



# Klasifikacija zemljin za inženirske namene v Sloveniji – kako naprej?

## Soil classification for engineering purposes in Slovenia – how to proceed?

Matej MAČEK, Jasna SMOLAR & Ana PETKOVŠEK

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za geotehniko, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; e-pošta: matej.macek@fgg.uni-lj.si; jasna.smolar@fgg.uni-lj.si, ana.petkovsek@fgg.uni-lj.si

Prejeto / Received 31. 1. 2018; Sprejeto / Accepted 18. 6. 2018; Objavljeno na spletu / Published online 20. 7. 2018

*Ključne besede:* Atterbergove meje plastičnosti, klasifikacija, identifikacija, indeksna lastnost, drobna zrna, zemljina

*Key words:* Atterberg plastic limits, classification, description, fines, identification, soil

### Izvleček

Članek obravnava načela inženirske klasifikacije zemljin, uveljavljene v Sloveniji po letu 1948 in jih analizira v luči načel novih evropskih standardov. Predstavljene so bistvene razlike v terminologiji, simbolih in merodajnih indeksnih kazalnikih lastnosti. V razpravo je predložen predlog nove, z evropskimi standardi usklajene slovenske inženirske klasifikacije zemljin, podprt s praktičnimi primeri rabe.

### Abstract

Principles of engineering soil classification used in Slovenia since 1948 are analysed and compared with the newly accepted European soil classification principles. The main differences in terminology, symbols and index properties are emphasised. New Slovenian classification symbols and terminology are proposed and supported by practical examples of its use.

### Uvod

Inženirska klasifikacija zemljin je razvrščanje nepregledne množice zemljin, zdrobljenih kamnin in materialov iz umetnih nasutij v manjše število skupin zemljin (angl. group) s podobnimi kazalniki inženirskih lastnosti. Na osnovi klasifikacije ocenjujemo trdnostno deformacijsko in hidravlično obnašanje zemljin v različnih pogojih inženirske rabe, kot so: temeljenje objektov, gradnja nasipov, presoja stabilnosti brežin, ocenjevanje zmrzilske varnosti, potenciala likvifikacije (utekočinjenja), nevarnosti notranje erozije in druge. Klasifikacijo izvajamo z uporabo rezultatov laboratorijskih raziskav, upoštevaje kriterije za izbrane indeksne kazalnike lastnosti: zrnastostno sestavo (npr. Skaberne, 1980), Atterbergove meje plastičnosti ter vsebnost organskih primesi.

Identifikacija in opisovanje zemljin je, nasprotno s klasifikacijo, sklop postopkov za ocenitev vrste in stanja zemljine. Izvajamo jo na osnovi vizualnega pregleda, identifikacijskih preiskav in/ali kombinacije obojega. V opis in identifikacijo so poleg klasifikacije vključeni opisi gostotnih in konsistenčnih stanj, barve, vonja, mineralne sestave, geometrijskih značilnosti zrn in druge posebnosti. V praksi potekata opisovanje in identifikacija zemljin v dveh korakih. Zemljino najprej okvirno opišemo na osnovi vizualnega pregleda, končni opis pa izdelamo potem, ko so znani rezultati relevantnih terenskih in/ali laboratorijskih raziskav.

Prve osnutke inženirske klasifikacije zemljin je za potrebe gradnje cest pripravil Karel Terzaghi med delom na MIT (Massachusetts Institute

of Technology) v letih 1927 – 1929. Za začetnika inženirske klasifikacije zemljin pa velja Artur Casagrande, Terzaghijev sodelavec na MIT in kasneje profesor na Harvardu, ki je za potrebe načrtovanja letališč med 2. svetovno vojno razvil tako imenovano AC (Airfield Classification System) klasifikacijo. Z manjšimi modifikacijami AC je leta 1952 nastala USCS klasifikacija (Unified Soil Classification System), prvič vključena v ameriški standard ASTM D 2487 leta 1966. AC/USCS klasifikacijo so različna strokovna združenja v osnovni ali lastnim potrebam prilagojeni obliki sprejela v nacionalne standarde, npr. Švica (SN 670 008), Nemčija (DIN 18196), Velika Britanija (BS 5930), nekdanja Jugoslavija (JUS U.B1.001).

Na ljubljanski univerzi je prva predavanja iz predmeta Mehanika tal pripravil profesor Lujo Šuklje konec štiridesetih. Vključevala so tudi MIT in AC klasifikacijo. Prvi Šukljetov univerzitetni učbenik z AC klasifikacijo je izšel leta 1957. V nekdanji skupni Jugoslaviji je bila raba AC klasifikacije določena s Pravilnikom o tehničnih normativih za temeljenje (1974) ter nato dodatno obrazložena v knjigi *Objašnjenja k pravilniku* (Šuklje, 1979). Zadnji skupni jugoslovanski standard za klasifikacijo zemljin, JUS U.B1.001:1990 je prevzel USCS klasifikacijo. Ta je v Sloveniji še vedno v široki rabi.

Tehnični komite ISO/TC 182 (Geotehnika) je v sodelovanju s CEN/TC 341 (Geotehnične raziskave in testiranja) izdal evropski standard za identifikacijo in klasifikacijo zemljin EN ISO 14688. Ta sestoji iz dveh delov, EN ISO 14688-1:2002 (Prepoznavanje in razvrščanje) in EN ISO 14688-2:2004 (Načela za razvrščanje). EN ISO 14688-2:2004 načela za klasificiranje so drugačna od ACS/USCS načel, uvajajo drugačne simbole in ne podajajo enovitih kriterijev za razvrščanje, kar je sicer primer starejših klasifikacij, kot so AC/USCS, DIN 18196, BS 5930 ali JUS U.B1.001.

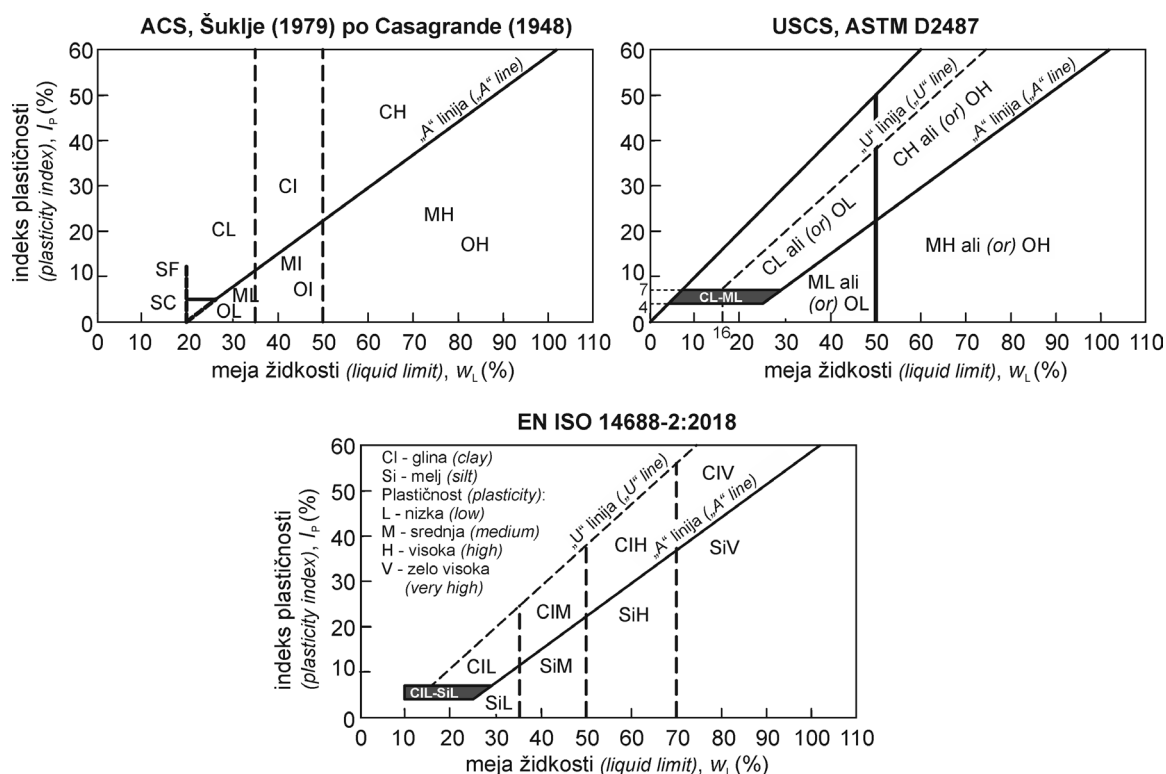
Po prvi izdaji leta 2004, je bil SIST EN ISO 14688-1 kar trikrat dopolnjen oz. spremenjen (leta 2008, 2013 in 2018), SIST EN ISO 14688-2 pa dvakrat (leta 2013 in 2018). SIST EN ISO 14688 iz leta 2018 je vsebinsko prenovljen in se v številnih pogledih vrača k AC načelom klasificiranja.

V okviru CEN/TC 396 Zemeljska dela (angl. Earthworks) nastaja nov evropski standard, prEN 16907-2:2015. V njem so opredeljeni kriteriji za klasifikacijo zemljin, uvedene so tudi nove skupine, t.i. vmesnih (angl. intermediate) zemljin, ki jih starejše klasifikacije ne poznajo. Te zemljine vsebujejo 15 % do 35 % drobnih zrn. prEN 16907-2:2015 razvršča zemljine v 30 skupin, kar je 2 × več kot pri USCS klasifikaciji.

S Pravilnikom o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov (2005) so v Sloveniji stopili v obvezno rabo evropski standardi za projektiranje – Evrokodi, med njimi standard za geotehnično projektiranje SIST EN 1997-1, bolj znan kot Evrokod 7 ter z njim povezana standarda EN ISO 14688-1 in EN ISO 14688-2, čeprav ne omogočata klasificiranja vseh skupin zemljin.

Petnajst let po sprejetju evropskih standardov za identifikacijo in klasifikacijo zemljin in 9 let po uveljavitvi Evrokod, v Sloveniji še ni prišlo do široke uveljavitve rabe nove EN ISO 14688 klasifikacije niti pri operativnem inženirskem delu niti pri formalnem prenosu le-te v druge nacionalne tehnične specifikacije. V tem »prehodnem« obdobju so se postopoma razrahljala tudi tradicionalna pravila AC/USCS klasifikacije, tako da je v sedanjem stanju, na področju opisovanja in klasificiranja zemljin precejšen nered. Razloge zato je treba iskati v kombinaciji vzrokov: (1) množica novo sprejetih evropskih in slovenskih standardov po metodi platnice po letu 2000 postaja vse manj pregledna, standardi se nenehno dopolnjujejo, so dragi in nedosegljivi za večino mladih in majhnih podjetij; (2) zaradi krize v gradbeništvu so razpadla močna strokovna jedra v gradbenih podjetjih in raziskovalnih ter inženiring inštitucijah, ki so v preteklosti skrbela za prenose novih znanj na nivoju pristojnih ministrstev in direktij; (3) z razpadom velikih in nastankom številnih malih podjetij je nastala vrzel v prenosu znanj, mladi inženirji pa so po pravilu tisti, ki izvajajo popise, terensko identifikacijo in klasifikacijo zemljin, ne da bi bili poučeni o formalnem in tehničnem pomenu pravilne klasifikacije; (4) geološko geotehnične raziskave in zemeljska dela nimajo za seboj industrije, kot je to na primer pri asfaltih in betonih, kjer so zahteve proizvajalcev, uporabnikov in trga po uveljavitvi harmoniziranih oznak proizvodov drugačne; (5) tudi za redke preostale slovenske inštitucije z izkušenimi inženirji je evropski standard EN ISO 14688 za klasifikacijo in identifikacijo zemljin premalo dorečen in nujno potrebuje nacionalno dopolnitev oz. razširitev.

