_u = D_{60}/D_{10}$ i koeficijent zakrivljenosti $c_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$. U tablici 1. prikazana je podjela krupnozrnog tla prema graduiranosti.

Tablica 1. Opis tla prema graduiranosti [3]

Klasifikacija krupnozrnog tla	c_u	c_c
Dobro graduirano	> 15	1 do 3
Srednje graduirano	6 do 15	< 1
Slabo graduirano	3 do 6	< 1
Jednolično graduirano	< 3	< 1
Neujednačeno graduirano	> 15	< 0.5

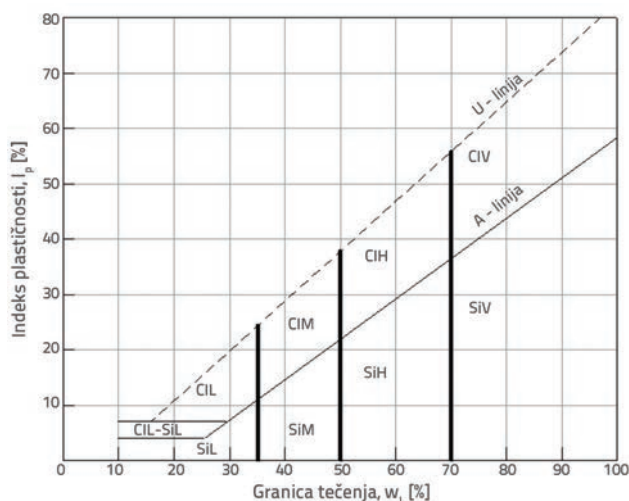
Primarna frakcija sitnozrnog tla označava se simbolima koji se sastoje od dva slova, od kojih se prvo piše velikim slovom:

- Si – PRAH (engl. SILT),
- Cl – GLINA (engl. CLAY).

Sitnozrno tlo se dodatno klasificira prema plastičnosti na:

- GLINA ili PRAH niske plastičnosti (engl. low plasticity),
- GLINA ili PRAH srednje plastičnosti (engl. medium plasticity),
- GLINA ili PRAH visoke plastičnosti (engl. high plasticity),
- GLINA ili PRAH vrlo visoke plastičnosti (engl. very high plasticity).

Klasificiranja se provode određivanjem granica konzistencije. Određuju se granica tečenja w_L i granica plastičnosti w_p , te izračunava indeks plastičnosti $I_p = w_L - w_p$. Koristi se dijagram plastičnosti kod kojeg se na apscisu nanosi vrijednost granice tečenja w_L , a na ordinatu vrijednost indeksa plastičnosti I_p . Granica tečenja w_L klasificira sitnozrno tlo prema plastičnosti, a A-linija na dijagramu plastičnosti služi za klasificiranje tla na gline i prahove (slika 1.).



Slika 1. Dijagram plastičnosti prema načelima EN ISO 14688-2:2018

4. Klasifikacija tla prema načelima EN ISO 14688-2:2018

Nova Europska klasifikacija tla za inženjerske potrebe ESCS (European Soil Classification System) prema načelima EN ISO 14688-2:2018 prikazana je u tablici 2.

5. Usporedba ESCS i USCS klasifikacije tla

Prema obje klasifikacije tlo se dijeli na: krupnozrna i sitnozrna tla koja mogu sadržavati organske sastojke. Za klasificiranje tla koriste se granulometrijski sastav tla i granice konzistencije. Prema ESCS, tlo se klasificira kao krupnozrno ako više od 50 % ukupne količine suhog uzorka ostane na situ otvora 0,063 mm, a prema USCS, ako više od 50 % ukupne količine suhog uzorka ostane na situ otvora 0.075 mm.

5.1. Označavanje grupa tala simbolima

Osnovna ideja klasificiranja tla je označavanje tla simbolima koji predstavljaju primarnu, sekundarnu i tercijarnu frakciju od kojih se tlo sastoji. Primarna frakcija tla određuje inženjerska svojstva tla. Sekundarna i tercijarna frakcija ne određuju, ali utječu odnosno modificiraju inženjerska svojstva tla.

