



REPUBLIKA SLOVENIJA

**MINISTRSTVO ZA INFRASTRUKTURO**

**TEHNIČNA SPECIFIKACIJA TSG-211-005: 2023**

**TSG-212-005: 2023**

Ministrica za infrastrukturo na podlagi 13. člena Zakona o cestah (Uradni list RS, št. 132/2022, 140/22 – ZSDH-1A in 29/23) in šestega odstavka 50. člena Zakona o varnosti v železniškem prometu (Uradni list RS, št. 30/18 in 54/21) izdaja tehnično specifikacijo

## **ZEMELJSKA DELA**

### **RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH**

#### **SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN PRI ZEMELJSKIH DELIH NA OSNOVI RAZVRŠČANJA**

**TSPI PG.05.202: 2023**

Ministrica za infrastrukturo

**mag. Alenka Bratušek**

Številka: 007-192/2021/28-02112049

V Ljubljani, 17. 11. 2023

## RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN

## Vsebina

<b>1</b>	<b>Predmet tehnične specifikacije .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Pomen izrazov in simboli .....</b>	<b>3</b>
2.1	Pomen izrazov .....	3
2.2	Kratice in simboli .....	6
<b>3</b>	<b>Smernice za presojo fizikalnih lastnosti zemljin na osnovi razvrščanja .....</b>	<b>8</b>
3.1	Opis .....	8
3.2	Ocena fizikalnih lastnosti zemljin na osnovi razvrščanja .....	9
3.2.1	Prostorninska teža zemljine ( $\gamma$ ) .....	9
3.2.1.1	Opis .....	9
3.2.1.2	Preiskave .....	9
3.2.2	Drenirana strižna trdnost ( $\varphi'$ , $c'$ ) .....	9
3.2.2.1	Opis .....	9
3.2.2.2	Preiskave .....	9
3.2.3	Koeficient prepustnosti za vodo ( $k$ ) .....	10
3.2.3.1	Opis .....	10
3.2.3.2	Preiskave .....	10
3.2.4	Vgradljivost .....	11
3.2.4.1	Opis .....	11
3.2.4.2	Preiskave .....	12
3.2.4.3	Posebnosti .....	13
3.2.5	Občutljivost na vremenske vplive (zmrzal) .....	13
3.2.5.1	Opis .....	13
3.2.5.2	Preiskave .....	14
3.2.6	Občutljivost na volumske spremembe - volumska stabilnost .....	14
3.2.6.1	Opis .....	14
3.2.6.2	Preiskave .....	15
<b>4</b>	<b>Smernice za presojo uporabnosti zemljin na osnovi razvrščanja .....</b>	<b>21</b>
4.1	Opis .....	21
4.2	Presoja uporabnosti .....	21
<b>5</b>	<b>Smernice za presojo primernosti zemljin za izboljšanje z vezivi .....</b>	<b>24</b>
5.1	Opis .....	24
5.2	Preiskave .....	25
<b>6</b>	<b>Smernice za presojo uporabnosti zemljin pri zemeljskih delih na osnovi kazalnikov stanja .....</b>	<b>26</b>
6.1	Kazalniki stanja .....	26
6.2	Presoja vgradljivosti na osnovi vlažnosti/parametrov stanja .....	27
6.2.1	Opis .....	27
6.2.2	Priporočila za presojo .....	27
<b>7</b>	<b>Smernice za presojo uporabnosti zdrobljenih kamnin s posebnimi lastnostmi .....</b>	<b>28</b>
7.1	Opis .....	28
7.2	Presoja uporabnosti zdrobljenih kamnin, ki izkazujejo posebna obnašanja .....	28

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

7.2.1	Mehke kamnine, ki ne vsebujejo mineralov glin in nestabilnih mineralov (npr. mehki apnenci in mehki tufi) .....	28
7.2.2	Visoko prekonsolidirane glinice in mehke kamnine, ki vsebujejo glino .....	29
7.2.3	Diatomejske zemlje.....	30
7.2.4	Kamnine, ki vsebujejo sulfate in sulfide.....	30
7.2.5	Magmatske in metamorfne kamnine .....	30
<b>8</b>	<b>Zaključne opombe .....</b>	<b>31</b>
8.1	Značaj TSPI – PG.05.201 in TSPI – PG.05.202 .....	31
8.2	Predhodni dokumenti .....	31
8.3	Postopki za preiskovanje, ki podpirajo načela razvrščanja in ocenjevanja uporabnosti zemljin v zemeljskih delih .....	31
<b>9</b>	<b>Reference .....</b>	<b>32</b>
<b>10</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>35</b>
<b>Dodatek 1.</b>	<b>Razvrščanje zemljin v skupine za zemeljska dela po načelih SIST EN 16907-2 ..</b>	<b>37</b>
D.1.1	Načela razvrščanja zemljin za zemeljska dela – opis in analiza posebnosti.....	37
D.1.2	Določitev skupin in vrst zemljin za zemeljska dela po SIST EN 16907-2.....	37
D.1.2.1	Opis .....	37
D.1.2.2	Razlaga posebnosti .....	40

## 1 Predmet tehnične specifikacije

Tehnična specifikacija TSPI – PG.05.202 je smernica za presojo uporabnosti zemljin za inženirske namene rabe pri zemeljskih delih na osnovi razvrščanja. Namenjena je vsem, ki so vključeni v izvajanje geološko geotehničnih preiskav, projektiranje, načrtovanje tehnologij gradnje in izvajanje zemeljskih del pri gradnji objektov cestne in železniške infrastrukture. Načela razvrščanja zemljin določa TSPI – PG.05.201.

TSPI – PG.05.201 je razdeljena na 5 poglavij in en dodatek z naslednjimi vsebinami:

- smernice za presojo fizikalnih lastnosti zemljin na osnovi razvrščanja
- smernice za presojo uporabnosti zemljin pri zemeljskih delih na osnovi razvrščanja
- smernice za presojo primernosti zemljin za izboljšanje z vezivi
- smernice za presojo uporabnosti zemljin pri zemeljskih delih na osnovi kazalnikov stanja
- smernice za prepoznavanje posebnosti pri načrtovanju rabe zdrobljenih kamnin pri zemeljskih delih
- Dodatek 1: merila za razvrščanje zemljin za zemeljska dela po SIST EN 16907-2 z razlago.

Podatki, navedeni v tej smernici, ne morejo biti uporabljeni kot nadomestilo za rezultate namenskih preiskav in tudi ne opravičujejo morebitnega zmanjševanja vsebine in obsega geotehničnih preiskav, kot jih določata SIST EN 1997-1 in SIST EN 1997-2.

## 2 Pomen izrazov in simboli

### 2.1 Pomen izrazov

V tej točki so razlage pojmov, ki so značilni za vsebino TSPI – PG.05.202. Splošni pojmi in enačbe, pomembne za razvrščanje, so zapisani v TSPI – PG.05.20.

**CBR preskus** (CBR test, CBR Versuch) je laboratorijski ali terenski preskus, pri katerem se meri silo, potrebno za vtisnjenje bata standardnega prereza z določeno hitrostjo v določeno globino zemljine in le-to primerja s silo, ki je v enakih pogojih potrebna za vtisnjenje bata v standardni material.

**Drenažna plast** (drainage layer, Dränschicht) je plast, zgrajena iz na preperevanje odpornih zrn, katere namen je zbiranje in odvajanje na zrna zemljin nevezane (proste) podzemne vode v tleh. Drenažna plast je lahko izvedena kot ploskovna drenažna plast, kot drenažni zasip jarkov, zasip za podpornimi zidovi ipd. Za učinkovito delovanje drenažne plasti mora biti zagotovljena filtrska stabilnost z zaledno zemljino.

**Geometrijske značilnosti zrn** (geometrical properties of particles, geometrische Eigenschaften der Gesteinskörnung) je skupno ime za kombinacijo lastnosti zrn, kot so zrnavostna sestava, oblika zrn, lastnosti finih zrn idr.

**Geotehnične lastnosti** (geotechnical properties, geotechnische Eigenschaften) so mehanske in fizikalne lastnosti, vključno s hidravličnimi lastnostmi, na osnovi katerih se ocenjuje uporabnost zemljin za zemeljska dela in na katerih temeljijo geotehnični izračuni ter kontrola kakovosti zemeljskih del.

**Globina zmrzovanja** (frost depth, Frosttiefe) je največja globina, do katere seže izoterma 0 °C v dolgotrajnem mrazu.

**Gostota ( $\rho$ )** (density, Dichte) je masa materiala, vključno s porami, votlinami ter na zrnih in v porah prisotno vodo, izražena na enoto volumna.