Ta prispevek smo pripravili z namenom, da bi osvežili zgodovinski spomin na razvoj in tradicijo rabe zemeljske klasifikacije v Sloveniji, ponovno zapisali strokovna načela klasificiranja, opozorili na vrzeli, nastale po sprejemu EN ISO klasifikacije in v razmislek in razpravo predlagali enostavne nacionalne dopolnitve k EN ISO klasifikaciji tako, da bo ta zaživela v široki rabi in v duhu že skoraj pozabljene dobre inženirske prakse.



Sl. 1. Razvoj rabe AC diagrama plastičnosti ( $w_L - I_p$ ) za klasifikacijo drobno zrnatih zemljin.  
 Fig. 1. The development of the use of AC plasticity chart ( $w_L - I_p$ ) for the classification of fine grained soils.

IBo velike skale (large boulders)	Bo skale (boulders)	Co kamenje (cobbles)	Gr, gramoz (gravel)			Sa, pesek (sand)			Si, melj (silt)			Cl, glina (clay)	SIST EN ISO 14688-1:2018							
			cGr debel	mGr srednji	fGr droben	cSa debel	mSa srednji	fSa droben	cSi debel	mSi srednji	fSi droben									
		kamenje (cobbles)	G, gramoz (gravel)			S, pesek (sand)			M, melj (silt)			C, glina (clay)	JUS U.B1.018:1980							
		kamenje (cobbles)	debel (coarse)	srednji (medium)	droben (fine)	debel (coarse)	srednji (medium)	droben (fine)	debel (coarse)	srednji (medium)	droben (fine)	C, glina (clay)	AC klasifikacija (Šuklje, 1979)							
	skale (boulders)	kamenje (cobbles)	debel (coarse)	srednji (medium)	droben (fine)	debel (coarse)	srednji (medium)	droben (fine)	debel (coarse)	srednji (medium)	droben (fine)	C, glina (clay)	ISSMFE (1977)							
	skale (boulders)	kamenje (cobbles)	debel (coarse)	droben (fine)	debel (coarse)	srednji (medium)	droben (fine)	fina zrna (melj in glina) (fines (silt and clay))			C, glina (clay)	USCS 1952, ASTM D2487								
			G, gramoz (gravel)		S, pesek (sand)		M, melj (silt)			C, glina (clay)	AC (Casagrande, 1948)									
			debel (coarse)	droben (fine)	debel (coarse)	droben (fine)														
2000	600	200	75	60	25	20	10	6	4,75	2	0,6	0,425	0,25	0,2	0,075	0,06	0,02	0,006	0,002	
1000	100	10	1	0,1	0,01	0,001														
velikost zrn (particle size) (mm)																				

Sl. 2. Delitev zemljin po različnih klasifikacijah glede na velikost zrn.  
 Fig. 2. Grain size scales based on different soil classification systems.

### AC klasifikacija

Po AC klasifikaciji (Nonveiller, 1963; Šuklje, 1957, 1967, 1984, 1979; Pravilnik, 1974) se zemljine klasificirajo na osnovi porazdelitve velikosti zrn (zrnastostne sestave) in Atterbergovih meja plastičnosti. Zemljine se delijo na debelozrnate in drobnozrnate. Debelozrnate zemljine so gramoz (G) in peski (S), drobnozrnate so melji (M), gline (C) in organske zemljine (O). V posebno skupino

spadata kamenje, ki je brez simbola in sestoji iz zrn premera > 60 mm ter šota (Pt).

Debelozrnate zemljine uvrstimo med gramoz (G), če prevladujejo zrna 2/60 mm in med peske, če prevladujejo zrna 0,06/2 mm. Drobnozrnate zemljine razvrščamo s pomočjo AC diagrama na osnovi preiskave Atterbergovih meja plastičnosti (sl. 1. levo zgoraj, sl. 2).

Zemljine označujemo z dvema simboloma (velikima črkama). Prvi simbol označuje eno od 6 glavnih skupin zemljin, drugi pa pomaga pri nadaljnji delitvi vsake od skupin na podskupine, glede na porazdelitev velikosti zrn (zastopnost frakcij in obliko poteka krivulje zrnivosti) in glede na značaj plastičnosti. Glavne vrste zemljin so:

- G – gramoz (angl. gravel),
- S – pesek (angl. sand),
- M – melj (angl. silt, šved. mjala),
- C – glina (angl. clay),
- O – organski melj, organska glina (angl. organic silt, organic clay),
- Pt – šota (angl. peat).

Debelozrnatost zemljine (G in S) razvrščamo v 5 podskupin z naslednjimi oznakami:

- W – dobra porazdelitev zrnivosti (angl. well graded). Krivulja zrnivosti poteka preko širokega območja zrnivosti, ne da bi prevladovala zrna določene velikosti oz. frakcije. Vsebnost drobnih zrn je majhna.
- P – slaba porazdelitev zrnivosti (angl. poorly graded). Izrazito je pomanjkanje določene frakcije. Vsebnost drobnih zrn je majhna.
- U – enolična oz. enotna porazdelitev zrnivosti (oz. dobra sortiranost zrn) (angl. uniformly graded). Prevladujejo zrna ozkega intervala zrnivosti. Vsebnost drobnih zrn je majhna.
- C – dobra porazdelitev zrnivosti z glinastim vezivom (angl. clay binder).
- F – slaba porazdelitev zrnivosti z znatno količino drobnih zrn (angl. fines) in dobra porazdelitev zrnivosti s preobilno količino drobnih zrn. To skupino razdelimo dalje na: Fs, če pripadajo drobna zrna melju (S) in Fc, če pripadajo drobna zrna glini (C).

Drobnozrnatost zemljine (M), (C) in (O) razvrščamo v tri podskupine z naslednjimi oznakami:

- L – malo stisljive zemljine (angl. low compressibility) z mejo židkosti  $w_L < 35\%$ .
- I – srednje stisljive zemljine (angl. intermediate compressibility) z mejo židkosti  $35\% < w_L < 50\%$ .
- H – visoko stisljive zemljine (angl. high compressibility) z mejo židkosti  $w_L > 50\%$ .

Izraz stisljivost (angl. compressibility) se v AC nanaša na zemljino, stiskano iz začetne poroznosti pri vlagi blizu meje židkosti. Tega izraza zato ne smemo istovetiti z deformabilnostjo zemljine v naravnem stanju. Nonveiller (1963) že uporablja izraz »plastičnost« namesto izraza stisljivost.

Šotnih vrst zemljin ne razvrščamo na podskupine.

Po AC je za razvrščanje debelo-zrnatih zemljin na voljo 10 oz. 12 simbolov (GW, GP, GU, GC, GF (GFs, GFc), SW, SP, SU, SC, SF (SFs, SFc)), za razvrščanje drobnozrnatih zemljin pa je na voljo 9 simbolov (ML, CL, MI, CI, MH, CH, OL, OI, OH) ter simbol za šoto, skupaj torej 22 vrst zemljin ter dodatno kamenje. Če se pri AC klasifikaciji ne moremo odločiti samo za enega od simbolov, lahko zemljino označimo z dvojnimi simbolom, npr. GC/GFc, MI/CI, GW/GC ipd.

Šuklje (1979) je v povezavi s klasifikacijo poudarjal pomen identifikacije gostotnih in konsistentnih stanj zemljine in jih povezal z mejnimi vrednostmi indeksa konsistence ( $I_C$ ) in nedrenirane trdnosti ( $c_u$ ).

### USCS klasifikacija

USCS je modificirana različica AC klasifikacije. Zemljine razporeja na zelo debelo-zrnatost (skale in kamenje), debelo-zrnatost (gramoze in peske), drobnozrnatost (melje in gline) in organske zemljine ter šoto. Po USCS je zemljina debelo-zrnatost, če preizkušanelec po odstranitvi zrn velikosti nad 75 mm, vsebuje več kot 50 % zrn debelejših od 0,075 mm. Delitev na peske in gramoze je odvisna od tega, ali v debelih frakcijah zrn velikosti nad 0,075 mm prevladujejo zrna velikosti nad 4,75 mm (gramozi) ali zrna velikosti pod 4,75 mm (peski).

Pri razvrščanju debelo-zrnatih zemljin na peske in gramoze nekatere nacionalne klasifikacije, npr. JUS, BS, DIN odstopajo od USCS klasifikacije (ASTM D 2487). Razlika je v referenčni velikosti sita, ki se v JUS/BS standardu nanaša na sito 2 mm, v USCS pa na sito No. 4 oz. 4,75 mm. Pri kriteriju razvrščanja zemljin na drobnozrnatost in debelo-zrnatost, DIN postavlja mejo pri 40 % vsebnosti drobnih zrn velikosti pod 0,063 mm.

Oznaka drobna zrna (angl. fines) se nanaša na vsa zrna, ki padejo skozi sito 0,074 mm ali 0,063 mm.

Za podrobno razvrstitev debelo-zrnatih zemljin so v USCS uvedeni trije kriteriji:

- koeficient enakomernosti ( $C_u$ ),
- koeficient zrnivosti, tudi koeficient ukrivljenosti ( $C_c$ ),
- relativna količina drobnih zrn, ki so padla skozi sito 0,075 mm (5 % in 12 %).

Koeficient enakomernosti ( $C_u$ ) je opredeljen kot razmerje med velikostjo zrn pri 60 % presejku ( $d_{60}$ ) in velikostjo zrn pri 10 % presejku ( $d_{10}$ ). Koeficient zrnivosti ( $C_c$ ) je opredeljen kot raz-

merje med kvadratom velikosti zrn pri 30 % presejku ( $d_{30}$ )<sup>2</sup> in produktom velikosti zrn pri presejku 10 % in 60 % ( $d_{10} \times d_{60}$ ).

Vsako zemljino se v USCS, podobno kot pri AC klasifikaciji, označi z dvema simboloma (velikima črkama). USCS ne pozna debelozrnatih zemljin enovito zrnate sestave (GU in SU) in drobnozrnatih zemljin srednje plastičnosti (CI, MI, OI). Zaradi tega je v USCS klasifikaciji le 15 in ne 22 značilnih skupin zemljin.

Sekundarne oznake za delitev zemljin po USCS so naslednje:

W – dobra porazdelitev zrnivosti (angl. well graded). Vsebnost drobnih zrn mora biti enaka ali manjša od 5 %, vrednost  $C_u$  mora biti enaka ali večja od 4 za gramoze in enaka ali večja od 6 za peske, vrednost  $C_c$  mora biti med vključno 1-3.

P – slaba porazdelitev zrnivosti (angl. poorly graded). Vsebnost drobnih zrn mora biti enaka ali manjša od 5 %, eden ali oba kriterija  $C_u$  oz.  $C_c$  ne ustrezata za klasifikacijo W.