Primarna frakcija tla, koja određuje inženjerska svojstva tla, prema ESCS klasifikaciji, označava se simbolom koji se sastoji od prva dva slova engleskih naziva frakcije, od kojih se prvo piše velikim slovom: Gr – ŠLJUNAK, Sa – PIJESAK, Si – PRAH i Cl – GLINA.

Primarna frakcija tla koja određuje inženjerska svojstva tla, prema USCS klasifikaciji, označava se simbolom koji se sastoji od jednog velikog slova: G – gravel, S – sand, M – silt i C – clay. Sekundarna frakcija krupnozrnog tla koja najviše utječe na inženjerska svojstva tla, prema ESCS klasifikaciji, jest ona frakcija koja u uzorku krupnozrnog tla sadrži više od 5 % sitnih čestica. Ako uzorak sadrži 5 do 15 % sitnih čestica, označava se simbolom koji se sastoji od dva prva slova naziva frakcije, koja se pišu malim slovima ispred primarne frakcije, a na kraju oznake se dodaje veliko slovo koje označava stupanj graduiranosti primarne frakcije: siGrW – prašinski dobro graduirani ŠLJUNAK ili clSaU – glinoviti jednolično graduirani PIJESAK. Iznimku čine sitne frakcije koje se u dijagramu plastičnosti klasificiraju kao CiL-SiL i koji dobivaju dvojne oznake sekundarne frakcije, a izostavlja se označavanje stupnja graduiranosti primarne frakcije: siClGr – prašinsto glinoviti ŠLJUNAK ili siClSa – prašinsto glinoviti PIJESAK. Ako uzorak sadrži više od 15 % sitnih čestica, označava se simbolom koji se sastoji od dva prva slova naziva frakcije, koja se pišu malim slovima ispred primarne frakcije: siGr – prašinski ŠLJUNAK, clGr – glinoviti ŠLJUNAK, siSa – prašinski pijesak ili clSa – glinoviti PIJESAK.

Kod sitnozrnog tla sekundarna je frakcija, prema ESCS klasifikaciji, ona koja sadrži više od 15 % krupnih čestica. Označava se simbolom koji se sastoji od dva prva slova naziva

Tablica 2. ESCS klasifikacija tla prema načelima EN ISO 14688-2:2018

Kriteriji za dodjeljivanje simbola i naziva pojedinim grupama tla na osnovi laboratorijskih ispitivanja ^A				Klasifikacija tla	
				Simbol	Naziv grupe ^B
KRUPNOZRNA TLA (više od 50 % ostaje na situ otvora 0.063 mm)	Šljunak (više od 50 % ostaje na situ otvora 2 mm)	Čisti šljunak (manje od 5 % sitnih čestica ^{F,G})	$c_u \geq 15$ i $1 \leq c_c \leq 3^C$	GrW	Dobro građuirani ŠLJUNAK ^D
			$6 \leq c_u < 15$ i $c_c < 1^C$	GrM	Srednje građuirani ŠLJUNAK ^D
			$3 \leq c_u < 6$ i $c_c < 1^C$	GrP	Slabo građuirani ŠLJUNAK ^{D,E}
			$c_u < 3^C$ i $c_c < 1^C$	GrU	Jednolično građuirani ŠLJUNAK ^D
			$c_u \geq 15$ i $c_c < 0.5^C$	GrG	Neujednačeno građuirani ŠLJUNAK ^D
		Šljunak sa sitnim česticama (više od 15 % sitnih čestica ^{F,G,H})	Sitne čestice se klasificiraju kao siL, siI, siH ili siV	siGr	Prašinasti ŠLJUNAK ^D
	Sitne čestice se klasificiraju kao clL, clI, clH ili clV		clGr	Glinoviti ŠLJUNAK ^D	
	Pijesak (50 % ili više prolazi kroz sito otvora 2 mm)	Čisti pijesak (manje od 5 % sitnih čestica ^{G,I})	$c_u \geq 15$ i $1 \leq c_c \leq 3^C$	SaW	Dobro građuirani PIJESAK ^I
			$6 \leq c_u < 15$ i $c_c < 1^C$	SaM	Srednje građuirani PIJESAK ^I
			$3 \leq c_u < 6$ i $c_c < 1^C$	SaP	Slabo građuirani PIJESAK ^{E,I}
			$c_u < 3^C$ i $c_c < 1^C$	SaU	Jednolično građuirani PIJESAK ^I
			$c_u \geq 15$ i $c_c < 0.5^C$	SaG	Neujednačeno građuirani PIJESAK ^I
		Pijesak sa sitnim česticama (više od 15 % sitnih čestica ^{G,H,I})	Sitne čestice se klasificiraju kao siL, siI, siH ili siV	siSa	Prašinasti PIJESAK ^I
			Sitne čestice se klasificiraju kao clL, clI, clH ili clV	clSa	Glinoviti PIJESAK ^H
SITNOZRNA TLA (50 % ili više prolazi kroz sito otvora 0.063 mm)	granica tečenja manja od 35 %	Anorganski ^G	$I_p > 7$ i na ili iznad A-linije ^K	CLL	GLINA niske plastičnosti ^L
			$I_p < 4$ ili ispod A-linije ^K	SiL	PRAH niske plastičnosti ^L
	granica tečenja od 35 do 50 %	Anorganski ^G	Na ili iznad A-linije	CIM	GLINA srednje plastičnosti ^L
			Ispod A-linije	SiM	PRAH srednje plastičnosti ^L
	granica tečenja od 50 do 70 %	Anorganski ^G	Na ili iznad A-linije	CIH	GLINA visoke plastičnosti ^L
			Ispod A-linije	SiH	PRAH visoke plastičnosti ^L
	granica tečenja veća od 70 %	Anorganski ^G	Na ili iznad A-linije	CIV	GLINA vrlo visoke plastičnosti ^L
			Ispod A-linije	SiV	PRAH vrlo visoke plastičnosti ^L
Organsko tlo	Primarno organska materija, tamne boje i organskog mirisa		Or	Organsko tlo	