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

**Gostota zrn ( $\rho_s$ )** (particle density, Korndichte) je masa materiala, brez por in votlin, izražena na enoto volumna zrn. Je temeljna indeksna lastnost zemljine, potrebna za izračun poroznosti, količnika por in stopnje zasičenja. Je tudi kazalnik odstopanj v mineralni sestavi lokalnih geoloških materialov, npr. pri prepoznavanju sadre ali težkih mafičnih mineralov v zemljini.

**Izboljšanje zemljine** (soil improvement, Bodenverbesserung) je vsak postopek, namenjen izboljšanju vgradljivosti in lastnosti vgrajene zemljine, pri katerem je zemljini primešano vezivo ali druga zemljina.

**Izotopski merilnik** (nuclear gauge, Isotopensonde) je naprava za nedestruktivno merjenje gostote in vlage gradbenih materialov; v osnovi sestoji iz vira sevanja (gama žarki, hitri nevtroni) in detektorja.

**Kamnita posteljica** (mineral capping layer, verfestigter Unterbau) je vrhnja plast nasipa ali temeljnih tal, ki je sestavljena iz mehansko stabilizirane naravne, mešane ali drobljene zmesi kamnitih zrn.

**Karakteristična vrednost** (characteristic value, charakteristischer Wert) je za namene odločanja varno izbrana vrednost geotehničnega parametra, ki mora temeljiti na merjenih vrednostih iz laboratorijskih in terenskih preiskav in preteklih izkušnjah.

**Klimatski pogoji** (climatic conditions, klimatische Verhältnisse) so pogoji, ki jih opredeljujejo temperature zraka in padavine v določenem časovnem obdobju in na določenem kraju ali področju, skozi katero poteka prometnica.

**Koeficient prepustnosti ( $k$ )** (permeability coefficient, Durchlässigkeitskoeffizient) je mera za določanje hitrosti toka vode skozi zemljino z advekcijo.

**Kolaps** (collapse, Kollaps), glej strukturni kolaps.

**Maksimalna suha gostota ( $\rho_{dmax}$ )** (max. dry density, max. Trockenraumdicke) je največja suha gostota zgoščenega materiala, določena pri optimalni vlagi po Proctorjevem postopku.

**Metilen modro vrednost (MB)** (methylene blue value; Methylenblau-Wert) je mera za adsorpcijo organskega barvila metilen modro na površino mineralnih zrn (zrn zemljine). Obstaja več vrst preiskav metilen modro, ki se razlikujejo glede na velikost frakcij zemljine v preiskavi in ki dajejo različne rezultate.

**Merjena vrednost** (measured value, Versuchswert) je vrednost, izmerjena pri preskusu na terenu ali v laboratoriju.

**Nasip** (embankment, Damm) je vsak zemeljski objekt, zgrajen iz nasipnega materiala pod kontroliranimi pogoji nad površino naravnih tal.

**Nabrekalna deformacija** (swelling deformation, Quellenverformung) je deformacija zaradi navzemanja vode pri konstantnem totalnem tlaku. Podana je lahko kot linearna ali volumska deformacija.

**Nasipne cone** (embankment zones, Dammzonen) so posamezni deli nasipa, kot so jedro, bankine in zaključna plast.

**Nasipni material** (fill material, Baustoff für Dämme) je material, namenjen za gradnjo nasipov.

**Na zmrzovanje neobčutljiv material** (frost insensible material, frostunempfindliches Material) je material, v katerem zmrzujoča prosta voda ne povzroči pomembnejšega dviga niti odtajanje pomembnejšega zmanjšanja nosilnosti.

**Odpornost proti mrazu** (resistance to freezing, Frostbeständigkeit) je na osnovi preskusov z izmeničnim zmrzovanjem in odtajevanjem ocenjena obstojnost materiala.

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

**Optimalna vlaga ( $w_{opt}$ )** (optimum water content, optimaler Wassergehalt) je vlaga, pri kateri lahko po Proctorjevem postopku material najbolj zgotimo.

**Ozko zrnat gramoz, pesek** (narrowly graded gravel/sand, schalkörniger Kies/Sand) je v klasifikaciji zemljin za zemeljska dela krovno ime za gramoze in peske z manj kot 5 % finih zrn in ozkim razponom sestave zrn (frakcij). V to skupino se uvrščajo slabo zrnati in enovito zrnati gramozi in peski s koeficientom enakomernosti  $C_u < 6$ .

**Planum** (formation level, Planum) je površina z določenimi predpisanimi značilnostmi kakovosti glede višine, ravnosti, zgoščenosti itd.

**Posredna preiskava** (indirect test, indirekte Prüfung) je preiskava ali meritev, ki meri določeno fizikalno lastnost, rezultat meritve pa nato preko enačb ali kalibracije z drugo meritvijo prevede v rezultat z določitvijo neke druge fizikalne lastnosti. Značilen primer posredne meritve je meritev gostote in vlage z izotopsko sondo.

**Povozni plato** (rideable base, befahrbare Unterlage) je nasuta plast nevezane zmesi zrn, vgrajena na temeljna tla z namenom, da se omogoči transport in vsi ostali tehnološki postopki, potrebni za gradnjo nasipa ali zgornjega ustroja prometne infrastrukture.

**Prostorninska teža ( $\gamma$ )** (weight density - unit weight, Raumgewicht) je teža zemljine, izražena na enoto volumna, vključno z zrakom in vodo zapolnjenimi porami.

**Stabiliziranje** (stabilisation, Verfestigung) je postopek, pri katerem se z vmešavanjem veziva v obstoječ material spremenijo mehanske lastnosti osnovnega materiala in poveča odpornost proti klimatskim vplivom in vplivom delovanja površinskih in podzemnih voda.

**Strukturni kolaps** (structural collapse, struktureller Kollaps) je vertikalna linearna deformacija, ki nastopi pri hitri saturaciji nesaturirane zemljine v edometru.

**Suha gostota ( $\rho_d$ )** (dry density, Trockendichte) je masa v sušilniku sušenega materiala, izražena na enoto volumna materiala pred sušenjem. Temperaturo sušenja določajo relevantni standardi; prilagojena mora biti mineralni sestavi zemljine.

**Široko zrnat gramoz, pesek** (widely graded gravel/sand, breilkörniger Kies/Sand) je v klasifikaciji zemljin za zemeljska dela krovno ime za gramoze in peske z manj kot 5 % finih zrn in širokim razponom sestave zrn (frakcij). V to skupino se uvrščajo dobro zrnati, srednje zrnati in vrzelno zrnati gramozi in peski s koeficientom enakomernosti  $C_u \geq 6$ .

**Togost** (stiffness, Steifigkeit) je odpornost materiala (plasti) proti deformiranju.

**Vgradljivost** (willingness to compaction, Verdichtbarkeit) je sposobnost zemljine, razgrnjene v plast, da pri rabi mehanske energije zgoščanja s statičnimi in vibracijskimi valjarji pridobiva na suhi gostoti in togosti vgrajene plasti.

**Volumska stabilnost** (volume stability, Raumbeständigkeit) je lastnost zemljine, da pri spremembi vlage pri konstantni vertikalni normalni napetosti ne spreminja volumna.

**Zasip** (backfill, Verfüllung) je oznaka za vsak zemeljski objekt, oblikovan z zapolnitvijo praznih prostorov nad vkopanimi cevovodi, za oporniki in krilnimi zidovi objektov do planuma temeljnih tal ali nasipa. Klin je zasip, izveden nad planumom temeljnih tal; npr. zasip med krilnim zidom in nasipom.

**Zmrzovanje** (freeze, Frieren) je sklop fizikalnih pojavov, ki nastajajo v materialih, ko znaša temperatura manj kot 0 °C. Pri in situ zmrzovanju zmrzuje prosta voda, pri zmrzovanju z nastajanjem ledenih leč zmrzuje voda, ki se zaradi gradienta temperatur in sukcije giblje iz nezamrznjenega območja tal proti coni zmrzovanja.

## RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN

## 2.2 Kratice in simboli

Kratica	Enota	Pomen oznake
AC		AC klasifikacijski sistem, uveljavljen najprej v ZDA, kot Airfield Classification. Pogosto se opredeljuje tudi po začetnicah avtorja, Arthurja Casagrandeja
ASTM		Oznaka za ameriški standard. American Society for Testing and Materials
CBR		Kalifornijski indeks nosilnosti (California Bearing Ratio)
CEC		Kationska izmenjalna kapaciteta (Cation exchange capacity). V tej TSPI kratica ni neposredno uporabljena pri razlagah meril kakovosti. Razumevanje testa CEC je pomembno v posebnih primerih, saj je pomemben kazalnik lastnosti zlasti materialov za tesnilne plasti
CEN		Evropska komisija za standardizacijo (European Committee for Standardization)
CPT		Statični penetracijski test (Static cone penetrometer test)
EF		Elektrofiltrski pepel
ISO		Mednarodna organizacija za standardizacijo. International organisation for Standardisation
ISRM		Mednarodno združenje za mehaniko kamnin. International Society for Rock Mechanics
LA		Oznaka za preiskavo Los Angeles – testa drobljivosti (žilavosti) kamenega agregata
LCA		Analiza življenjskega cikla – (Life Cycle Assessment)
MB		Metilen modro test. Krovna oznaka – kratica za test adsorpcije z uporabo organskega barvila metilen modro (Methylene blue test)
SIST		Oznaka za slovenski standard. Slovenski inštitut za standardizacijo.
SPT		Standardni penetracijski test (Standard penetration test)
SWRC		Retencijska krivulja (Soil Water Retention Curve). Kratica za temeljno zvezo med vlago (stopnjo saturacije) in negativnim pornim tlakom (sukcijo) v zemljini
TSC		Tehnična specifikacija za ceste. Javno dostopna gradiva na spletni strani Direkcije za infrastrukturo Republike Slovenije
USCS		

## RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN

Simbol		Klasifikacija zemljin, izpeljana iz AC klasifikacije (Unified Soil Classification system)
		Materialni parameter
$c'$	(kPa)	kohezijski delež strižne odpornosti zemljine, izražen z efektivnimi napetostmi
$C_{LA}$		Los Angeles koeficient, izražen z merjeno vrednostjo
$C_U$	(-)	koeficient enakomernosti
CBR	(%)	kalifornijski indeks nosilnosti, podan kot krovna oznaka za različne postopke izvedbe preiskave
CBR1*	(%)	CBR, izmerjen na vzorcu, zgoščenem pri optimalni vlagi
CBR2**	(%)	CBR, izmerjen na vzorcu, zgoščenem pri optimalni vlagi, po 4 dneh namakanja v vodi
CBR3	(%)	CBR, izmerjen na vzorcu, zgoščenem pri optimalni vlagi, po izbranih ciklih zamrzovanja in tajanja
$CBR_{(w)}$	(%)	CBR, izmerjen na vzorcu, zgoščenem pri vlagi $w$
$D_n$	(mm)	velikost zrna, pri presejku »n« (vrednost »n« v %)
$D_{PR}$	(%; -)	stopnja zgoščenosti, razmerje med suho gostoto in maksimalno suho gostoto
IBI	(%)	takojsnji indeks nosilnosti. Izmerjen na vzorcu, zgoščenem pri aktualni vlagi
$k$	(m/s)	koeficient prepustnosti
$MB, MB_f$	(g/1000g)	metilen modro vrednost, določena po SIST EN 933-9 na različnih frakcijah, uporabljenih pri izvedbi testa
$V_{BS}$	(g/100g)	metilen modro test, merjen na fr. 0/5 mm po NF P 94-068
$w$	(%)	vlaga
$w_n$	(%)	začetna (naravna) vlaga
$w_A$	(%)	adsorpcija vode, določena po Enslin Neff postopku
$w_L$	(%)	meja židkosti
$w_{opt}$	(%)	optimalna vlaga, določena po Proctor postopku
Grške črke		
$\varepsilon$	(%, -)	deformacija, krovna oznaka za različne vrste merjenih deformacij



## RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN

$\rho_d$	(Mg/m <sup>3</sup> )	suha gostota
$\rho_{dmax}$	(Mg/m <sup>3</sup> )	maksimalna suha gostota, določena po postopku po Proctorju
$\rho_s$	(Mg/m <sup>3</sup> )	gostota zrn. Parameter se uporablja pri izračunih poroznosti in stopnje zasičenja
$\gamma$	(kN/m <sup>3</sup> )	prostorninska teža
$\gamma_d$	(kN/m <sup>3</sup> )	suha prostorninska teža
$\varphi'$	(°)	kot strižne odpornosti zemljine, izražen z efektivnimi napetostmi

\*,\*\* SIST EN 16907-1 uporablja simbole  $I_{CBR}$  za CBR indeks,  $I_{CBRI}$  za CBR indeks, merjen v zasičenem (potopljenem) stanju, IPI za merjeni CBR indeks v takojšnjem stanju (IBI) po NF P 94-078.

### 3 Smernice za presojo fizikalnih lastnosti zemljin na osnovi razvrščanja

#### 3.1 Opis

Zemljine, razvrščene v skupine s podobnimi indeksnimi kazalniki lastnosti po TSPI – PG.05.201, imajo podobne geotehnične lastnosti in se v zemeljskih objektih prometne infrastrukture na podoben način odzivajo na sezonsko pogojene spremembe vlage in temperature.

Na osnovi razvrščanja je moč presojati obnašanje zemljin oziroma njihove geotehnične lastnosti, kot so:

- prostorninska teža
- drenirana strižna trdnost
- vodoprepustnost
- vgradljivost
- CBR nosilnost v zgoščenem stanju ter s tem povezana togost plasti
- odpornost na vremenske vplive (deformacijski odzivi zemljine na vlaženje in sušenje; zamrzovanje in tajanje, dovzetnost za nastajanje ledenih leč)
- volumska stabilnost (odzivi zemljine na spremembe efektivnih normalnih napetosti, nabrekanje, krčenje, lezenje, strukturni kolaps) in druge.

Informativni razponi vrednosti izbranih parametrov in opisov za značilne vrste zemljin so podani v **preglednicah 3.2** in **3.3** ter v **opombah** k preglednicam.

Za določitev karakterističnih vrednosti geotehničnih lastnosti je treba opraviti terenske in laboratorijske preiskave. Nabor metod ter količina geotehničnih preiskav morata biti prilagojena vrsti in namenu rabe materiala v zemeljskem objektu, vrsti zemljine, fazi projekta, razpoložljivim tehnologijam za gradnjo ter okoljskim zahtevam. Zahteve za terenske in laboratorijske preiskave so podane v SIST EN 1997-2.

## 3.2 Ocena fizikalnih lastnosti zemljin na osnovi razvrščanja

### 3.2.1 Prostorninska teža zemljine ( $\gamma$ )

#### 3.2.1.1 Opis

Na prostorninsko težo zemljine v naravnem stanju vplivajo gostota in geometrijske značilnosti zrn, plastičnost in specifična površina drobnih zrn, organske primesi, velikost trenutnih in preteklih efektivnih napetosti (geoloških tlakov) ter stopnja zasičenja.

Na prostorninsko težo zemljine v zgoščenem stanju vplivajo gostota in geometrijske značilnosti zrn, plastičnost, stopnja zasičenja ter energija in tehnologija izvedbe zgoščanja.

V **preglednicah 3.2**, stolpec 5, zapisane vrednosti veljajo za v naravi najbolj pogoste normalno konsolidirane zemljine v raščenem stanju. Pri rabi podatkov je treba upoštevati opombe k preglednicama. Podatki so informativne narave. Za projektiranje je treba opraviti preiskave v obsegu in vsebini po SIST EN 1997-2.

#### 3.2.1.2 Preiskave

Za preiskave prostorninske teže zemljine v naravnem stanju so primerni neposredni postopki meritev po SIST EN 1997-2 ter TSC 06.712. Vrednosti, ocenjene iz SPT, CPT in drugih sondažnih preiskav, ter vrednosti, izmerjene s posrednimi metodami, npr. z izotopskim merilnikom, niso ustrezne za določanje karakterističnih vrednosti prostorninske teže zemljine v raščenem stanju.

Izotopski merilniki so v široki rabi pri izvajanju kontrole kakovosti zemeljskih del za namene ocenjevanja zgoščenosti ( $D_{PR}$ ), vendar morajo biti ustrezno kalibrirani, meritve pa omejene na materiale, primerne za njihovo rabo po TSC 06.711, ASTM D6938.

V zemeljskih delih je ob prostorninski teži v raščenem stanju in prostorninski teži v zgoščenem stanju pomembna tudi prostorninska teža v rahlo nasutem stanju. Pravilno razumevanje in določitev teh parametrov je pomembno pri izračunih masnih bilanc in načrtovanju (planiranju) del.