M – meljast (angl. silty), vsebnost drobnih zrn je večja od 12 %, drobna zrna se nahajajo pod A linijo v AC diagramu.

C – glinast (angl. clayey), vsebnost drobnih zrn je večja od 12 %, drobna zrna se nahajajo nad A linijo v AC diagramu.

USCS klasifikacija osnovnih skupin zemljin je prikazana v tabeli 1, na sliki 3, 4 in 5 pa so podrobna načela klasifikacije in opisa zemljin.

Tabela 1. USCS klasifikacija (ASTM D 2487).

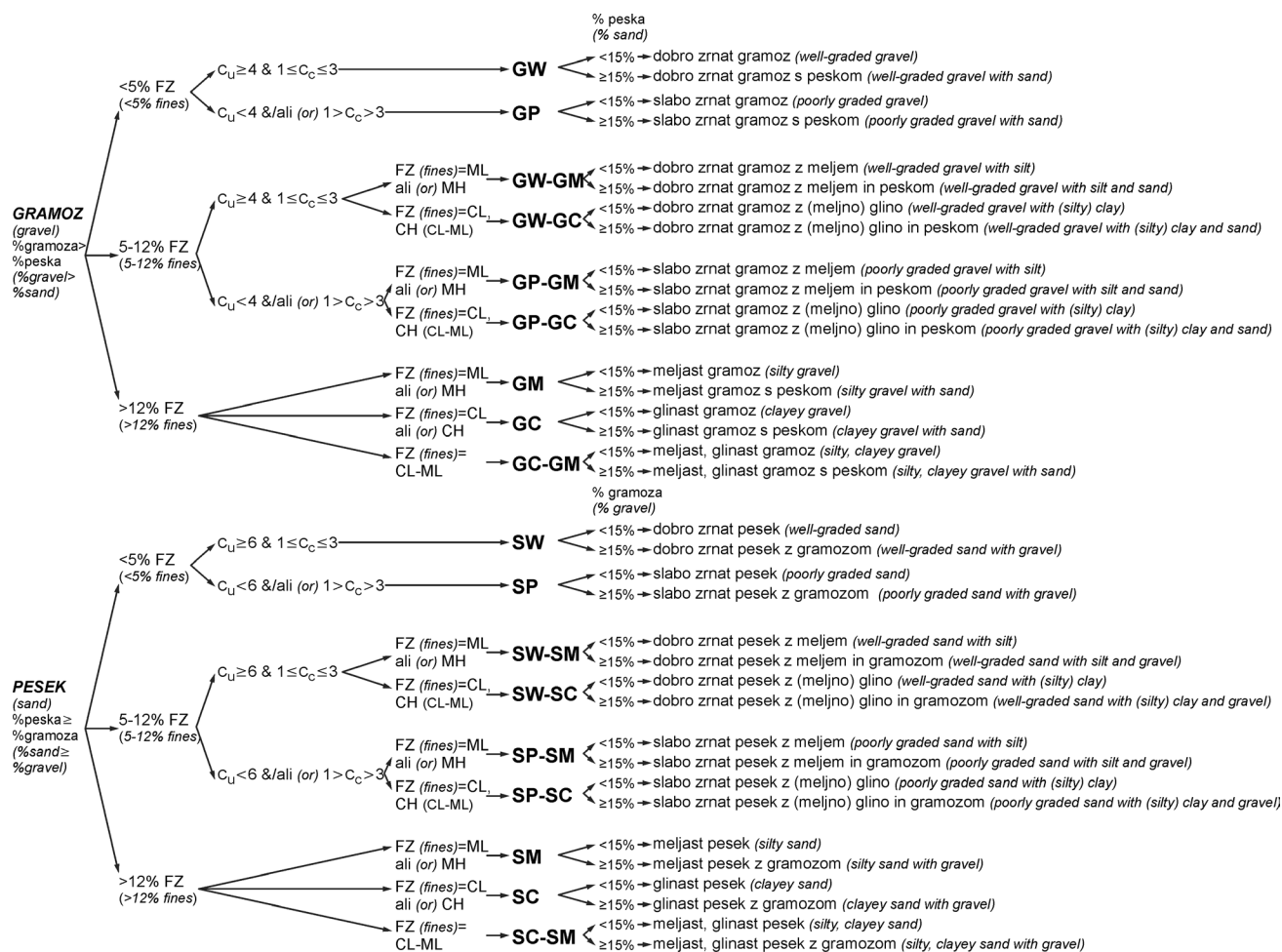
Table 1. USCS classification (ASTM D 2487).

glavna skupina (major divisions)	podskupina (subdivisions)	simbol (symbol)	skupina (group)	kriteriji - laboratorijska klasifikacija (laboratory classification criteria)		
debelozrnat zemljine (coarse grained soils)	gramoz (gravel) $f_{0,074-4,75 \text{ mm}} < f_{4,75-74 \text{ mm}}$	<b>GW</b>	dobro zrnat gramoz (well graded gravel)	< 5% FZ (fines)	$C_u \geq 4$ in (and) $1 \leq C_c \leq 3$	
		<b>GP</b>	slabo zrnat gramoz (poorly graded gravel)	< 5% FZ (fines)	$C_u < 4$ & / ali (or) $1 > C_c > 3$	
		<b>GM</b>	meljast gramoz (silty gravel)	> 12% FZ (fines)	drobna zrna ML ali MH (fines classify as ML or MH)	
		<b>GC</b>	glinast gramoz (clayey gravel)	> 12% FZ (fines)	drobna zrna CL ali CH (fines classify as CL or CH)	
	drobna zrna (fines) (0,074 mm) < 50%*	pesek (sand) $f_{0,074-4,75 \text{ mm}} \geq f_{4,75-74 \text{ mm}}$	<b>SW</b>	dobro zrnat pesek (well graded sand)	< 5% FZ (fines)	$C_u \geq 6$ in (and) $1 \leq C_c \leq 3$
			<b>SP</b>	slabo zrnat pesek (poorly graded sand)	< 5% FZ (fines)	$C_u < 6$ & / ali (or) $1 > C_c > 3$
			<b>SM</b>	meljast pesek (silty sand)	> 12% FZ (fines)	drobna zrna ML ali MH (fines classify as ML or MH)
			<b>SC</b>	glinast pesek (clayey sand)	> 12% FZ (fines)	drobna zrna CL ali CH (fines classify as CL or CH)
drobnozrnat zemljine (fine grained soils)	melj in glina (silts and clays) $w_L < 50\%$	<b>ML</b>	nizkoplastičen melj (silt)	$I_p < 4$ ali pod A linijo (or below A-line)		
		<b>CL</b>	nizkoplastična glina (lean clay)	$I_p > 7$ in na ali nad A linijo (and on or above A-line)		
		<b>OL</b>	organski melj in organska glina (organic silt and organic clay)	$w_L$ (sušen) (ovendried) / $w_L$ (ne sušen) (not dried) < 0,75		
	drobna zrna (fines) (0,074 mm) $\geq 50\%$	melj in glina (silts and clays) $w_L \geq 50\%$	<b>MH</b>	visokoplastičen melj (elastic silt)	pod A linijo (below A-line)	
			<b>CH</b>	visokoplastična glina (fat clay)	na ali nad A linijo (on or above A-line)	
			<b>OH</b>	organski melj in organska glina (organic silt and organic clay)	$w_L$ (sušen) (ovendried) / $w_L$ (ne sušen) (not dried) < 0,75	
šota (peat)	organska (organic)	<b>Pt</b>	visoko organske zemljine (highly organic soils)	temne barve in vonj (dark color and organic odor)		

\* gramoz in peski z vsebnostjo drobnih zrn 5-12 % zahtevajo dvojni simbol (gravel and sand with 5-12 % fines require dual symbol): GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC, SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC

FZ – drobna zrna (fines)

Zaradi preglednosti tabele izraz porazdelitev zrn nadomešča zrnat. (Slovenian term “porazdelitev zrn” is replaced by “zrnat” to improve the overview in table).



Zaradi preglednosti diagrama izraz porazdelitev zrn nadomešča zrnat. (Slovenian term "porazdelitev zrn" is replaced by "zrnat" to improve the overview in flow chart).

Sl. 3. Klasifikacijski diagram debelo zrnatih zemljin – več kot 50 % odsejka na situ 0,074 mm (ASTM D 2487), FZ – drobna zrna. Fig. 3. Flow chart for classifying coarse grained soils – more than 50 % retained on 0.074 mm sieve (ASTM D 2487).

V ASTM D 2487 so podani tudi vzorčni primeri dodatnih opisov zemljine, ki lahko vključujejo lokalno ime, značilnosti na terenu (npr. konsistenčno stanje, barvo, reakcijo s solno kislino in opis geološkega okolja).

JUS U.B1.001:1990 je obravnaval USCS klasifikacijo, ne pa tudi načel identifikacije in končnega opisa zemljine. Ta so bila vključena v JUS U.B1.003:1990. Pri opisovanju debelo zrnatih zemljin so bili vključeni naslednji opisi: oblika zrn, reakcija z 20 % solno kislino, trdota zrn in stopnja občutljivosti zrn na razpad; za opis drobnozrnatih zemljin pa: preizkus s tresenjem, ocena konsistenčnega stanja, sijaj, suha trdnost, preiskava s kislino in opis barve in vonja.

### EN ISO 14688: Prepoznavanje in razvrščanje

EN ISO standard - Prepoznavanje in razvrščanje zemljin sestoji iz dveh delov:

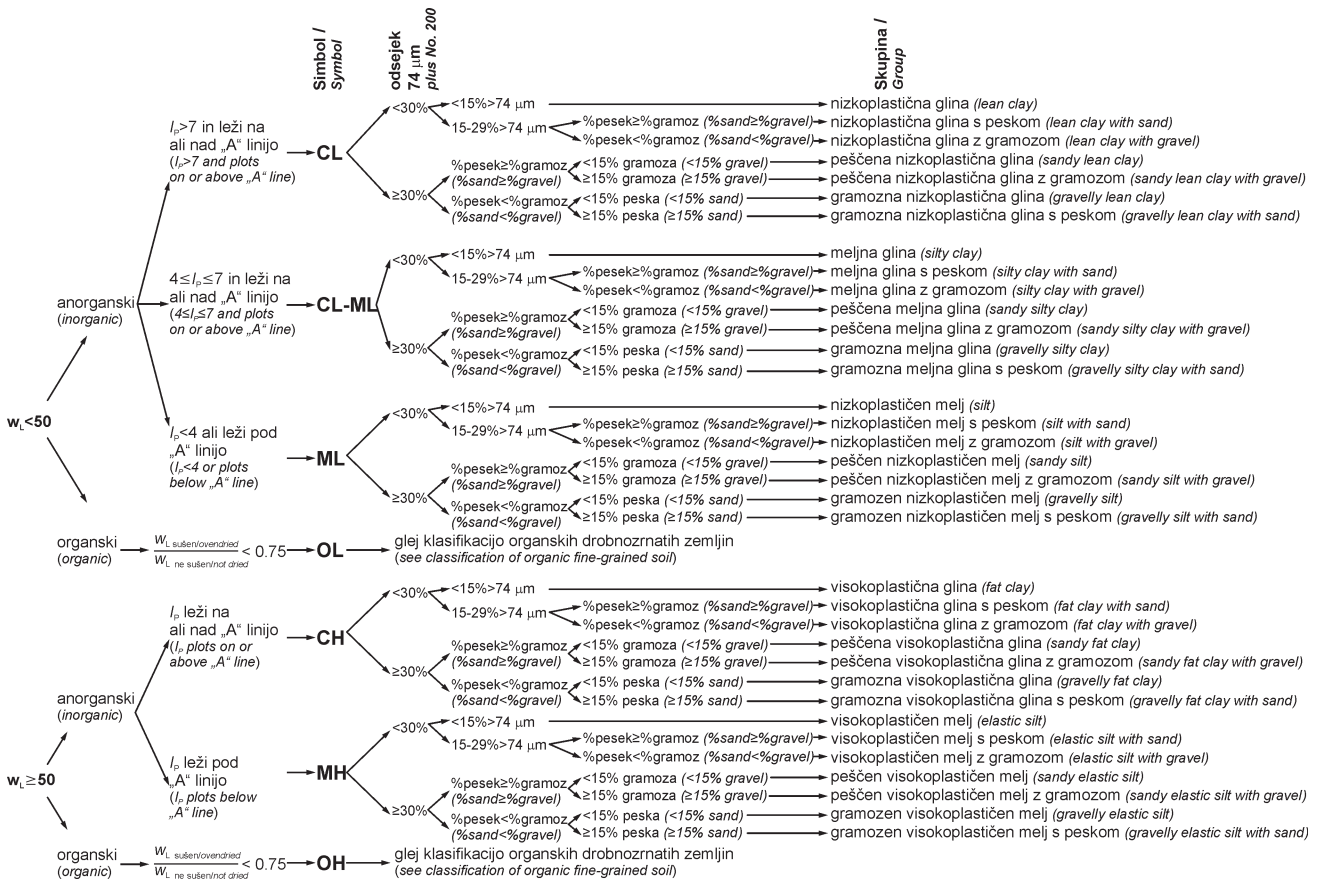
- EN ISO 14688-1: Prepoznavanje in opisovanje (angl. Identification and description) in

- EN ISO 14688-2: Načela za razvrščanje (angl. Principles for a classification).

Osnovni EN ISO 14688 se je po zasnovi, vsebini in terminološko razlikoval od zasnov primerjanih standardov (ASTM, BS, JUS, SN) oz. v njih podanih načel klasifikacije. Zadnja izdaja iz leta 2018 pa se ponovno približuje načelom AC/USCS klasifikacije.

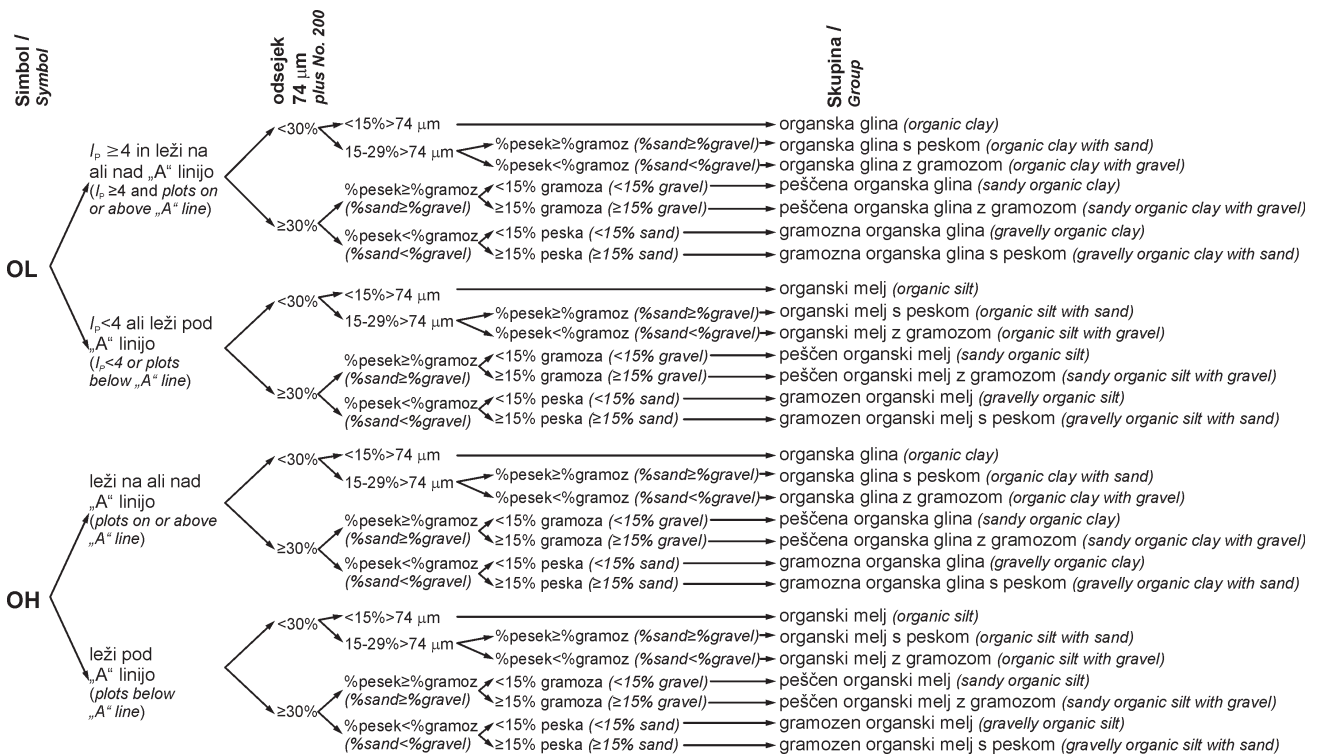
Posebnost EN ISO 14688-1 je, da poleg zemljin, vključenih v USCS, ločeno obravnava še načela razvrščanja vulkanskih zemljin ter umetnih nasutij. Umetna nasutja so razdeljena na kontrolirana inženirska nasutja in nekontrolirana nasutja, le ta pa še na nasutja iz geoloških in nasutja iz negeoloških materialov (odpadki, stranski produkti industrije).

Sistem razvrščanja osnovnih skupin zemljin (frakcij) po EN ISO 14688-1 je prikazan v tabeli 2. Namesto uporabe enega simbola (črke) za označevanje glavnih skupin zemljin, EN ISO 14688-1:2018 uporablja dve črki - prvi črki angleškega imena zemljine. Dodane so tudi oznake za



Sl. 4. Klasifikacijski diagram drobnozrnatih zemljin – 50 % ali več zrn manjših od 0,074 mm (ASTM D 2487).

Fig. 4. Flow chart for classifying fine grained soils – 50 % or more passes 0.074 m sieve (ASTM D 2487).



Sl. 5. Klasifikacijski diagram organskih drobnozrnatih zemljin – 50 % ali več zrn manjših od 0,074 mm (ASTM D 2487).

Fig. 5. Flow chart for classifying organic fine grained soils – 50 % or more passes 0.074 mm sieve (ASTM D 2487).

opisno oceno velikosti zrn (c – debel, angl. coarse; m – srednji, angl. medium; f – droben, angl. fine). Glede na osnovno izdajo iz leta 2002 so male črke (c, m, f) zamenjale velike črke (C, M, F). Glavne skupine zemljin so:

- Gr – gramoz (angl. gravel), cGr; mGr; fGr
- Sa – pesek (angl. sand), cSa; mSa; fSa
- Si – melj (angl. silt), cSi; mSi; fSi
- Cl – glina. (angl. clay)

Po EN ISO 14688-1:2002 se sekundarna frakcija, ki pomembno vpliva na obnašanje debelo-zrnatih zemljin, opiše s simbolom iz dveh malih črk, zapisanim pred oznako glavne frakcije, na primer: saGr – peščen gramoz (angl. sandy gravel); siGr – meljast gramoz (angl. silty gravel); clGr – glinast gramoz (angl. clayey gravel) oz. grSa – gramozni pesek (angl. gravelly sand); siSa – meljast pesek (angl. silty sand); clSa – glinast pesek (angl. clayey sand).

Druga sekundarna frakcija, ki lahko vpliva na inženirske lastnosti tal, se prav tako označi z majhno črko, npr: fgrCSa – drobno gramozni debel pesek (angl. fine gravelly coarse sand).

EN ISO 14688-1:2018 ne podaja simbolov za označevanje sekundarnih frakcij, podaja pa opise (npr. peščen GRAMOZ, angl. sandy GRAVEL; debelo peščen droben GRAMOZ, angl. coarse sandy fine GRAVEL).

Po EN ISO 14688-1:2002 se drobnozrnat zemljine, na katerih je moč določiti meje plastičnosti, delijo na nizko in visokoplastične, po EN ISO 14688-1:2018 pa na neplastične, nizko, srednje in visokoplastične. Simboli in kriteriji za razvrščanje teh zemljin so podani v EN ISO 14688-2:2018. Na ta način je prišlo do pomembne dopolnitve standarda iz leta 2004, ki kriterijev razvrščanja ni podajal.

Za identifikacijo in opis organskih zemljin, EN ISO 14688-1:2002 navaja pet različkov: vlaknata šota, psevdo-vlaknata šota, amorfnata šota, gitja, in humus, nova izdaja iz leta 2018 pa dodaja še novo skupino »dy« in identificira zemljine nastale z izločanjem koloidov huminskih snovi. Posebnih simbolov za ločevanje organskih zemljin ni.

EN ISO 14688-1:2018 navaja postopke, po katerih se identificirajo in opišejo zemljine. Ti vključujejo: zrnastostno sestavo, obliko zrn, mineralno sestavo zrn, trdnost zrn, vsebnost drobnih zrn, konsistenco, barvo, vsebnosti organskih snovi in karbonatov. Opisani so postopki za identifikacijo stopnje razkroja šote, vulkanskih zemljin in identifikacijo konsistenčnega stanja.

## Zrnastost

Pri obravnavi zrnastostne sestave so po EN ISO 14688-1:2018 zelo debelozrnat zemljine razvrščene v tri podskupine, velike skale (veliki bloki), če prevladujejo zrna nad 630 mm, skale (bloki), če prevladujejo zrna med 200 - 630 mm in kamenje, če prevladujejo zrna med 63 - 200 mm (tabela 2, sl. 2).

Za opis porazdelitve zrn se uporabljata koeficienta enakomernosti ( $C_U = C_u$ ) in zrnastosti – ukrivljenosti ( $C_C = C_c$ ). EN ISO 14688-2:2004 uporablja štiri (4), EN ISO 14688-2:2018 pa pet (5) kombinacij koeficientov  $C_U$  in  $C_C$  (tabela 3). Uveden je nov izraz porazdelitev zrnastosti z vrzeljo (angl. gap graded) za krivulje porazdelitve zrnastosti, v katerih manjka prisotnost določene frakcije (bimodalna krivulja zrnastosti). V primerjavi z USCS klasifikacijo, se glede na potek krivulje porazdelitve zrnastosti v EN ISO 14688-2:2004 pojavita, dodatni podskupini: več modalna porazdelitev zrnastosti (angl. multi graded) in srednje porazdeljena zrnastost (angl. medium graded). Podskupino več modalna porazdelitev zrnastosti (angl. multi graded) lahko istovetimo s skupino GW po USCS, le da je kriterij EN ISO strožji (zahteva za  $C_U > 15$  in ne  $C_U > 4$  kot po USCS).