^AZasnovano na materijalima koji su prošli kroz sito otvora 63 mm.
^BAko uzorak tla na terenu sadržava komade ili blokove ili oboje, potrebno je to opisno iskazati na način da se nazivu grupe tla dodati "s komadima" ili "s blokovima" ili "s komadima i blokovima".
 $c_u = D_{60}/D_{10}$; $c_c = (D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$.
^CAko tlo sadrži $\geq 15\%$ pijeska, ispred simbola naziva grupe treba dodati malim slovima oznaku "sa", a ispred naziva grupe "pjeskoviti".
^EAko koeficijent jednoličnosti i zakrivljenosti ne zadovoljavaju kriterije za dobro, srednje, jednolično ili neujednačeno građuirana tla, tlo se klasificira kao slabo građuirani ŠLJUNAK, GrP, odnosno slabo građuirani PIJESAK, SaP.
^FŠljunci s 5 do 15 % sitnih čestica, ovisno o građuiranosti i plastičnosti dobivaju oznake: siGrW – prašinasti dobro građuirani ŠLJUNAK, siGrM – prašinasti srednje građuirani ŠLJUNAK, siGrP – prašinasti slabo građuirani ŠLJUNAK, siGrU – prašinasti jednolično građuirani ŠLJUNAK, siGrG – prašinasti neujednačeno građuirani ŠLJUNAK, clGrW – glinoviti dobro građuirani ŠLJUNAK, clGrM – glinoviti srednje građuirani ŠLJUNAK, clGrP – glinoviti slabo građuirani ŠLJUNAK, clGrU – glinoviti jednolično građuirani ŠLJUNAK, clGrG – glinoviti neujednačeno građuirani ŠLJUNAK.
^GAko sitne čestice sadrže organske sastojke, ispred simbola naziva grupe treba dodati malim slovima oznaku "or" a ispred naziva grupe "organski".
^HAko se sitne čestice u dijagramu plastičnosti klasificira kao CiL-SiL, šljunci i pijesci s 5 do 15 % sitnih čestica dobivaju oznake: siClGr – prašinasto glinoviti ŠLJUNAK i siClSa – prašinasto glinoviti PIJESAK.
^IAko tlo sadrži $\geq 15\%$ šljunka, ispred simbola naziva grupe treba dodati malim slovima oznaku "gr", a ispred naziva grupe "šljunkoviti".
^JPijesci s 5 do 15 % sitnih čestica, ovisno o građuiranosti i plastičnosti dobivaju oznake: siSaW – prašinasti dobro građuirani PIJESAK, siSaM – prašinasti srednje građuirani PIJESAK, siSaP – prašinasti slabo građuirani PIJESAK, siSaU – prašinasti jednolično građuirani PIJESAK, siSaG – prašinasti neujednačeno građuirani PIJESAK, clSaW – glinoviti dobro građuirani PIJESAK, clSaM – glinoviti srednje građuirani PIJESAK, clSaP – glinoviti slabo građuirani PIJESAK, clSaU – glinoviti jednolično građuirani PIJESAK, clSaG – glinoviti neujednačeno građuirani PIJESAK.
^KAko se par vrijednosti (w_L , I_p) u dijagramu plastičnosti nalazi iznad A-linije i ako je $4 \leq I_p \leq 7$, tlo se označava s CiL-SiL, kao prašinasta GLINA.
^LAko tlo sadrži $\geq 15\%$ krupnozrnog materijala, ispred simbola naziva grupe treba dodati malim slovima oznaku "sa" ili "gr", a ispred naziva grupe dodati "pjeskoviti" ili "šljunkoviti", ovisno o tome koji je od ta dva materijala zastupljeniji.