Raba t.i. izkustvenih »koeficientov raztrosov«, izkustvenih razmerij med prostorninskimi težami v nasutem in raščenem stanju materiala, v geotehničnih projektih ni primerna.

### 3.2.2 Drenirana strižna trdnost ( $\varphi'$ , $c'$ )

#### 3.2.2.1 Opis

Drenirana strižna trdnost je izražena z efektivnim strižnim kotom  $\varphi'$  in efektivno kohezijo  $c'$ . Empirično veljajo naslednji opisi:

- zelo visoka ( $\varphi' \geq 38^\circ$ ,  $c' = 0$ )
- visoka ( $\varphi' = 33^\circ - 38^\circ$ ,  $c' = 0$ )
- srednja ( $\varphi' = 26^\circ - 33^\circ$ ,  $c' = 0$ )
- nizka ( $\varphi' = 18^\circ - 26^\circ$ ,  $c' = 0 - 10$  (20) kPa)
- zelo nizka ( $\varphi' \leq 18^\circ$ ,  $c' = 0 - 5$  (10) kPa).

#### 3.2.2.2 Preiskave

Preiskave drenirane strižne trdnosti se izvajajo po standardih, kot jih navaja SIST EN 1997-2.

Standardnega penetracijskega preizkusa (SPT) ter različnih tipov dinamičnih penetracijskih preizkusov ni moč uporabljati za določanje karakterističnih vrednosti strižne trdnosti v zelo debelozrnatih, sestavljenih in drobnozrnatih vezljivih zemljinah.

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

V prekonsolidiranih zemljinah je za namene načrtovanja trajnih vkopov potrebno določiti strižno trdnost normalno konsolidirane zemljine. Prekonsolidirano zemljino je treba porušiti in pregnesti, jo navlažiti in homogenizirati do stanja polnega zasičenja, konsolidirati pri izbranih normalnih efektivnih napetostih in šele nato izvesti strižni preskus.

Pri načrtovanju varovanja začasnih vkopov je treba dimenzioniranje ukrepov začasnega varovanja utemeljiti na presoji podatkov nedrenirane in drenirane trdnosti, v povezavi s časom trajanja začasnega varovanja ter tveganji in posledicami, ki bi jih morebitna porušitev brežin začasnih vkopov predstavljala za varnost ljudi in imetja.

Pri načrtovanju nasipov je treba v drobnozrnatih zemljinah (glinah in meljih) ter v sestavljenih zemljinah, v katerih imajo fina zrna glineni značaj, raziskati, kako stopnja zgoščenosti pri polni zasičenosti vpliva na drenirano strižno trdnost. To je še zlasti pomembno pri nasipih višine nad 7 m.

### 3.2.3 Koeficient prepustnosti za vodo (k)

#### 3.2.3.1 Opis

Koeficient prepustnosti zemljine za vodo je odvisen od geometrijskih značilnosti zrn, plastičnosti in stopnje zgoščenosti. Koeficient prepustnosti v nezasičenih zemljinah je nižji od koeficienta prepustnosti v zasičenih zemljinah.

V geotehniki se praviloma »k« ocenjuje za tok vode z advekcijo v zasičeni (freatični) coni kot:

- zelo visok,  $k > 10^{-2}$  m/s
- visok,  $k$  od  $10^{-2}$  do  $10^{-5}$  m/s
- srednji,  $k$  od  $10^{-5}$  do  $10^{-7}$  m/s
- nizek,  $k$  od  $10^{-7}$  do  $10^{-9}$  m/s
- zelo nizek oz. zemljina je neprepustna za advekcijo,  $k < 10^{-9}$  m/s.

#### 3.2.3.2 Preiskave

Preiskave koeficientov prepustnosti se izvajajo po postopkih, navedenih v SIST EN 1997-2. Različni postopki preiskav dajejo različno veljavne in različno zanesljive podatke, odvisne od vrste preiskave.

Na projektih, kjer je »k« pomemben (odločujoč) parameter za projektiranje in zagotavljanje varnosti objekta med gradnjo in obratovanjem in so tla iz gramozov in peskov, imajo najvišjo veljavnost rezultati, pridobljeni s preizkusi v vrčinah na terenu, v drobnozrnatih zemljinah pa laboratorijske triosne preiskave na ustrezno velikih vzorcih, ne manjših od višine  $h = 80$  mm in premera  $d = 50$  mm.

Posredni postopki določanja »k« iz zrnastostne sestave niso primerni za določanje karakterističnih vrednosti za projektiranje. Izjema je postopek z uporabo Kozeny Carmanove enačbe, v katero je poleg parametrov zrnastosti vključena tudi poroznost. Vrednosti »k«, izračunane iz rezultatov preiskav konsolidacije v edometru ali triosnem aparatu, so veljavne, če je bil test izveden dosledno po navodilih standarda, upošteva posebnosti preiskovane zemljine.

Pri presoji učinkovitosti tesnilnih in zaščitnih plasti v vgrajenem stanju, pri presojah ponikovalnih sposobnosti temeljnih tal ter gibanja infiltrirane vode skozi nasipne plasti, se opravljajo kontrolni, t.i. infiltrometriški preskusi z uporabo infiltrmetrosov z dvojnimi in trojnimi obroči.

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

### 3.2.4 Vgradljivost

#### 3.2.4.1 Opis

Termin vgradljivost (tudi zgostljivost) označuje dovzetnost zemljine za zgoščanje, vključno s pričakovano togostjo ter volumsko stabilnostjo zgoščene plasti.

Pri presojevanju vgradljivosti je treba analizirati tri skupine lastnosti:

- indeksne lastnosti in s tem povezano razvrstitev zemljine
- parametre stanja zemljine
- lastnosti zemljine v vgrajenem (zgoščenem) stanju pri različnih pogojih mehanskih in vremenskih obremenitev.

Indeksne lastnosti kažejo razpone pričakovanih fizikalnih lastnosti zemljine po zgoščanju pri optimalni vlagi (npr. maksimalna suha gostota  $\rho_{dmax}$ , CBR1 indeks nosilnosti, togost ipd.).

Parametri stanja kažejo velikostni red odstopanj lastnosti zemljine, kot je npr. vlaga zemljine od optimalne vlage in s tem povezane vplive le-teh na tehnologijo gradnje ter pričakovane lastnosti plasti po vgradnji.

Na lastnostih zemljine v zgoščenem stanju se odražajo indeksne lastnosti, parametri stanja ter vplivi tehnologije zgoščanja. Napredne postopke meritev je treba uporabiti vselej, ko se z zemeljskimi deli posega v nova geološka okolja in/ali se načrtuje raba materialov, za katere ni primerljivih izkušenj.

Za mehansko zgoščanje z valjarji, po dosedanjih izkušnjah v Sloveniji, niso primerne zemljine in zdrobljene kamnine, pri katerih je:

- koeficient enakomernosti  $C_U \leq 8$ , ker je zaradi enovite zrnivosti porni prostor neustrezno zapolnjen, zato je struktura zrn v plasti tudi po zgoščanju nestabilna
- meja židkosti  $w_L \geq 65\%$ , ker je zaradi visoke plastičnosti, tudi po vgradnji, plast premalo toga in zelo občutljiva na sezonske vplive spreminjanja vlage in temperature
- zemljina organskega izvora (šote, gitje) oz. ko ima zemljina pri razvrščanju priponko »O«, npr. »CIMO«. Zaradi organskih primesi se zemljina med zgoščanjem bolj »plastificira« kot mineralna zemljina brez organskih primesi, zaradi biokemičnih procesov in razkroja organske snovi v zemljini pa je pričakovati deformacije plasti na dolgi rok
- suha gostota zemljine, zgoščene pri optimalni vlagi,  $\rho_d \leq 1,45 \text{ Mg/m}^3$  oz. v zaključnih plasteh nasipov ali v temeljnih tleh tik pod voziščno konstrukcijo,  $\rho_d \leq 1,65 \text{ Mg/m}^3$ . Ocenjuje se, da so zemljine z nizko suho gostoto in visoko poroznostjo preveč občutljive na spremembe vlage in stopnje zasičenja. Že majhna odstopanja vlage od optimalne povzročijo znatne deformacije in spremembe togosti plasti
- sukcijska pri optimalni vlagi zgoščene zemljine  $> 800 - 1500 \text{ kPa}$ . Zemljine z visoko vrojeno sukcijsko težijo k uravnoteženju sukcijske v geološkem okolju po vgradnji, posledica česar sta lahko ali strukturni kolaps ali nabrekanje, lahko pa se tudi nič ne zgodi.