Podskupine srednje porazdeljena zrnastost (angl. medium graded) ni moč uvrstiti v nobeno od USCS skupin, podskupino enolično porazdeljena zrnastost (angl. even graded) enakovredno opiše oznaka GP, skupino porazdelitev zrnastosti z vrzeljo (angl. gap graded) pa ena od oznak GP, GM ali GC v USCS klasifikaciji.

Kritična analiza kriterijev za klasifikacijo, podanih v EN ISO 14688-2:2004 pokaže, da le ti niso splošno veljavni in ne omogočajo klasifikacije vseh vrst zemljin. Slika 6 kaže, da zemljin s  $C_C > 3$ ;  $1 < C_C < 3$  in  $C_U < 15$  ali  $C_C < 1$  in  $C_U > 15$  ni moč razvrstiti v nobeno od novih EN ISO 14688-2:2004 podskupin. Po analogiji z USCS bi te zemljine lahko uvrstili med zemljine s slabo porazdeljeno zrnastostjo (GP oz. GrP). Za porazdelitev zrnastosti z vrzeljo ni kriterijev. Takšne zemljine imajo bimodalno porazdelitev velikosti zrn, ki se na krivulji zrnastosti izraža z značilno grbo (izravnava - prevoj) oz. odsotnostjo določenih frakcij (sl. 7), zanje pa je značilen visok  $C_U$  in nizek  $C_C$ .

EN ISO 14688-2:2018 odpravlja določene pomanjkljivosti iz prve izdaje leta 2004 in uvaja novo podskupino, enovita porazdelitev zrnastosti (angl. uniformly graded) in boljšo opredelitev podskupine porazdelitev zrnastosti z vrzeljo (angl. gap graded). Prav tako spreminja izraz več modalna porazdelitev zrnastosti (angl. multi graded) v široko uveljavljeni, tradicionalni izraz dobra porazdelitev zrnastosti (angl. well graded).



Tabela 2. Inženirska klasifikacija zemljin – primerjava pristopov.

Table 2. Soil classification – comparison of procedures.

skupina (soil group)	AC (Šuklje, 1979)*	ASTM D 2487*	EN ISO 14688-2:2004**	EN ISO 14688-1:2018					
				pod frakcije (sub-fractions)	simbol (symbol)	D (mm)			
zelo debelozrnata (very coarse grained)			velike skale (large boulder)	<b>LBo</b>	velike skale	<b>lBo</b>	> 630		
		skale (boulder)	skale (boulder)	<b>Bo</b>	skale (boulder)	<b>Bo</b>	>200-630		
	kamenje (cobble)	kamenje (cobble)	kamenje (cobble)	<b>Co</b>	kamenje (cobble)	<b>Co</b>	>63-200		
debelozrnata (coarse grained)	dobro zrnat gramoz (well-graded gravel)	<b>GW</b>	dobro zrnat gramoz (well-graded gravel)	<b>GW</b>	gramoz (gravel)***	<b>Gr</b>	debel gramoz (coarse gravel)	<b>cGr</b>	>20-63
	slabo zrnat gramoz (poorly-graded gravel)	<b>GP</b>	slabo zrnat gramoz (poorly-graded gravel)	<b>GP</b>					
	eno (enovito) zrnat gramoz (uniform gravel)	<b>GU</b>					srednji gramoz (medium gravel)	<b>mGr</b>	>6,3-20
	glinast gramoz (clayey gravel)	<b>GC</b>	glinast gramoz (clayey gravel)	<b>GC</b>	glinast gramoz (clayey gravel)	<b>clGr</b>	droben gramoz (fine gravel)	<b>fGr</b>	>2,0-6,3
			meljast gramoz (silty gravel)	<b>GM</b>	meljast gramoz (silty gravel)	<b>siGr</b>			
		<b>GF</b> (GF <sub>S</sub> <sup>1</sup> , GF <sub>C</sub> ) <sup>1</sup>							
	dobro zrnat pesek (well-graded sand)	<b>SW</b>	dobro zrnat pesek (well-graded sand)	<b>SW</b>	pesek (sand)***	<b>Sa</b>	debel pesek (coarse sand)	<b>cSa</b>	>0,63-2,0
	slabo zrnat pesek (poorly-graded sand)	<b>SP</b>	slabo zrnat pesek (poorly-graded sand)	<b>SP</b>					
	eno (enovito) zrnat pesek (uniform sand)	<b>SU</b>					srednji pesek (medium sand)	<b>mSa</b>	>0,2-0,63
	glinast pesek (clayey sand)	<b>SC</b>	glinast pesek (clayey sand)	<b>SC</b>	glinast pesek (clayey sand)	<b>clSa</b>	droben pesek (fine sand)	<b>fSa</b>	>0,063-0,2
			meljast pesek (silty sand)	<b>SM</b>	meljast pesek (silty sand)	<b>siSa</b>			
		<b>SF</b> (SF <sub>S</sub> <sup>2</sup> , SF <sub>C</sub> ) <sup>2</sup>							
drobnozrnata (fine grained)	nizko, srednje in visokoplastičen (low, mid- plastic and elastic)	<b>ML</b>	nizkoplastičen melj (silt) in visokoplastičen melj (elastic silt)	<b>ML</b>	melj (silt)	<b>Si****</b>	debel melj (coarse silt)	<b>cSi</b>	>0,02-0,063
		<b>MI</b>		srednji melj (medium silt)			<b>mSi</b>	>0,0063-0,02	
		<b>MH</b>		droben melj (fine silt)			<b>fSi</b>	>0,002-0,0063	
	nizko, srednje in visokoplastična (low, mid and high plasticity fines)	<b>CL</b>	nizkoplastična in visokoplastična glina (lean and fat clay)	<b>CL</b>	glina (clay)	<b>Cl****</b>	glina (clay)	<b>Cl</b>	≤0,002
		<b>CI</b>							
		<b>CH</b>							
organska (organic)	organske zemljine in šota (organic soil and peat)	<b>OL, OI, OH, Pt</b>	organske zemljine in šota (organic soil and peat)	<b>OL, OH, PT</b>	organske zemljine in šota (organic soil and peat)	<b>Or (Pt)</b>			
grajeno tlo (made ground)			umetni in naravni materiali (man-made and relaid natural materials)			<b>Mg</b>			

AC: <sup>1</sup>slabo zrnat gramoz z znatno količino finih zrn oz. dobro zrnat gramoz s preobilno količino finih zrn (poorly-graded gravel with significant amount of fines or well graded gravel with large amount of fines)

AC: <sup>2</sup>slabo zrnat pesek z znatno količino finih zrn oz. dobro zrnat pesek s preobilno količino finih zrn (poorly-graded sand with significant amount of fines or well graded sand with large amount of fines)

\* klasifikacija z dvojnimi simboli (npr. GC-GM, SC-SM, SW-SM, SW-SC,...) – glej tabelo 1 (dual symbols – see Table 1)

\*\* EN ISO 14688-2:2004: predlog nadaljnje razvrstitve v podskupine je na sliki 8 (proposed subdivision – Figure 8).

\*\*\* več-, srednje-, enovito- zrnat (multi-, medium-, even- graded), zrnavost z vrzeljo (gap – graded)

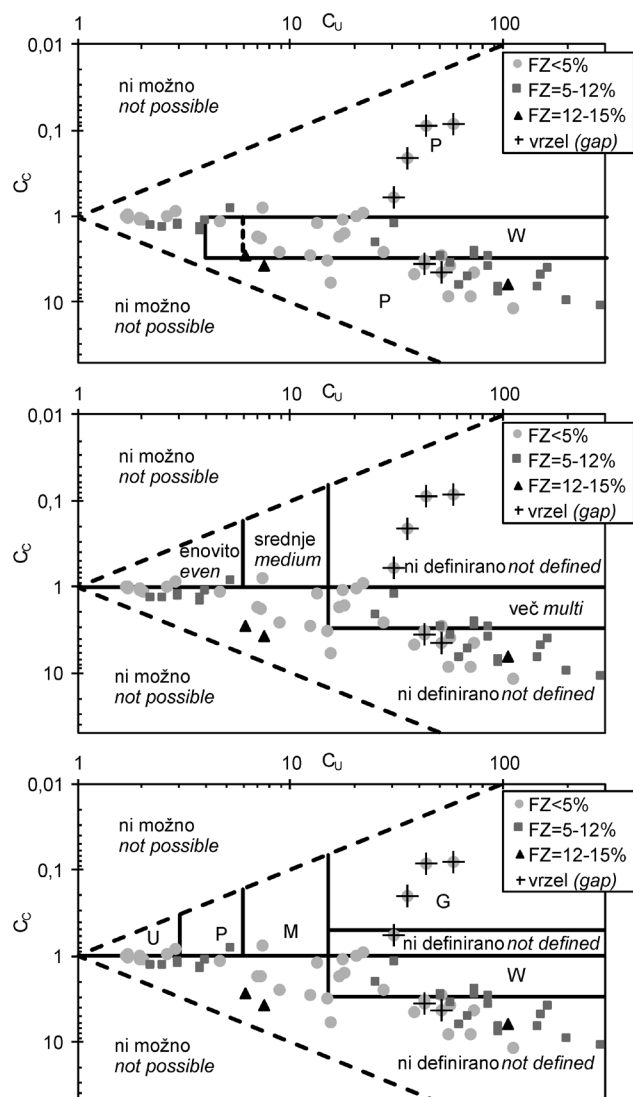
\*\*\*\* ne-plastična (non plastic), nizkoplastična (low plasticity), srednjeplastična (intermediate plasticity), visokoplastična (high plasticity)

Zaradi preglednosti tabele izraz porazdelitev zrn nadomešča zrnat. (Slovenian term “porazdelitev zrn” is replaced by “zrnat” to improve the over-view in table).

Tabela 3. Oblika krivulje zrnivosti po EN ISO 14688-2:2004 in EN ISO 14688-2:2018.  
Table 3. Shape of grading curve after EN ISO 14688-2:2004 and EN ISO 14688-2:2018.

EN ISO 14688-2:2004	EN ISO 14688-2:2018	$C_u$	$C_c$
več zrnata ( <i>multi graded</i> )	dobro zrnata ( <i>well graded</i> )	> 15	$1 < C_c < 3$
srednje zrnata ( <i>medium graded</i> )	srednje zrnata ( <i>medium graded</i> )	6 - 15	< 1
enolično (enotno) zrnata ( <i>even graded</i> )	slabo zrnata ( <i>poorly graded</i> )	3 - 6	< 1
	enovito zrnata ( <i>uniformly graded</i> )	< 3	< 1
zrnavost z vrzeljo ( <i>gap graded</i> )	zrnavost z vrzeljo ( <i>gap graded</i> )	običajno visok ( <i>usually high</i> ) > 15 (EN ISO 14688-2:2018)	katerakoli vrednost (običajno < 0,5) ( <i>any, usually &lt; 0,5</i> ) < 0,5 (EN ISO 14688-2:2018)

Zaradi preglednosti tabele izraz porazdelitev zrn nadomešča zrnat. (Slovenian term "porazdelitev zrn" is replaced by "zrnat" to improve the overview in table).