frakcije, koja se pišu malim slovima ispred primarne frakcije: grSi – šljunkoviti PRAH, saSi – pjeskoviti PRAH, grCl – šljunkovita GLINA ili saCl – pjeskovita GLINA. Iznimku čini tlo koje se u dijagramu plastičnosti klasificira oznakom CiL-SiL i koje se naziva prašinsto GLINA.

Sekundarna frakcija krupnozrnog tla koja najviše utječe na inženjerska svojstva tla, prema USCS klasifikaciji, jest ona frakcija koja u uzorku krupnozrnog tla sadrži više od 5 % sitnih čestica. Ako uzorak sadrži 5 do 12 % sitnih čestica, označava se s dvojnim simbolom koji se sastoji od četiri velika slova, kod kojih se prva dva odnose na stupanj graduiranosti tla, a pripadnost frakciji označava zadnjim velikim slovom: GW-GM – dobro graduirani ŠLJUNAK s prahom ili SP-SC – slabo graduirani pijesak s glinom. Iznimku čine sitne frakcije koje se u dijagramu plastičnosti klasificiraju kao CL-ML i koje se označavaju dvojnimi simbolima sekundarne frakcije, a izostavlja se označavanje stupnja graduiranosti primarne frakcije: GC-GM, prašinsto glinoviti šljunak ili SC-SM – prašinsto glinoviti pijesak. Ako uzorak sadrži više od 12 % sitnih čestica, označava se simbolom koji se sastoji od dva slova, ovisno o tome jesu li sitne čestice prah ili glina: GM – prašinsti šljunak, GC – glinoviti šljunak, SM – prašinsti pijesak ili SC – glinoviti pijesak.

Kod sitnozrnih tala sekundarnaje frakcija, prema USCS klasifikaciji, ona koja sadrži više od 30 % krupnih čestica. Frakcija se ne označava nikakvim simbolom, već se ispred naziva grupe dodaje "pjeskoviti" ili "šljunkoviti".

Tercijarna frakcija krupnozrnog tla koja utječe na inženjerska svojstva tla, prema ESCS klasifikaciji, jest ona frakcija koja u uzorku krupnozrnog tla sadrži više od 15 % druge krupnozrne frakcije. Označava se simbolom koji se sastoji od dva prva slova naziva frakcije, koja se pišu malim slovima ispred sekundarne frakcije, ili ispred primarne frakcije ako ne postoji sekundarna frakcija: sasiGr – pjeskoviti, prašinsti ŠLJUNAK, grClSa – šljunkoviti, glinoviti PIJESAK, saGr – pjeskoviti šljunak ili grSa – šljunkoviti pijesak.

Kod sitnozrnog tla, tercijarna frakcija, prema ESCS klasifikaciji ne postoji.

Tercijarna frakcija krupnozrnog tla koja utječe na inženjerska svojstva tla, prema USCS klasifikaciji, je ona frakcija koja u uzorku krupnozrnog tla sadrži više od 15 % druge krupnozrne frakcije. Frakcija se ne označava nikakvim simbolom, već se iza naziva grupe dodaje "s pijeskom" ili "sa šljunkom".