TSC 06.100 za kamnite materiale za povozni plato in kamnito posteljico dopušča tudi zrnavost z min.  $C_U = 5$ , vendar za splošno rabo priporoča vrednost  $8 < C_U < 50$ .

PTP (1989) dopuščajo koeficient enakomernosti za kamnite materiale za nasipe, zasipe, kline in posteljico do globine zmrzovanja v neugodnih hidroloških pogoji tudi:

- če je  $C_U \geq 15$  do 5 % finih zrn
- če je  $C_U \leq 8$  do 15 % finih zrn

Dopolnila PTP iz leta 2001 dopuščajo tudi rabo zemljin s  $C_U \geq 6$ , vendar se pri rabi zemljin to določilo ni uveljavilo zaradi slabe vgradljivosti le teh.

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

Pri rabi zapisanih kriterijev je vselej potrebna pazljivost. Med materiali s kombinacijo kriterijev  $C_U \leq 8$  in do 15 % finih zrn so lahko v različnih kombinacijah zrnivosti tudi meljni in glinasti peski (clSa, siSa), ki pa za nekatere namene rabe, npr. za kamnito posteljico, niso primerni brez upoštevanja dodatnega merila glede kakovosti finih zrn in vsebnosti zrn  $> 2$  mm, vprašljiva pa je tudi vgradljivost v neugodnih hidrološko – hidrogeoloških pogojih. Taki primeri se lahko, npr., pojavijo v milonitih.

Ustreznost in možnosti ter pogoje rabe zemljin z zgoraj navedenimi lastnostmi in morebitnimi odstopanji je treba oceniti z namenski preiskavami ter na osnovi primerljivih izkušenj.

Glede na literaturne podatke in pretekle izkušnje se vgradljivost običajnih zemljin z rabo mehanskega zgoščanja z valjarji ocenjuje kot

- **zelo dobra:**  $\rho_d > 2,20$  Mg/m<sup>3</sup>,  $C_U$  med 15 in 40; CBR1 zgoščene zemljine  $> 25$  %,
- **dobra:**  $\rho_d$  od 1,85 Mg/m<sup>3</sup> do 2,20 Mg/m<sup>3</sup>,  $C_U > 12$ , CBR1 zgoščene zemljine 12 % – 25 %,
- **srednje dobra:**  $\rho_d$  od 1,65 Mg/m<sup>3</sup> do 1,85 Mg/m<sup>3</sup>, CBR1 zgoščene zemljine 6 % – 12 %. Med srednje dobro zgostljive zemljine sodijo tudi nekateri gramozji, npr. silikatni gramozji s ploščatimi in podolgovatimi zrni ter meljasti gramozji s sljudo. Ti sicer dosegajo visoko suho gostoto po zgoščanju (podani kriteriji suhe gostote in CBR1 ne veljajo), vendar pa je odpornost plasti na nastajanje kolesnic zaradi nizkega strižnega odpora stikov med zrni slaba,
- **sprejemljiva:**  $\rho_d$  od 1,45 Mg/m<sup>3</sup> do 1,65 Mg/m<sup>3</sup>, CBR1 zgoščene zemljine 3 % – 6 %, sukcija pri optimalni vlagi  $\leq 800$  kPa in kot
- **neustrezna za mehansko zgoščanje:** zemljine ni moč zgostiti do vrednosti  $\rho_d \geq 1,45$  Mg/m<sup>3</sup>, CBR1  $< 3$  % – 6 %, sukcija pri optimalni vlagi  $> 800 - 1500$  kPa.

### 3.2.4.2 Preiskave

Preiskave vgradljivosti morajo obsegati določitev vseh tistih parametrov, ki so relevantni za oceno vgradljivosti določene vrste zemljine. Obseg in vsebino preiskav je treba prilagajati vrsti, količini in homogenosti izkopnih materialov, zahtevam objektov – namenskih porabnikov, dosegljivosti materialov iz stranskih odvzemov in dosegljivosti lokacij za trajno odlaganje viškov materialov iz izkopov, tehnologiji vgrajevanja ter okoljskim zahtevam.

Preiskave vgradljivosti se izvajajo v laboratoriju in na poskusnih poljih. Poskusna polja se praviloma izvedejo na terenu vedno pred začetkom gradnje in v posebnih primerih tudi v fazi projektiranja. Posebni primeri so v obravnavi vsebine te točke primeri, ko so za gradnjo na voljo velike količine materialov, za katere ni primerljivih izkušenj in za katere bi strokovno neustrezno podprta odločitev v fazi projektiranja predstavljala tveganje podražitev in zastojev med gradnjo (**glej opombo 1**).

Pri presojevanju vgradljivosti imajo pretekle izkušnje enako ali večjo težo kot aktualne laboratorijske preiskave na omejenem številu vzorcev.

Primeri:

- Za presojo rabe in vgradljivosti običajnih debelozrnatih in kompozitnih zemljin z npr.  $C_U > 12$  v nasipe, zadoščajo določitve indeksnih kazalnikov lastnosti ter Proctorjev preizkus. V primeru, ko je v debelozrnatih zemljini npr.  $C_U < (8 - 10)$ , pa je treba s preiskavami preveriti tudi »stabilnost« zgoščene vzorca, npr. s preiskavami CBR1, CBR2, dinamičnega deformacijskega modula, odpornosti na nastajanje kolesnic ipd. Napredne preiskave so potrebne v primerih rabe velikih količin debelozrnatih in kompozitnih zemljin slabe zrnivosti v nizkih nasipih ali v zaključnih plasteh nasipov pod s težkim prometom obremenjenimi vozišči (**glej opombo 2**).

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

- Za presojo vgradljivosti npr. visoko plastičnih glin, slabo zrnatih meljev ipd. je treba preiskave indeksnih lastnosti ter zgoštljivosti po Proctorju nadgraditi s preiskavami deformabilnosti in volumnske stabilnosti v edometru ali s CBR preiskavo (CBR1, CBR2, CBR3). Pomembni dodatni kazalniki vgradljivosti in volumnske stabilnosti so retencijska krivulja oz. sukcija, izmerjena na zgoščenih vzorcih pri različnih vlagah, MB test, Enslin Neff test adsorpcije in drugi. Dodatna pozornost je potrebna pri načrtovanju gradnje nasipov iz glin, višine > 7 m, zlasti z vidika presoje deformacij zaradi sekundarne konsolidacije (viskoznege lezenja).
- Pri neplastičnih in nizko plastičnih meljih in slabo zrnatih peskih je priporočljivo v program preiskav vgradljivosti vključiti preiskave za določitev strukturnega kolapsa.

### 3.2.4.3 Posebnosti

SIST EN standardi za preiskovanje zemljin iz družine SIST EN ISO 17892 ne vključujejo postopkov za izvedbo preiskav po Proctorjevem postopku, CBR, MB in drugih naprednih preiskav za presojo vgradljivosti. V tem primeru se smiselno uporabljajo postopki za preiskave zmesi kamnitih zrn oz. kamenega agregata (SIST EN 13286-2 in SIST EN 13286-3, SIST EN 13286-47 itd.) oz. druge, v izbranem okolju uveljavljene preiskave, kot jih priporoča tudi SIST EN 1997-2 (**glej tudi opombo 2**).

Priporočljivo je, da se merjene vrednosti geotehničnih parametrov vgradljivosti, zlasti tiste, pridobljene med gradnjo, vnašajo v nacionalno bazo podatkov.

Opomba 1: Kako velik je pomen izvedbe poskusnih polj v fazi projektiranja so pokazala poskusna polja za gradnjo nasipov na HE Brežice. Zemljine tipa GrM-siGr so pri vsebnosti ca 10 % finih zrn izkazovala obnašanje meljne gline s koeficienti prepustnosti  $k < 10^{-7}$  m/s in so bile pri razmerju vlage in optimalne vlage ( $W_n/W_{opt}$ ) > 1,1 nevgadljive; aluvialni melji so se pokazali za mehansko nevgadljive glede na zahteve odpornosti na likvifikacijo (Petkovšek et al, 2016 in Vukadin, 2013).