Sl. 6. Položaj zemljin v diagramu  $C_u - C_c$  in meje za razvrščanje glede na obliko krivulje zrnivosti po JUS U.B1.001:1990 (zgoraj), EN ISO 14688-2:2004 (sredina) in EN ISO 14688-2:2018 (spodaj). (P – slabo, W – dobro, M – srednje, U – enakomerno zrnata zemljina, G – zemljina z vrzeljo zrnivosti; niz vrzeli, gap po kriteriju EN ISO 14688-2:2004).

Fig. 6. Position of soils in  $C_u - C_c$  chart and soil classification based on particle size distribution in accordance with JUS U.B1.001:1990, EN ISO 14688-2:2004 and EN ISO 14688-2:2018 (P – poorly, W – well, M – medium, U – uniformly, G – gap graded; series vrzel, gap after criteria given in EN ISO 14688-2:2004).

## Plastičnost in vsebnost organskih snovi

EN ISO 14688-2:2018 se vrača k AC načelu razvrščanja. Kriterij za razvrščanje so meje židkosti in indeks plastičnosti, kot je prikazano na sliki 1. V primerjavi z AC klasifikacijo je novost v dodani novi podskupini: CIV in SiV za zemljine z mejo židkosti nad 70 %, to je za zelo visokoplastične. Pri zemljinah z indeksom plastičnosti  $I_p = 4-7$  % in lego nad linijo A v AC diagramu se uporablja dvojni simbol CIL-SiL – meljna glina, podobno, kot je zapisano v USCS.

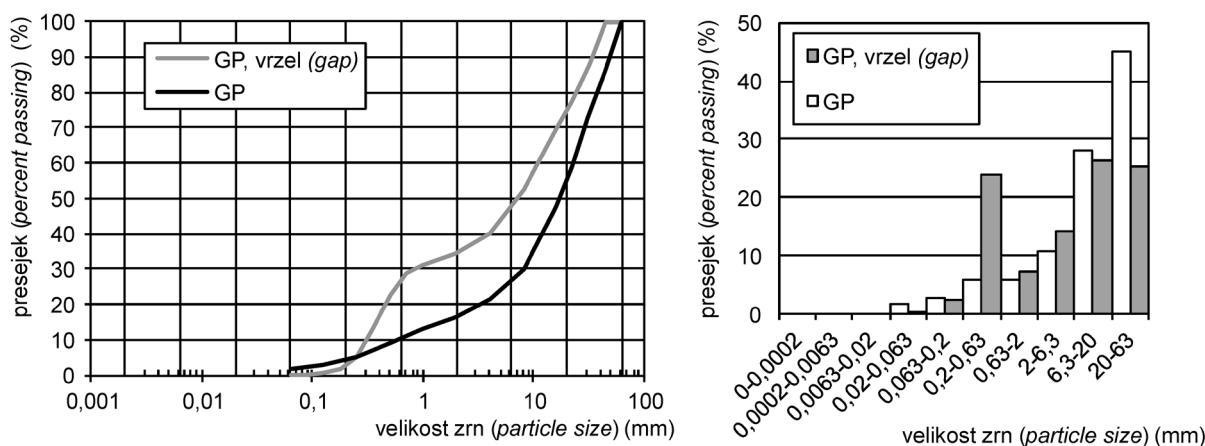
Glede na masno vsebnost organskih primesi v frakciji velikosti pod 2 mm, se zemljine delijo na nizko organske (2 – 6 %), srednje organske (6 – 20 %) in visoko organske (več kot 20 %). Mineralnim organskim zemljinam se k simbolu drobnozrnate zemljine doda oznaka »O«- organska (angl. organic).

## Ostali principi (geneza)

Po EN ISO 14688-2 se ob klasifikaciji zemljin opišejo še: zgoščenost, nedrenirana trdnost, občutljivost in indeks konsistence. Za specifične namene rabe se lahko uporabljajo še dodatni opisi, npr. indeks saturacije, nabrekalni indeks, karbonatni indeks itd, vse brez navedbe kriterijev za razvrščanje. EN ISO 14688-2 izrecno dopušča oz. priporoča širitev podanih načel klasifikacije na nacionalni ravni ali na ravni specifičnega projekta.

## prEN 16907-2:2015 klasifikacija

prEN 16907-2:2015 je prilagojen klasificiranju zemljin za gradnjo nasipov. Osnovne skupine zemljin iz EN ISO 14688-1, so v prEN 16907-2:2015 nadgrajene z dodatnimi skupinami ter simboli in natančnimi kriteriji za klasifikacijo. Vključene so nove podskupine zemljin: IS – vmesna zemljina (angl. intermediate soil), C – mešana zemljina (angl. composite soil). Umetna tla se razvrščajo na nasutja iz naravnih materialov (FN – angl. fill,



Sl. 7. Primer krivulje zrnivosti slabo zrnatega gramoza brez vrzeli in z vrzeljo (levo) in porazdelitev vsebnosti posameznih frakcij (desno).

Fig. 7. Grading curve of poorly graded gravel without and with gap (left) and the distribution of separate fractions (right).

natural material) in nasutja iz umetnih materialov (FA – angl. fill of manufactured – artificial material). Klasifikacija obravnava 30 podskupin zemljin, posameznim podskupinam so pripisane ocene uporabnosti za običajne zemeljske objekte.

### Razprava o formalno veljavni klasifikaciji

Standarda EN ISO 14688-1:2002 ter EN ISO 14688-2:2004 so države članice CEN vključile v nacionalne standarde in standarde za projektiranje Evrokod 7. Standarda EN ISO sta v osnovni izdaji glede na predhodne AC/USCS klasifikacije spremenila simbole za označevanje skupin zemljin, nista podajala kriterijev za razvrščanje glavnih skupin zemljin v značilne podskupine in nista bila splošno veljavna, saj s svojimi parcialnimi kriteriji nista pokrila vseh vrst zemljin. To je pomenilo, da z EN ISO 14688-2:2004 načeli, klasifikacija zemljin formalno ni bila možna. V številnih evropskih državah so ohranili lastne standarde za klasifikacijo zemljin (npr. DIN, SN, BS) in tako z njimi ohranjajo lastne principe klasifikacije, s katerimi nadgrajujejo EN ISO 14688-2:2004 načela. V Sloveniji smo v sredini 1990ih let kratkovidno razveljavili JUS standarde in tako ostali brez ustreznih nacionalnih pravil. S tem smo v 50-letno tradicijo in dobro prakso klasifikacije zemljin vnesli nered, ki ni le formalne oz. terminološke, temveč tudi pomembne vsebinske narave. Na srečo je prenovljena izdaja standarda EN ISO 14688 iz leta 2018 odpravila večino, ne pa vseh pomanjkljivosti iz osnovne izdaje. Največja prednost nove izdaje iz leta 2018 je, da omogoča natančno razvrščanje drobnozrnatih zemljin, pri debelozrnatih zemljinah pa še vedno ostajajo kriteriji nedorečeni. Na nacionalni ravni se bomo morali dogovoriti, kako bomo v prihodnje klasificirali zemljine za inženirsko rabo. Možna sta dva pristopa:

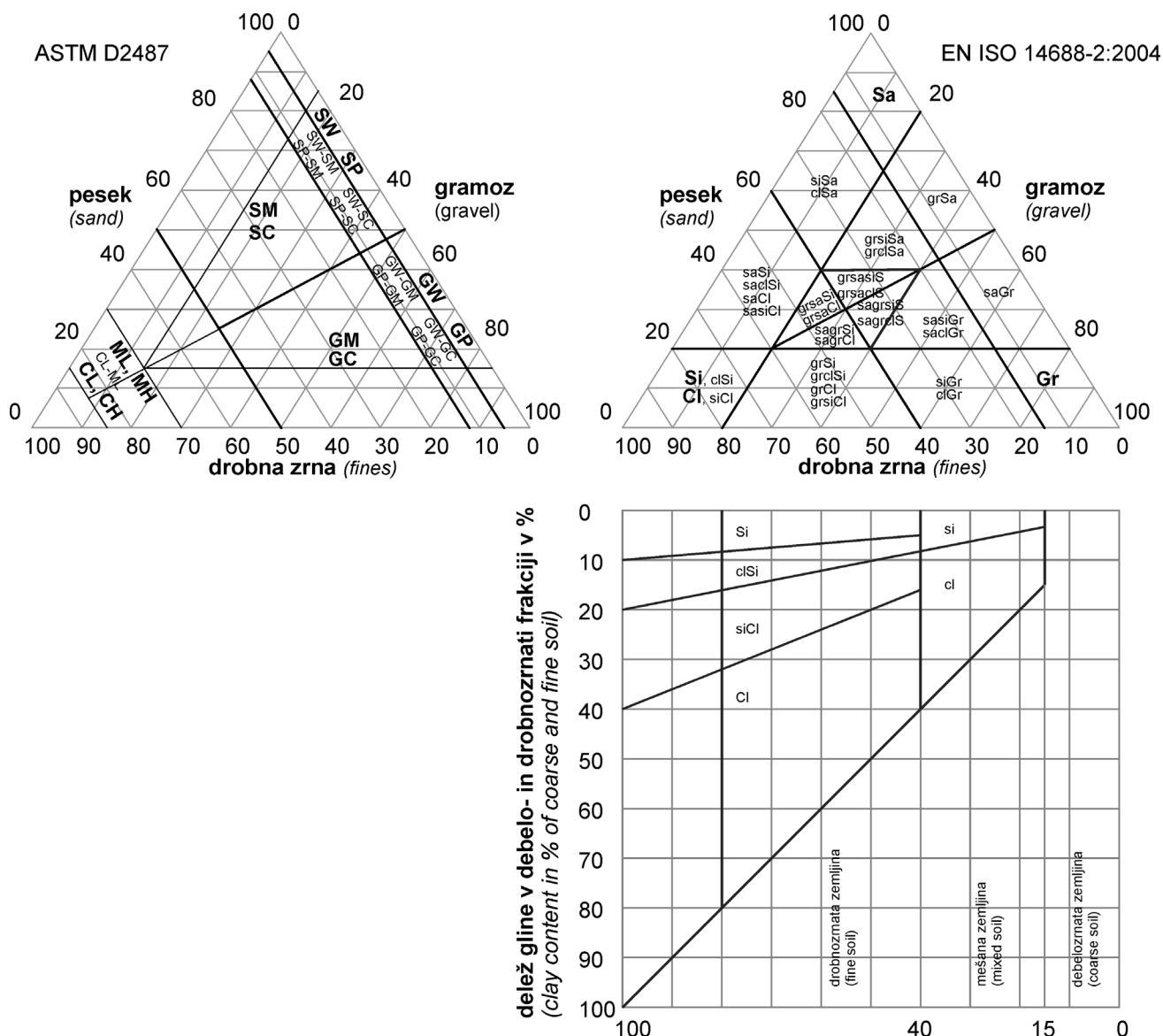
1. Uporabljamo lahko oba pristopa, torej nepopolne oznake in opise po EN ISO 14688-2:2018 in po USCS
2. Načela AC/USCS klasifikacije, uveljavljene v Sloveniji, smiselno povežemo z načeli EN ISO 14688-2:2018 in na ta način ohranimo tradicijo klasificiranja zemljin po slovenski geotehnični šoli, oz. po prof. Luju Šukljuetu ter standardu JUS U.B1.001.