Kod sitnozrnog tla tercijarna je frakcija, prema USCS klasifikaciji, i ona koja sadrži između 15 i 30 % krupnih čestica. Frakcija se ne označava nikakvim simbolom, već se iza naziva grupe dodaje "s pijeskom" ili "sa šljunkom".

Krupnozrna tla se dodatno označavaju s obzirom na stupanj graduiranosti. Prema ESCS klasifikaciji, simbolima krupnozrnog tla koja imaju manje od 15 % sitnih čestica dodaju se velika slova: W – dobro graduirani PIJESAK ili ŠLJUNAK, M – srednje graduirani PIJESAK ili ŠLJUNAK, P – slabo graduirani PIJESAK ili ŠLJUNAK, U – jednolično graduirani PIJESAK ili ŠLJUNAK i G – neujednačeno graduirani PIJESAK ili ŠLJUNAK. Prema USCS klasifikaciji, simbolima krupnozrnih tla koja imaju manje od 12

% sitnih čestica dodaju se velika slova: W – dobro graduirani pijesak ili šljunak i P – slabo graduirani pijesak ili šljunak.

Sitnozrna tla se dodatno označavaju s obzirom na plastičnost. Prema ESCS klasifikaciji, simbolima sitnozrnih tala dodaju se velika slova: L – niske plastičnosti, M – srednje plastičnosti, H – visoke plastičnosti i V – vrlo visoke plastičnosti. Prema USCS klasifikaciji, simbolima sitnozrnog tla dodaju se velika slova: L – niske plastičnosti i H – visoke plastičnosti.

Prisutnost organskih sastojaka u uzorku krupnozrnog ili sitnozrnog tla, prema ESCS klasifikaciji, označava se tako da se ispred simbola dodaju mala slova "or". Prisutnost organskih sastojaka u uzorku krupnozrnog tla, prema USCS klasifikaciji, ne označava se nikakvim simbolom, već se ispred naziva grupe dodaje "s organskim česticama". Prisutnost organskih sastojaka u uzorku sitnozrnog tla, prema USCS klasifikaciji, označava se zamjenom simbola primarne frakcije (C ili M) s velikim slovom "O".

5.2. Nazivi grupa tala

Nazivi grupa tala, prema ESCS klasifikaciji, dosljedno prate simbole grupa tala, tako da svaki pojedini simbol predstavlja jednu grupu. Primjeri simbola i naziva grupa tala su: SaP – slabo graduirani PIJESAK, grSaM – šljunkoviti srednje graduirani PIJESAK ili grSiL – šljunkoviti PRAH niske plastičnosti.

Prema USCS, jedan simbol grupe tala može predstavljati više naziva grupa tala. Primjer jednog simbola s više pripadnih naziva grupa tala je: CL – posna glina, posna glina s pijeskom, posna glina sa šljunkom, pjeskovita posna glina, pjeskovita posna glina sa šljunkom, šljunkovita posna glina ili šljunkovita posna glina s pijeskom.

5.3. Procedure za klasifikaciju tla

Procedure za ESCS i USCS klasifikaciju su prilično slične. Provode se u pet koraka različito za krupnozrna i sitnozrna tla.

U prvom koraku se na temelju rezultata pokusa sisanja određuje je li primarna frakcija tla krupnozrna ili sitnozrna tlo.

U drugom koraku se kod krupnozrnog tla, na temelju postotnih udjela, određuje je li primarna frakcija pijesak ili šljunak. Kod sitnozrnog tla se, na temelju vrijednosti granice tečenja w_L , prema ESCS klasifikaciji određuje je li primarna frakcija nisko, srednje, visoko ili vrlo visoko plastično tlo, a prema USCS klasifikaciji je li primarna frakcija nisko ili visoko plastično tlo.

U trećem koraku se kod krupnozrnog tla, na temelju postotnih udjela, određuje postoji li sekundarna frakcija od sitnozrnog tla. Kod sitnozrnog tla se, na temelju vrijednosti granice tečenja w_L i indeksa plastičnosti I_p , prema obje klasifikacije određuje je li primarna frakcija glina, prah ili prašinsto glina.