Opomba 2: SIST EN 13286-47 in SIST EN 16907-1 ne poznata oznak CBR1, CBR2, CBR3. V tradiciji rabe pri zemeljskih delih v Sloveniji so se uveljavile naslednje oznake: CBR1: meritev je izvedena na vzorcu, zgoščenem pri optimalni vlagi; CBR2: meritev je izvedena na vzorcu, zgoščenem pri optimalni vlagi in po 4 dnevem namakanju v vodi; CBR3: meritev je izvedena na vzorcu, zgoščenem pri optimalni vlagi in po izbranih ciklih zamrzovanja in tajanja (pogoji zamrzovanja izbrani po presoji za specifični projekt). Meritev CBR2 v povezavi s CBR1 je hkrati tudi dober kazalnik volumnske stabilnosti, zlasti v sestavljenih zemljinah, na katerih edometriškega testa v edometrih običajnih dimenzij ni moč izvesti. Glej tudi preglednico 3.1 in tč. 3.2.5 in 3.2.6.

### 3.2.5 Občutljivost na vremenske vplive (zmrzal)

#### 3.2.5.1 Opis

Zemljine, vgrajene v zemeljske objekte prometne infrastrukture, se odzivajo na trajne in sezonsko pogojene spremembe vlage in temperature z nabrekanjem in krčenjem, spremembami togosti, zmrzlinjskimi dvizki zaradi in-situ zmrzovanja porne vode in zamrzovanja z nastajanjem ledenih leč in drugimi.

Pod skupnim imenom »vremenski vpliv« se razumevajo vplivi močenja in sušenja ter vplivi zmrzovanja in tajanja na spremembe lastnosti zemljine v vgrajeni plasti. V preteklosti je bil večji poudarek namenjen preiskavam in presoji občutljivosti zemljin na zmrzal. Kontinuirane meritve vlage in temperature v plasteh utrditev vozišč v povezavi z meritvami podajnosti vozišč kažejo, da so znatne spremembe vlage in sukcije v zemljinah prisotne tudi v razmerah, ko temperature ne padejo pod ledišče. Škodljive spremembe plitvo pod voziščnimi konstrukcijami nastajajo zlasti prva leta po vgradnji presuhih vezljivih zemljin, na večjih globinah v višjih nasipih pa tudi več let po izgradnji.

TSC 06.512 ocenjuje občutljivost zemljine na zmrzovanje po **preglednici 3.1**.

## RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN

Preglednica 3.1: Razvrstitev materialov na osnovi občutljivosti na zmrzovanje po TSC 06.512.

Razred	Občutljivost	Vsebnost finih zrn (%)	USCS razvrstitev	<sup>1</sup> TSPI – 05.201 razvrstitev	<sup>2</sup> CBR3 (%)
F 1	neobčutljiv	< 5	GW, GP, SW, SP	GrW, GrM, GrG, GrP <sup>4</sup> , GrU <sup>4</sup> SaW, SaM, SaG, SaP <sup>4</sup> , SaU <sup>4</sup>	> 30
F 2	malo do srednje občutljiv	5 – 15	GC <sup>3</sup> , GM <sup>3</sup> , SC <sup>3</sup> , SM <sup>3</sup> , CL, CH	clGr <sup>3</sup> , siGr <sup>3</sup> , clSa <sup>3</sup> , siSa <sup>3</sup> , CIL, CIM, CIH	8 – 30
F 3	zelo občutljiv	> 15	ML, MH, CL–ML	SiL, SiM, SiH, SiL–CIL	< 8

<sup>1</sup> dodana razvrstitev po tej TSPI glede na nova načela razvrščanja

<sup>2</sup> preiskava CBR izvedena po zamrzovanju in odtajanju zgoščenega vzorca

<sup>3</sup> možna je tudi razvrstitev v skupino F 1, pri upoštevanju kombinacije parametrov C<sub>u</sub> – vsebnost finih zrn, po diagramu v TSC 06.512

<sup>4</sup> zemljini nista vgradljivi zaradi enovite zrnivosti in sta primerni samo za drenažne zasipe.

Glede na primerljive izkušnje in podatke naprednih metod se po indeksnih kazalnikih lastnosti zemljine v tej TSPI razvrstijo glede na občutljivost na vremenske vplive:

- **ni, neznaten vpliv:** gramozni in peski z vsebnostjo finih zrn < 5 %, ali zemljine z vsebnostjo finih zrn med 5 % in 8 %, debela zrna so iz obstojnih mineralov, fina zrna pa imajo značaj nizko plastične gline ali melja, z adsorpcijo po Enslin Neff  $w_A < 50$  % in mejo židkosti,  $w_L < 35$  %
- **majhen do srednji:** zemljine z vsebnostjo finih zrn med 8 % in 12 %, debela zrna so iz obstojnih mineralov, fina zrna pa imajo značaj nizko plastične gline ali melja
- **srednji do velik:** zemljine z vsebnostjo finih zrn med 12 % in 50 %, fina zrna imajo značaj srednje do visoko plastične gline (ali melja v zemljinah z do 35 % finih zrn)
- **zelo velik:** neplastični, nizko, srednje in visoko plastični melji ter sestavljene zemljine, v katerih so fina zrna iz nizko plastičnega melja in je delež finih zrn > 35 %; zelo visoko plastične gline,  $w_L > 70$  %, Enslin Neff  $w_A > 85$  %; vmesne zemljine, v katerih so fina zrna iz zelo visoko plastične gline.

Organske/humusne snovi, prisotne v zemljini, velika nihanja gladine podzemne vode, izpostavljenost zemljine na brežinah, obrnjenih proti jugu in zahodu, velika nadmorska višina ipd. povečujejo ranljivost zemljine za vremenske vplive.

### 3.2.5.2 Preiskave

Glej točko 3.2.6.2

## 3.2.6 Občutljivost na volumske spremembe - volumska stabilnost

### 3.2.6.1 Opis

Termin občutljivost na volumske spremembe – volumska stabilnost – v tej točki opisuje volumske spremembe zaradi trajnih ali sezonskih vplivov spreminjanja vlage in temperature, lezenja in tiksotropnega lezenja vgrajenih plasti ter/ali kot enkratni dogodek, npr. pri nenadnem zasičenju predhodno nezasičene plasti (strukturni kolaps).

Deformabilnost/posedki temeljnih tal zaradi konsolidacije oz. dvižki plasti zaradi zmanjšanja totalnih napetosti (relaksacije po razbremenitvi z izkopom) ne sodijo med vsebine obravnave te točke.

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

Volumska stabilnost je ocenjena kot občutljivost/dovzetnost zemljine za volumske spremembe po enkratnem dogodku ali po zaporednih ciklih močenja in sušenja oz. zamrzovanja in tajanja kot

- **ni, neznatna:** sprememba volumna < 0,5 vol. %
- **srednja:** sprememba volumna med 0,5 – 2 vol. %
- **visoka:** sprememba volumna med 2 % – 4 vol. %
- **zelo visoka:** sprememba volumna > 4 vol. %.

### 3.2.6.2 Preiskave

Za določitev volumske stabilnosti drobnozrnatih zemljin je primeren edometrski preizkus, za debelozrnate in kompozitne zemljine pa CBR preizkus po SIST EN 1997–2 in SIST EN 13286–47. Edometrski preizkus po SIST EN ISO /TS 17892-5:2004 ne podaja načel za enotno izvajanje preiskav volumske stabilnosti. Ta so podana v ASTM D 4546 in opisana v različnih priročnikih ter strokovnih člankih (npr. Petkovšek et al, 2010).

Pri ocenjevanju volumske stabilnosti zemljin, ki so ocenjene kot zelo občutljive za vremenske vplive, je raba izkušenj ter prilagoditev rabe standardnih postopkov preiskav na pričakovane pogoje sprememb v geološkem okolju nujno potrebna.