V tabeli 2 in na sliki 8 so prikazane primerjave AC, USCS in EN ISO oznak za značilne skupine in podskupine zemljin. Poudariti velja, da razlike niso vezane le na spremembe simbolov, temveč so zelo opazne tudi vsebinske razlike v kriterijih za klasificiranje.

V tabeli 4 je podan predlog nove klasifikacije zemljin, ki smiselno povezuje slovensko tradicijo klasificiranja z načeli in kriteriji EN ISO standardov. Na sliki 9 so prikazani primeri in primerjava nove EN ISO in USCS klasifikacije za značilne izbrane podskupine zemljin.

Pri debelozrnatih zemljinah ohranjamo glavni skupini zemljin G/Gr in S/Sa z naslednjimi podskupinami: GW/GrW, GP/GrP, GM/siGr in GC/clGr ter SW/SaW, SP/SaP, SM/siSa in SC/clSa. Glede na kriterije EN ISO 14688-2:2018 so dodane nove podskupine GrU in GrG ter SaU in SaG, ki bi sicer po USCS klasifikaciji pripadale podskupini GP in SP.

Pri klasifikaciji drobnozrnatih zemljin uporabljamo modificiran AC diagram (sl. 1). Pomembnejša novost je uvedba nove podskupine zelo visokoplastičnih zemljin (CIV, SiV) in pripadajočih podskupin z dodatno oznako »O« npr. CIHO- organska visokoplastična glina, oz. SiLO- organski nizkoplastičen melj. Z novo klasifikacijo tako dobimo: 3 skupine zelo debelozrnatih zemljin (LBo, Bo in Co), 14 skupin debelozrnatih



Sl. 8. Trikotna diagrama za klasifikacijo osnovana na relativni vsebnosti gramozu, peska in drobnih zrn po ASTM D2478 in EN ISO 14688-2:2004.

Fig. 8. Trignons showing classification schemes based on relative percentage of gravel, sand and fines based on ASTM D2478 and EN ISO 14688-2:2004.

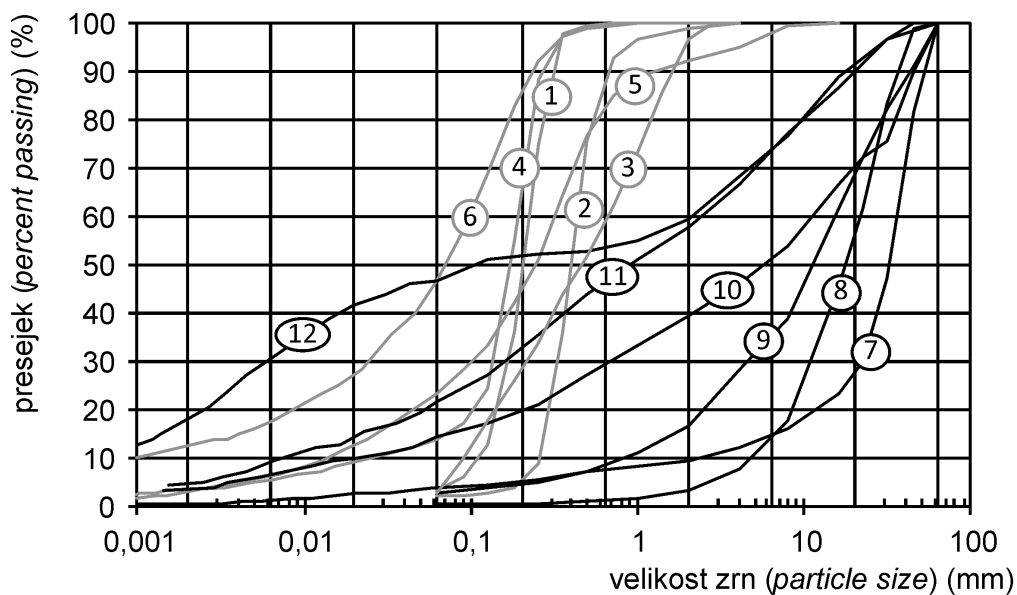
Tabela 4 nadaljevanje

- gramoz z vsebnostjo finih zrn 5%-12% opišemo z »dvojnim« simbolom (*gravels with 5%-12% fines require »dual« symbols*): GrW-siGr, GrW-clGr; GrP-siGr, GrP-clGr; GrM-siGr, GrM-clGr; GrU-siGr, GrU-clGr; GrG-siGr, GrG-clGr.
- pesek z vsebnostjo finih zrn 5%-12% opišemo z »dvojnim« simbolom (*sands with 5%-12% fines require »dual« symbols*): SaW-siSa, SaW-clSa; SaP-siSa, SaP-clSa; SaM-siSa, SaM-clSa; SaU-siSa, SaU-clSa; SaG-siSa, SaG-clSa.
- če so v mineralni drobnozrnati zemljini organske primesi, dodamo oznako »O« (npr. ClHO) (*if mineral fine grained soil has organic constituents, add "O" to symbol (e.g. ClHO)*).
- če zemljina vsebuje  $\geq 20\%$  peska, se k opisu (stolpec skupina) pripiše »peščen« in dopiše sekundarna frakcija k simbolu (npr. saGr ali saSi) (*if soil contains  $\geq 20\%$  sand, add »sandy« to a group name and add secondary fraction to a group symbol (e.g. saGr or saSi)*).
- če zemljina vsebuje  $\geq 20\%$  gramozu, se k opisu (stolpec skupina) pripiše »gramozen« in dopiše sekundarna frakcija k simbolu (npr. grSa ali grSi) (*if soil contains  $\geq 20\%$  gravel, add »gravelly« to a group name and add secondary fraction to a group symbol, e.g. grSa or grSi*).
- če zemljina vsebuje tako več kot  $\geq 20\%$  peska kot tudi  $\geq 20\%$  gramozu se od leve najprej zapiše sekundarna frakcija z manjšim deležem zrn (npr. grsaCl) (*if soil contains both  $\geq 20\%$  gravel and  $\geq 20\%$  sand write secondary fraction with least amount to leftmost position (e.g. grsaCl)*).
- če drobno zrnata zemljina vsebuje  $\geq 20\%$  a  $< 40\%$  debelo zrnate frakcije, se k opisu (stolpec skupina) pripiše »peščen« ali »gramozen« in dopiše sekundarna frakcija k simbolu v odvisnosti od prevladujoče debelo zrnate frakcije (npr. grSi ali saCl) (*if fine grained soil contains  $\geq 20\%$  but  $< 40\%$  coarse fraction, add »sandy« or »gravelly« to a group name and add secondary fraction to a group symbol whichever is predominant, e.g. grSi or saCl*).

Tabela 4. Predlog klasifikacije po načelih JUS U.B1.001:1990, ASTM D 2487, EN ISO 14688-1:2004, in EN ISO 14688-2:2018.  
 Table 4. Proposed classification based on principles given in JUS U.B1.001:1990, ASTM D 2487, EN ISO 14688-1:2004 and EN ISO 14688-2:2018.

glavna skupina (major divisions)	podskupina (subdivisions)	simbol (symbol)	skupina (group)	kriteriji - laboratorijska klasifikacija (laboratory classification criteria)	
debelozrnat zemljine (coarse grained soils) drobna zrna (fines) (0,063 mm) < 50%	gramoz (gravel) $f_{0,063-2,0\text{ mm}} < f_{2,0-63\text{ mm}}$	<b>GrW</b>	dobro zrnat gramoz (well graded gravel)	< 5% FZ	$C_U > 15$ in (and) $1 \leq C_C \leq 3$
		<b>GrP</b>	slabo zrnat gramoz (poorly graded gravel)	< 5% FZ	$3 < C_U < 6$ in (and) $C_C < 1$ ali (or) $C_U < 15$ in (and) $C_C > 1$ ali (or) $C_U > 15$ in (and) $0,5 < C_C < 1$ ali (or) $C_U > 15$ in (and) $C_C > 3$
		<b>GrM</b>	srednje zrnat gramoz (medium graded gravel)	< 5% FZ	$6 < C_U < 15$ in (and) $C_C < 1$
		<b>GrU</b>	enakomerno zrnat gramoz (uniformly graded gravel)	< 5% FZ	$C_U < 3$ in (and) $C_C < 1$
		<b>GrG</b>	gramoz z vrzeljo zrnivosti (gap graded gravel)	< 5% FZ	$C_U > 15$ in (and) $C_C < 0,5$
		<b>siGr</b>	meljast gramoz (silty gravel)	> 12% FZ	FZ – melj ( $I_P < I_{PA}$ ) (silty fines)
	pesek (sand) $f_{0,063-2,0\text{ mm}} \geq f_{2,0-63\text{ mm}}$	<b>clGr</b>	glinast gramoz (clayey gravel)	> 12% FZ	FZ – glina ( $I_P \geq I_{PA}$ in (and) $I_P \geq 4$ ) (clayey fines)
		<b>SaW</b>	dobro zrnat pesek (well graded sand)	< 5% FZ	$C_U > 15$ in (and) $1 \leq C_C \leq 3$
		<b>SaP</b>	slabo zrnat pesek (poorly graded sand)	< 5% FZ	$3 < C_U < 6$ in (and) $C_C < 1$ ali (or) $C_U < 15$ in (and) $C_C > 1$ ali (or) $C_U > 15$ in (and) $0,5 < C_C < 1$ ali (or) $C_U > 15$ in (and) $C_C > 3$
		<b>SaM</b>	srednje zrnat pesek (medium graded sand)	< 5% FZ	$6 < C_U < 15$ in (and) $C_C < 1$
		<b>SaU</b>	enakomerno zrnat pesek (uniformly graded sand)	< 5% FZ	$C_U < 3$ in (and) $C_C < 1$
		<b>SaG</b>	pesek z vrzeljo zrnivosti (gap graded sand)	< 5% FZ	$C_U > 15$ in (and) $C_C < 0,5$
		<b>siSa</b>	meljast pesek (silty sand)	> 12% FZ	FZ – melj ( $I_P < I_{PA}$ ) (silty fines)
		<b>clSa</b>	glinast pesek (clayey sand)	> 12% FZ	FZ – glina ( $I_P \geq I_{PA}$ in (and) $I_P \geq 4$ ) (clayey fines)
drobnazrnat zemljine (fine grained soils) drobna zrna (fines) (0,063 mm) $\geq 50\%$	melj in glina (silts and clays) $w_L < 35\%$	<b>SiL</b>	nizkoplastičen melj (low plasticity silt)	$I_P < 4$ ali (or) $I_P < I_{PA}$	
		<b>CIL-SiL</b>	nizkoplastična meljna glina (silty clay)	$4 \leq I_P \leq 7$ in (and) $I_P \geq I_{PA}$	
		<b>CIL</b>	nizkoplastična glina (low plasticity clay)	$I_P > 7$ in (and) $I_P \geq I_{PA}$	
	melj in glina (silts and clays) $35\% \leq w_L < 50\%$	<b>SiM</b>	srednjeplastičen melj (medium plasticity silt)	$I_P < I_{PA}$	
		<b>CIM</b>	srednjeplastična glina (medium plasticity clay)	$I_P \geq I_{PA}$	
	melj in glina (silts and clays) $50\% \leq w_L \leq 70\%$	<b>SiH</b>	visokoplastičen melj (high plasticity silt)	$I_P < I_{PA}$	
		<b>CIH</b>	visokoplastična glina (high plasticity clay)	$I_P \geq I_{PA}$	
	melj in glina (silts and clays) $w_L > 70\%$	<b>SiV</b>	zelo visokoplastičen melj (very high plasticity silt)	$I_P < I_{PA}$	
<b>CIV</b>		zelo visokoplastična glina (very high plasticity clay)	$I_P \geq I_{PA}$		
organska (organic)	<b>Pt</b>	šota (peat)	šota (peat)		
umetno tlo (anthropogenic soil)	<b>Mg</b>	umetni materiali in naravni vgrajeni materiali (man-made materials and reloid natural materials)	zahteva se posebna obravnava (requires special consideration)		

FZ – drobna zrna (fines),  $I_{PA}$  – indeks plastičnosti A – linije pri  $w_L$  (plasticity index on A – line at  $w_L$ ),  $C_U = D_{60}/D_{10}$ ,  $C_C = (D_{30})^2/D_{10} \cdot D_{60}$   
 Zaradi preglednosti tabele izraz porazdelitev zrn nadomešča zrnat. (Slovenian term "porazdelitev zrn" is replaced by "zrnat" to improve the over-view in table).