U četvrtom koraku se kod krupnozrnog tla određuje stupanj graduiranosti primarne frakcije, osim u slučaju kad postoji sekundarna frakcija od sitnozrnog tla čiji je postotak veći od 15 % prema ESCS klasifikaciji odnosno veći od 12 % prema USCS klasifikaciji. Ako postoji sekundarna frakcija od sitnozrnog tla,

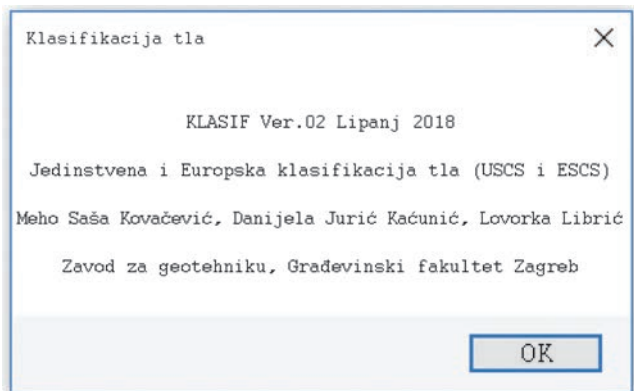
u ovom koraku se, na temelju vrijednosti granice tečenja w_L i indeksa plastičnosti I_p , prema obje klasifikacije određuje je li primarna frakcija glina, prah ili prašnasta glina. Kod sitnozrnog tla se, na temelju postotnih udjela, određuje postoji li sekundarna frakcija od krupnozrnog tla.

U petom koraku se kod krupnozrnog tla, na temelju postotnih udjela, određuje postoji li tercijarna frakcija od krupnozrnog tla. Kod sitnozrnog tla se, u slučaju postojanja sekundarne frakcije, prema ESCS klasifikaciji određuje koja krupnozrna frakcija je dominantna. Prema USCS klasifikaciji se kod sitnozrnog tla, u slučaju postojanja sekundarne frakcije od krupnozrnog tla određuje postoji li tercijarna frakcija od krupnozrnog tla. Nakon provedbe svih pet koraka procedure za klasifikaciju tla, donosi se jednoznačna odluka o simbolu i nazivu grupe tala.

6. KLASIF – Pogradska podrška za provođenje ESCS i USCS klasifikacije tla

Računalni program KLASIF ver.01 namijenjen za provođenje USCS klasifikacije prema američkoj normi ASTM D 2487-11 i ESCS klasifikacije prema europskim normama EN ISO 14688-1:2002 i EN ISO 14688-2:2004 razvijen je na Zavodu za geotehniku Građevinskog fakulteta u Zagrebu [15-17].

Da bi se uzele u obzir novosti u identificiranju i opisivanju tla prema europskoj normi EN ISO 14688-1:2018 te promjene u načelima za klasifikaciju tla prema europskoj normi EN ISO 14688-2:2018, razvijena je nova verzija računalnog programa KLASIF ver.02 (slika 2.).



Slika 2. Program KLASIF ver.02

KLASIF ver.02 je razvijen u programu Microsoft Excel koristeći integrirani programski jezik Visual Basic za aplikacije (VBA) i može se preuzeti s linka: http://www.grad.unizg.hr/zavod_za_geotehniku. Objе klasifikacije koriste iste ulazne podatke, što omogućava jednostavnu usporedbu dobivenih rezultata klasificiranja tla. Program prikazuje korake procedura za klasifikaciju tla prikazanih u poglavlju 5.3, koristeći samo one skupine ulaznih podataka relevantnih za njihovo provođenje. Usporedba ESCS i USCS klasifikacije pomoću programa KLASIF ver.02 prikazana je na slikama 3. i 4.

Jedinstvena i europska kvalifikacija tla (USCS i ESCS)					
Organsko tlo (D/N)		n			
% šljunka	72.00	D_{60}	0.52	w_L	42.00
% pijeska	10.00	D_{30}	0.17	w_p	22.00
% sitnih čestica	185.00	D_{10}	0.08	I_p	20.00
		c_u	6.500		
		c_c	0.695		
Jedinstvena kvalifikacija tla Unified Soil Classification System (USCS)					
Krupnozrno tlo (manje od 50% sitnih čestica)					
Šljunak (postotak šljunka veći od postotka pijeska)					
Šljunak s više od 12% sitnih čestica					
Sitne čestice su glina					
Količina pijeska manja od 15% ne utječe na naziv i oznaku grupe					
Naziv grupe					Simbol
Glinoviti šljunak					GC
Europska kvalifikacija tla European Soil Classification System (ESCS)					
Krupnozrno tlo (manje od 50% sitnih čestica)					
Šljunak (postotak šljunka veći od postotka pijeska)					
Šljunak s više od 15% sitnih čestica					
Sitne čestice su glina					
Količina pijeska manja od 15% ne utječe na naziv i oznaku grupe					
Naziv grupe					Simbol
Glinoviti ŠLJUNAK					clGr