Nekatere zemljine so po kriterijih v tč. 3.2.6.1 lahko ocenjene kot volumsko stabilne, vendar pa že majhne spremembe vlage povzročijo veliko zmanjšanje togosti in celo tečenje plasti. Med takšne zemljine se uvrščajo slabo zrnati drobni peski, neplastični in nizko plastični melji, drobni meljasti peski ter nekatere sestavljene zemljine. V takih primerih se presoja volumske stabilnosti lahko utemelji z merjenjem CBR vrednosti in primerjavami vrednosti CBR2/CBR1 in CBR3/CBR1. **Glej tudi opombo 2 v tč. 3.2.4.3.**



## RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN

**Preglednica 3.2a:** Informativni razponi vrednosti fizikalnih parametrov za značilne vrste debelozrnatih zemljin.

Podatki iz preglednice ne nadomeščajo ali opravičujejo opustitve geotehničnih preiskav po zahtevah SIST EN 1997-2

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Skupina	Delež zrn $\leq$ 0,063 mm	Vrsta zemljine	Simbol	Prostorninska teža	Strižna trdnost		Prepustnost
1					$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\varphi'$ (°)	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	k (m/s)
2					Op. <sup>1,2,3</sup>	Op. <sup>3,4,5</sup>	Op. <sup>3,4,5</sup>	Op. <sup>3</sup>
3	»Čisti« gramozi	$\leq 5\%$	dobro zrnat gramoz	<b>GrW</b>	21 – 24	38 – 42	0	$5 \times 10^{-2}$ do $5 \times 10^{-4}$
4			srednje zrnat gramoz	<b>GrM</b>	21 – 24	38 – 42	0	$5 \times 10^{-2}$ do $5 \times 10^{-4}$
5			vrzelno zrnat gramoz	<b>GrG</b>	20 – 22	36 – 40	0	$5 \times 10^{-2}$ do $5 \times 10^{-4}$
6			slabo zrnat gramoz	<b>GrP</b>	20 – 22	36 – 40	0	$5 \times 10^{-2}$ do $1 \times 10^{-3}$
7			enovito zrnat gramoz	<b>GrU</b>	19 – 22	34 – 38	0	$5 \times 10^{-2}$ do $1 \times 10^{-3}$
8	Kompozitni gramozi	5 % do 12 %	meljast gramoz	<b>siGr*</b>	21 – 24	34 – 38	0	$5 \times 10^{-5}$ do $1 \times 10^{-6}$
9			glinast gramoz	<b>clGr*</b>	21 – 23	32 – 36	0 – 5	$5 \times 10^{-5}$ do $1 \times 10^{-7}$
10	<sup>10</sup> Sestavljene gramozne zemljine	12 % do 50 %	meljast gramoz	<b>siGr</b>	20 – 23	34 – 38	0	$5 \times 10^{-6}$ do $5 \times 10^{-8}$
11			glinast gramoz	<b>clGr</b>	20 – 23	30 – 34	0 – 10 (20)	$5 \times 10^{-6}$ do $5 \times 10^{-9}$
12	»Čisti« peski	$\leq 5\%$	dobro zrnat pesek	<b>SaW</b>	19 – 21	36 – 40	0	$5 \times 10^{-4}$ do $5 \times 10^{-5}$
13			srednje zrnat pesek	<b>SaM</b>	19 – 21	36 – 38	0	$5 \times 10^{-4}$ do $5 \times 10^{-5}$
14			vrzelno zrnat pesek	<b>SaG</b>	19 – 21	36 – 38	0	$5 \times 10^{-4}$ do $5 \times 10^{-5}$
15			slabo zrnat pesek	<b>SaP</b>	19 – 21	34 – 36	0	$5 \times 10^{-3}$ do $1 \times 10^{-4}$
16			enovito zrnat pesek	<b>SaU</b>	19 – 21	33 – 36	0	$5 \times 10^{-3}$ do $1 \times 10^{-4}$
17	Kompozitni peski	5 % do 12 %	meljast pesek	<b>siSa*</b>	21 – 23	34 – 38	0	$5 \times 10^{-5}$ do $1 \times 10^{-6}$
18			glinast pesek	<b>clSa*</b>	21 – 23	32 – 36	0 – 5	$5 \times 10^{-5}$ do $1 \times 10^{-7}$
19	<sup>10</sup> Sestavljene peščene zemljine	12 % do 50 %	meljast pesek	<b>siSa</b>	20 – 23	34 – 38	0	$1 \times 10^{-6}$ do $1 \times 10^{-8}$
20			glinast pesek	<b>clSa</b>	20 – 23	30 – 34	0 – 10 (20)	$1 \times 10^{-6}$ do $1 \times 10^{-9}$

## RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN

**Preglednica 3.2b:** Informativni razponi vrednosti fizikalnih parametrov za značilne vrste drobnozrnatih zemljin.

Podatki iz preglednice ne nadomeščajo ali opravičujejo opustitve geotehničnih preiskav po zahtevah SIST EN 1997-2

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Glavna skupina	Skupina	Vrsta zemljine	Simbol	Prostorninska teža	Strižna trdnost		Prepustnost
					$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	k (m/s)
					Op. <sup>1,2,3</sup>	Op. <sup>3,4,5</sup>	Op. <sup>3,4,5</sup>	Op. <sup>3</sup>
1	drobno zrnate zemljine	melji	nizko plastičen melj	<b>SiL</b>	19 – 21	28 – 33	0 – 5	10 <sup>-6</sup> do 5 x 10 <sup>-9</sup>
2			srednje plastičen melj	<b>SiM</b>	18 – 21	26 – 30	0 – 10	10 <sup>-6</sup> do 5 x 10 <sup>-9</sup>
3			visoko plastičen melj	<b>SiH</b>	15 – 17	23 – 27	0 – 10	5 x 10 <sup>-8</sup> do 10 <sup>-10</sup>
4			zelo visoko plastičen melj	<b>SiV</b>	14 – 16	22 – 26	0 – 10	10 <sup>-8</sup> do 10 <sup>-10</sup>
5		glina	nizko plastična glina	<b>CiL</b>	20 – 22	24 – 28	0 – 5	5 x 10 <sup>-8</sup> do 5 x 10 <sup>-10</sup>
6			srednje plastična glina	<b>CiM</b>	19 – 21	22 – 26	0 – 10	10 <sup>-8</sup> do 10 <sup>-10</sup>
7			visoko plastična glina	<b>CiH</b>	18 – 20	18 – 22	0 – 10	10 <sup>-8</sup> do 10 <sup>-10</sup>
8			zelo visoko plastična glina	<b>CiV</b>	17 – 20	16 – 22	0 – 10	10 <sup>-8</sup> do 10 <sup>-10</sup>
9		meljna glina	meljna glina nizke plastičnosti	<b>CiL-SiL</b>	20 – 22	26 – 30	0 – 2	10 <sup>-7</sup> do 10 <sup>-9</sup>
10	mineralne organske zemljine	melji in gline z organskimi primesmi	nizko plastična organska zemljina (melj ali glina)	<b>CiLO SiLO</b>	16 – 18	20 – 28	0 – 5	10 <sup>-7</sup> do 10 <sup>-9</sup>
11			srednje plastična organska zemljina (melj ali glina)	<b>CiMO SiMO</b>	15 – 18	18 – 26	0 – 10 (20)	10 <sup>-7</sup> do 10 <sup>-9</sup>
12			visoko plastična organska zemljina (melj ali glina)	<b>CiHO SiHO</b>	14 – 16	15 – 25	0 – 10 (20)	10 <sup>-7</sup> do 10 <sup>-10</sup>
13			zelo visoko plastična organska zemljina (melj ali glina)	<b>CiVO SiVO</b>	13 – 16	14 – 25	0 – 10 (20)	10 <sup>-7</sup> do 10 <sup>-9</sup>
14	šota in šoti podobne zemljine			<b>Pt</b>	8 – 13			

## RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN

**Preglednica 3.3a:** Informativni razponi vrednosti parametrov za ocenitev vgradljivosti in volumnske stabilnosti debelozrnatih zemljin.