Sl. 9. Krivulje zrnivosti zemljin s klasifikacijo po JUS U.B1.001:1990 in po predlogu klasifikacije osnovane po usmeritvah v EN ISO 14688-2:2018 (tabela 4).

Fig. 9. Soils grading curves with classification based on JUS U.B1.001:1990 and a classification proposal adapted after EN ISO 14688-2:2018 (table 4).

krivulja zrnivosti št. (gradation curve Nr).	AC/USCS JUS.U.B1.001 (1990)	predlog klasifikacije tega članka (Proposed classification)	drobna zrna (fines) (<0,063 mm)	peščena frakcija (sand fraction) (0,063 -2 mm)	gramozna frakcija (gravel fraction) (2-63 mm)	$C_u$	$C_c$
1	SP	SaP*	3	97	0	2,03	1,12
2	SP	SaU	2	97	1	1,72	0,97
3	SP	SaM	3	94	4	7,38	0,78
4	SM	siSa	14	86	0	7,54	3,78
5	SM	siSa	24	69	8		
6	SC	clSa	47	53	0		
7	GP	GrP*	3	7	91	15,4	5,96
8	GW	GrP	0	3	96	4,62	1,16
9	GW	GrW	4	13	83	17,8	1,60
10	GM	sasiGr	14	25	61	531	2,00
11	GM	sasiGr	21	36	42		
12	GC	clGr	47	13	40		

\* po razširjenem kriteriju slabo zrnatih debelo-zrnatih zemljin (based on widened criteria for poorly graded coarse soil)

zemljin (GrW, GrP, GrM, GrU, GrG, siGr, clGr, SaW, SaP, SaM, SaU, SaG, siSa, clSa), 9 skupin drobnozrnatih anorganskih zemljin (CIL, CIM, CIH, CIV, SiL, SiM, SiH, SiV ter mešano skupino CIL-SiL) ter 9 skupin drobnozrnatih organskih zemljin. Ohranja se oznaka za šoto (Pt), skupaj torej 36 skupin zemljin. Če izločimo zelo debelo-zrnate zemljine in oznake za organske mineralne zemljine, je skupno število skupin za razvrščanje 24, to je primerljivo število kot v osnovni AC klasifikaciji.

### Terminološke zadrege

Geološki terminološki slovar (Pleničar et al., 2006) pod izrazom »zemljina« zapiše, da je izraz zemljina neustrezen in predlaga izraze: prepe-rina oz. sediment, usedlina. Prikazana analiza in kazalo referenčnih dokumentov kažejo, da je

izraz zemljina (angl. soil, nem. Boden) zgodovinsko natančno opredeljen na področju inženirske klasifikacije zemljin in je kot tak ustrezen in nezamenljiv. Genetsko pa izraz zemljina pokriva nevezljive in vezljive preperine, sedimente, piroklastične (vulkanske) in antropogene (naravne in umetne) materiale, ki pa jih moramo za inženirske namene razvrstiti v enotne skupine.

V Sloveniji se je pri opisovanju debelo-zrnatih zemljin v preteklosti uveljavil izraz »grobnozrnat« (angl. coarse grained). Izraz »grobnozrnat« je pri klasifikaciji in opisu zemljin vsebinsko neprimeren in bi ga morali zamenjati z izrazom »debelozrnat«. Tudi izraz »fina zrna« (angl. fines) bi bilo primerneje nadomestiti z izrazom »drobna zrna«.

Iz tabele 4 vidimo, da bo potrebno opustiti izraze »pust/pusta« in »masten/mastna« pri opisovanju značaja glin in meljev. ASTM uporablja

izraz »pust« (angl. lean) za nizkoplastično glino (CL) in izraz »masten« (angl. fat) za visokoplastično glino (CH). Izraza »pust« in »masten« sta bila sicer opuščena že v JUS U.B1.001:1990.

Precejšnje zadrego prinaša nova podskupina zemljin »gap graded«, za katero težko poiščemo slovenski terminološki ekvivalent. Predlagali smo izpeljanko »porazdelitev zrnivosti z vrzeljo«, čeprav nismo prepričani, da je to pravi izraz. Morda bi izraz bimodalna porazdelitev zrnivosti bolj ustrezal, a je hkrati v inženirski klasifikaciji manj domač.

### Zaključek

Evropska standarda za prepoznavanje in razvrščanje zemljin EN ISO 14688-1:2002 in EN ISO 14688-2:2004 sta v osnovni izdaji temeljito posegla v tradicionalna načela prepoznavanja in razvrščanja zemljin, uveljavljena v Sloveniji po letu 1948. Zaradi nedoslednih kriterijev nista bila uporabna za široko rabo in klasificiranje vseh vrst zemljin in se v praksi nista »prijela«. Aprila 2018 je bila sprejeta nova izdaja EN ISO 14688-1:2018 in EN ISO 14688-2:2018, v kateri je večina pomanjkljivosti prve izdaje odpravljenih. V kratkem se pričakuje tudi končni sprejem standarda za klasifikacijo zemljin za zemeljska dela, ki je trenutno na nivoju prEN 16907-2:2015.

Po sprejemu navedenih novih standardov, izgovorov za nespoštovanje načel klasificiranja zemljin za inženirske namene ne bo več. Inženirsko klasifikacijo zemljin bo treba izvajati po evropskih standardih in jo vpeljati tudi v ustrezne tehnične dokumente za gradnjo. Predlagana klasifikacija povezuje tradicionalne pristope klasifikacije zemljin z novimi načeli EN ISO 14688-2:2018 in hkrati omogoča natančno razporejanje zemljin v posamezne skupine po tradicionalnih načelih AC/USCS klasifikacije.

Za objavo prispevka v reviji Geologija smo se avtorji odločili zato, ker so inženirji geologije tisti, ki v veliki večini izvajajo popise zemljin pri raziskovalnih delih na terenu in v laboratoriju in so prav oni tisti, ki lahko največ prispevajo, da se načela pravilnega klasificiranja ponovno vrnejo v operativno rabo v Sloveniji.

### Viri in literatura

ASTM D 2487-00: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).  
BS 5930: 2015: Code of practice for ground investigations.

Casagrande, A. 1948: Classification and Identification of Soils. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 113/1: 901-930.

DIN 18196:2006-06: Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke.

ISSMFE (International society of soil mechanics and foundation engineering) 1979: Subcommittee report on symbols, units, definitions. Proc., 9<sup>th</sup> Int. Conf on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 153-170 (in French).

JUS U.B1.001 1990: Geotehnička ispitivanja, Opšta klasifikacija tla.

JUS U.B1.003 1990: Geomehnička ispitivanja - Terenska identifikacija uzoraka tla.

JUS U.B1.018 1980: Geomehnička ispitivanja - Određivanje granulometrijskog sastava.

Nonveiller, E. 1963: Geomehanika, 1. dio. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb: 110 p.

oSIST prEN 16907-1:2016: Zemeljska dela - 1. del: Načela in splošna pravila.

oSIST prEN 16907-2:2015: Zemeljska dela - 2. del: Klasifikacija materialov.

Pleničar, M., Strmole, D., Leder, Z., Pavšič, J., Kralj, P. & Grm, M. 2006: Geološki terminološki slovar, Zbirka Slovarji / Založba ZRC, ZRC SAZU.

Pravilnik o tehničkim normativima za projektovanje i izvođenje radova kod temeljenja građevinskih objekata. Službeni list SFRJ, br. 34-642/1974.

Pravilnik o mehanskoj otpornosti in stabilnosti objektov. Uradni list RS, št. 101/05 in 61/17 - GZ.

SIST EN 1997-1:2005: Evrokod 7: Geotehnično projektiranje - 1. del: Splošna pravila.

SIST EN 1997-1:2005/AC:2009: Evrokod 7: Geotehnično projektiranje - 1. del: Splošna pravila.

SIST EN 1997-1:2005/A1:2014: Evrokod 7: Geotehnično projektiranje - 1. del: Splošna pravila.

SIST EN 1997-1:2005/A101:2006: Evrokod 7: Geotehnično projektiranje - 1. del: Splošna pravila - Nacionalni dodatek.

SIST EN ISO 14688-1:2004: Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Prepoznavanje in razvrščanje zemljin - 1. del: Prepoznavanje in opisovanje (ISO 14688-1:2002).

SIST EN ISO 14688-1:2004/AC:2008: Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Prepoznavanje in razvrščanje zemljin - 1. del: Prepoznavanje in opisovanje (ISO 14688-1:2002).

- SIST EN ISO 14688-1:2004/A1:2013: Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Prepoznavanje in razvrščanje zemljin - 1. del: Prepoznavanje in opisovanje (ISO 14688-1:2002/A1:2013).
- SIST EN ISO 14688-1:2018: Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Prepoznavanje in razvrščanje zemljin - 1. del: Prepoznavanje in opisovanje (ISO 14688-1:2017).
- SIST EN ISO 14688-2:2004: Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Prepoznavanje in razvrščanje zemljin - 2. del: Načela za razvrščanje (ISO 14688-2:2004).
- SIST EN ISO 14688-2:2004/A1:2013: Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Prepoznavanje in razvrščanje zemljin - 2. del: Načela za razvrščanje (ISO 14688-2:2004/A1:2013).
- SIST EN ISO 14688-2:2018: Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Prepoznavanje in razvrščanje zemljin - 2. del: Načela za razvrščanje (ISO 14688-2:2017).
- Skaberne, D. 1980: Predlog klasifikacije in nomenklature klastičnih sedimentnih kamnin, 1. del: Predlog granulometrijske klasifikacije in nomenklature. Rudarsko-metalurški zbornik 27/1: 21-46.
- SN 670008: 1970: Klassifikation der Lockergesteine; Laboratoriumsmethode nach USCS.
- Šuklje, L. 1967: Mehanika tal. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana: 480 p.
- Šuklje, L. 1979: Objašnjenje pravilnika o tehničkim normativima za projektovanje i izvođenje radova kod temeljenja građevinskih objekata. Časopis »Izgradnja«, Beograd: 227 p.
- Šuklje, L. 1984: Mehanika tal. Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana: 359 p.