Slika 3. Klasifikacija krupnozrnog tla pomoću programa KLASIF ver.02

Jedinstvena i europska kvalifikacija tla (USCS i ESCS)					
Organsko tlo (D/N)		n			
% šljunka	20.00	D_{60}	0.52	w_L	42.00
% pijeska	25.00	D_{30}	0.17	w_p	22.00
% sitnih čestica	55.00	D_{10}	0.08	I_p	20.00
		c_u	6.500		
		c_c	0.695		
Jedinstvena kvalifikacija tla Unified Soil Classification System (USCS)					
Sitnozrno tlo (više ili jednako od 50% sitnih čestica)					
Granica tečenja manja od 50%					
Posna glina					
Količina krupnih čestica veća ili jednaka od 30% (% pijeska \geq % šljunka)					
Količina šljunka veća ili jednaka od 15% utječe na naziv grupe tla					
Naziv grupe					Simbol
Pjeskovita posna glina sa šljunkom					CL
Europska kvalifikacija tla European Soil Classification System (ESCS)					
Sitnozrno tlo (više ili jednako od 50% sitnih čestica)					
Granica tečenja između 35% i 50%					
Glina					
Količina krupnih čestica veća ili jednaka od 15% (% pijeska \geq % šljunka)					
Naziv grupe					Simbol
Pjeskovita GLINA srednje plastičnosti					saCIM

Slika 4. Klasifikacija sitnozrnog tla pomoću programa KLASIF ver.02

Prikazani su primjeri klasifikacije za krupnozno tlo (slika 3.) te za sitnozno tlo (slika 4.). Za krupnozno tlo su kao ulazni podaci upisane vrijednosti postotka šljunka i pijeska u uzorku. Vrijednosti granice tečenja i granice plastičnosti ne utječu na rezultat. Prema USCS klasifikaciji uzorak je klasificiran kao GC – glinoviti šljunak, a prema ESCS klasifikaciji kao cIGr – glinoviti ŠLJUNAK, odnosno dobiven je isti naziv grupe prema obje klasifikacije i relativno sličan simbol. Za sitnozno tlo su kao ulazni podaci upisane vrijednosti postotka šljunka i pijeska u uzorku, granica tečenja i granica plastičnosti. Prema USCS klasifikaciji, uzorak je klasificiran kao CL – pjeskovita posna glina sa šljunkom. Pri tome se iz simbola grupe tala ne može vidjeti da postoje sekundarna i tercijarna frakcija. Prema ESCS klasifikaciji tlo je klasificirano kao saCIM – pjeskovita GLINA srednje plastičnosti. U simbolu je, za razliku od USCS klasifikacije, vidljivo postojanje sekundarne frakcije (tercijarnu frakciju za sitnozno tlo ESCS klasifikacija ne prepoznaje), a glina je klasificirana kao srednje plastična, za razliku od USCS klasifikacije gdje se radi o posnoj glini. U ovom su primjeru za sitnozno tlo naziv grupe i simbol grupe tala potpuno različiti kod ESCS i USCS klasifikacije.

7. Zaključak

Tehnički odbor ISO/TC 182 "Geotechnics" u suradnji s Tehničkim odborom CEN/TC 341 "Geotechnical Investigation and Testing"

izradio je u ožujku 2018. nove norme: Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 1: Identification and description (EN ISO 14688-1:2018) i Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 2: Principles for a classification (EN ISO 14688-2:2018). Izlaženjem tih normi povučene su dotadašnje norme EN ISO 14688-1:2002 i EN ISO 14688-2:2004. Europske zemlje, članice CEN, obvezale su se implementirati nove europske norme najkasnije do kolovoza 2018. godine.

Nove europske norme donijele su neke novosti u identifikaciji i opisu tla u odnosu na normu iz 2002. godine te promjene u načelima za klasifikaciju tla u odnosu na normu iz 2004. godine. Da bi se mogle uzeti u obzir te promjene, razvijena je nova verzija Europske klasifikacija tla za inženjerske potrebe (ESCS) i detaljno uspoređena s najpoznatijom i najraširenijom Jedinstvenom klasifikacijom tla za inženjerske potrebe (USCS). Analizirane su sličnosti i razlike u načinu označavanja grupa tala simbolima, nazivima grupa tala, kao i procedurama za klasifikaciju tla.

Razvijena je i nova verzija računalnog programa KLASIF u programu Microsoft Excel koristeći integrirani programski jezik Visual Basic za aplikacije (VBA). Program omogućava istovremenu provedbu obje klasifikacije primjenjujući iste ulazne podatke te u cijelosti podržava identifikaciju, opis i principe klasificiranja tla prikazane u novim europskim normama.

LITERATURA

- [1] ASTM D2487-11: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.
- [2] EN ISO 14688-1:2018: Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 1: Identification and description. Comité Européen de Normalisation. Brussels, 2018.
- [3] EN ISO 14688-2:2018: Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 2: Principles for a classification. Comité Européen de Normalisation. Brussels, 2018.
- [4] EN ISO 14688-1:2002: Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 1: Identification and description. Comité Européen de Normalisation. Brussels, 2002.
- [5] EN ISO 14688-2:2004: Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 2: Principles for a classification. Comité Européen de Normalisation. Brussels, 2004.
- [6] EN ISO 14688-1:2002/A1:2013: Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 1: Identification and description – Amendment 1. Comité Européen de Normalisation. Brussels, 2013.
- [7] EN ISO 14688-2:2004/A1:2013: Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 2: Principles for a classification – Amendment 1. Comité Européen de Normalisation. Brussels, 2004.
- [8] HRN EN ISO 14688-1:2018 en: Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Identifikacija i klasifikacija tla – 1. dio: Identifikacija i opis. Zagreb, Hrvatski zavod za norme. 2018.
- [9] HRN EN ISO 14688-2:2018 en: Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Identifikacija i klasifikacija tla – 2. dio: Načela klasifikacije. Zagreb, Hrvatski zavod za norme. 2018.
- [10] HRN EN ISO 14688-1:2008 en: Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Identifikacija i klasifikacija tla – 1. dio: Identifikacija i opis. Zagreb, Hrvatski zavod za norme. 2008.
- [11] HRN EN ISO 14688-2:2008 en: Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Identifikacija i klasifikacija tla – 2. dio: Načela klasifikacije. Zagreb, Hrvatski zavod za norme. 2008.
- [12] HRN EN ISO 14688-1:2008/A1:2013 en: Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Identifikacija i klasifikacija tla – 1. dio: Identifikacija i opis – Amandman 1. Zagreb, Hrvatski zavod za norme. 2013.
- [13] HRN EN ISO 14688-2:2008/A1:2013 en: Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Identifikacija i klasifikacija tla – 2. dio: Načela klasifikacije – Amandman 2. Zagreb, Hrvatski zavod za norme. 2013.
- [14] Kovačević, M.S., Jurić-Kačunić, D.: Europska klasifikacija tla za inženjerske potrebe, GRAĐEVINAR, 66 (2014) 9, pp. 801-810
- [15] Librić, L., Jurić-Kačunić, D., Kovačević, M.S.: Primjena rezultata statičkog penetracijskog pokusa za klasifikaciju tla, GRAĐEVINAR, 69 (2017) 1, pp. 11-20, <https://doi.org/10.14256/JCE.1574.2016>
- [16] Kovačević, M.S., Jurić-Kačunić, D., Librić, L.: Prilagodba hrvatskog graditeljstva europskim smjernicama za opis i klasifikaciju tla, Izazovi u graditeljstvu 3, Lakušić, Stjepan (ur.). Zagreb: Hrvatski savez građevinskih inženjera, pp. 163-193, 2015.
- [17] Reale, C., Gavin, K., Librić, L., Jurić-Kačunić, D.: Automatic classification of fine-grained soils using CPT measurements and Artificial Neural Networks, Advanced Engineering Informatics, 36 (2018), pp. 207-215.