Podatki iz preglednice ne nadomeščajo ali opravičujejo opustitve geotehničnih preiskav po zahtevah SIST EN 1997-2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Skupina	Delež zrn $\leq 0,063$ mm	Vrsta zemljine	Simbol	Vgradljivost	Vremenski in zmrzlinški vpliv	Dovzetnost za volumnske spremembe	Maksimalna suha gostota $\rho_{dmax}$ (kg/m <sup>3</sup> )	CBR1 (%)
					Op. <sup>6,7</sup>	Op. <sup>8</sup>	Op. <sup>8</sup>	Op. <sup>1,2,3,6,7</sup>	Op. <sup>3,9</sup>
1	»Čisti« gramoz	$\leq 5\%$	dobro zrnat gramoz	<b>GrW</b>	zelo dobra	neznatn	ni, neznatna	2200 – 2350	> 40
2			srednje zrnat gramoz	<b>GrM</b>	zelo dobra	neznatn	ni, neznatna	2100 – 2300	> 40
3			vrzelno zrnat gramoz	<b>GrG</b>	dobra	neznatn	ni, neznatna	2100 – 2250	20 – 40
4			slabo zrnat gramoz	<b>GrP</b>	neprimerna	ni	ni, neznatna		
5			enovito zrnat gramoz	<b>GrU</b>	neprimerna	ni	ni		
6	Kompozitni gramoz	5 % do 12 %	meljast gramoz	<b>siGr*</b>	zelo dobra	neznatn do srednji	neznatna do srednja	2200 – 2300	> 40
7			glinast gramoz	<b>clGr*</b>	dobra	srednji	srednja	2100 – 2300	20 – 40
8	<sup>10</sup> Sestavljene gramozne zemljine	12 % do 50 %	meljast gramoz	<b>siGr</b>	dobra do sprejemljiva	srednji do velik	srednja	1900 – 2100	< 20
9			glinast gramoz	<b>clGr</b>	dobra do sprejemljiva	srednji do velik	srednja do visoka	1800 – 2100	< 20
10	»Čisti« peski	$\leq 5\%$	dobro zrnat pesek	<b>SaW</b>	dobra	neznatn	neznatna	1850 – 2100	20 – 40
11			srednje zrnat pesek	<b>SaM</b>	dobra	neznatn	neznatna	1800 – 2050	20 – 40
12			vrzelno zrnat pesek	<b>SaG</b>	srednja do sprejemljiva	neznatn	srednja	1700 – 1950	10 – 20
13			slabo zrnat pesek	<b>SaP</b>	neprimerna	neznatn	visoka		
14			enovito zrnat pesek	<b>SaU</b>	neprimerna	neznatn	srednja do visoka		
15	Kompozitni peski	5 % do 12 %	meljast pesek	<b>siSa*</b>	sprejemljiva do srednja	srednji do velik	srednja do visoka	1750 – 2000	15 – 30
16			glinast pesek	<b>clSa*</b>	srednja	srednji do velik	srednja do visoka	1650 – 1850	10 – 20
17	<sup>10</sup> Sestavljene peščene zemljine	12 % do 50 %	meljast pesek	<b>siSa</b>	sprejemljiva do srednja	velik	srednja do visoka	1550 – 1700	10 – 20
18			glinast pesek	<b>clSa</b>	srednja	srednji do velik	srednja do visoka	1600 – 1800	10 – 20

## RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN

**Preglednica 3.3b:** Informativni razponi vrednosti parametrov za ocenitev vgradljivosti in volumnske stabilnosti drobnozrnatih zemljin.

Podatki iz preglednice ne nadomeščajo ali opravičujejo opustitve geotehničnih preiskav po zahtevah SIST EN 1997-2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Glavna skupina	Skupina	Vrsta zemljine	Simbol	Vgradljivost	Vremenski in zmrzlinjski vpliv	Dovzetnost za volumnske spremembe	Maksimalna suha gostota $\rho_{dmax}$ (kg/m <sup>3</sup> )	CBR1 (%)
					Op. <sup>6,7</sup>	Op. <sup>8</sup>	Op. <sup>8</sup>	Op. <sup>1,2,3,6,7</sup>	Op. <sup>3,9</sup>
1	Drobnozrnat zemljine	melji	nizko plastičen melj	<b>SiL</b>	sprejemljiva	zelo velik	srednja (kolaps!)	1450 – 1800	< 15
2			srednje plastičen melj	<b>SiM</b>	sprejemljiva	zelo velik	srednja	1450 – 1800	< 15
3			visoko plastičen melj	<b>SiH</b>	neustrezna do sprejemljiva	zelo velik	srednja do visoka	1350 – 1700	< 10
4			zelo visoko plastičen melj	<b>SiV</b>	neustrezna	zelo velik	srednja		< 10
5		gline	nizko plastična glina	<b>CiL</b>	srednja	srednji	nizka do srednja	1650 – 1850	< 10
6			srednje plastična glina	<b>CiM</b>	srednja	srednji	srednja	1450 – 1800	< 10
7			visoko plastična glina	<b>CiH</b>	sprejemljiva do neustrezna	velik	visoka do zelo visoka	1450 – 1600	< 3 – 5
8			zelo visoko plastična glina	<b>CiV</b>	neustrezna	velik do zelo velik	zelo visoka	< 1450	< 3
9		meljna glina	meljna glina nizke plastičnosti	<b>CiL-SiL</b>	srednja do sprejemljiva	velik do zelo velik	srednja do visoka	1650 – 1850	< 10

**Opombe k preglednicam 3.2a, 3.2b; 3.3a in 3.3b**

<sup>1</sup> Zemljine/zdrobljene kamnine magmatskega mafičnega izvora, zemljine, bogate s težkimi minerali, ter nekateri alternativni materiali, npr. metalurške žlindre, imajo zaradi visoke gostote zrn večje razpone vrednosti prostorninske teže v naravnem stanju in max. suhe gostote po zgoščanju.

<sup>2</sup> Zemljine vulkanskega izvora, npr. andezitni tufi, vulkanski pepeli, materiali iz alternativnih virov, npr. kemične sadre in elektrofiltrski pepeli, nekatere naravne zemljine, npr. kraške gline (terra rosa) in diatomske zemlje, imajo zaradi nizke gostote zrn in specifične strukture manjše razpone vrednosti prostorninske teže v naravnem stanju in max. suhe gostote po zgoščanju.

<sup>3</sup> Geometrijske značilnosti zrn ter stopnja zgoščenosti zelo vplivajo na merjene vrednosti geotehničnih parametrov.

<sup>4</sup> Strižni kot  $\varphi'$  v debelo-zrnatih zemljinah/zmesah kamnitih zrn oz. kamenih agregatih je odvisen od geometrije zrn ter od stopnje zgoščenosti. Žmavc (1997) navaja naslednje empirične relacije za ocenitev prispevka geometrijskih značilnosti zrn k trdnosti nevezanih plasti:

$\varphi_1$  – oblika in hrapavost zrn: ostroroba +1°, srednja 0, zaobljena -3°, okrogla -6°

$\varphi_2$  – sestava zmesi zrn: enakomerna -3°, srednja 0, dobra +6°

$\varphi_3$  – zgoščenost: rahla -6°, srednja 0, gosta +6°

$\varphi_4$  – velikost zrn: pesek -0°, peščen prod +1°, prod +2°

$\varphi_k = 36^\circ + \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4$

<sup>5</sup> Kohezija ( $c'$ ) je nezanesljiv kazalnik strižne trdnosti, odvisen od vlage in sukcije. Pri rabi parametra je zato potrebna kritična presoja in razlikovanje med trdnostjo prekonsolidirane zemljine v naravnem stanju (npr. pod bodočimi

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

temelji) in pričakovano trdnostjo zemljine zaradi sprememb totalnih napetosti in sukcije med in po zaključku zemeljskih del, zlasti v vkopih.

<sup>6</sup> Ocene se nanašajo na običajne zemljine in na zgoščanje z valjarji. Ne veljajo za globinske tehnologije zgoščanja s težkim padajočim bremenom (angl. »heavy tamping«) oz. za impulzno (udarno) zgoščanje. Nekatere zemljine, kot so npr. kraške gline, diatomejske zemlje, alternativni materiali, npr. EF pepeli, imajo zaradi specifične mineralne sestave, interne poroznosti in gostote zrn drugačne referenčne suhe gostote kot običajne zemljine. Na kraški glini je npr. referenčna max. suha gostota celo  $< 0,90 - 1,0 \text{ Mg/m}^3$ , na nekaterih EF pepelih celo  $< 0,70 \text{ Mg/m}^3$ .

<sup>7</sup> Nekatere zemljine, npr. dobro zrnati in peščeni karbonatni gramozji (npr. GrW; GrM; kompozitni gramozji, npr. GrW - siGr) primerne vlažnosti, lahko dosežejo visoko stopnjo zgoščenosti in togosti plasti že po dveh ali treh prehodih vibracijskega valjarja. Nasprotno pa so za zgoščanje npr. silikatnih meljastih gramozov (siGr), slabo zrnatih in vrzelno zrnatih gramozov (npr. GrG), sestavljenih zemljin z visoko plastičnimi finimi zrni (npr. clGr) ter neplastičnih ali plastičnih drobnozrnatih zemljin (npr. SiL, ClH) potrebni prilagojeni postopki z rabo statičnih in vibracijskih valjarjev z gladko in strukturirano (ježi) bandažo ter mirovanjem po zgoščanju.

<sup>8</sup> Občutljivost na vremenske vplive oz. zmrzal in dovzetnost za merljive volumnske spremembe nista vedno v neposredni povezavi. Nizko plastični melji npr. ob zasičenju izgubijo togost, čeprav volumnske spremembe niso velike. V takih primerih se oceno utemelji na drugih kazalnikih, npr. razmerju CBR<sub>2</sub>/CBR<sub>1</sub>. Dvižki plasti zaradi tvorjenja ledenih leč so odvisni od pogojev v okolju v času zmrzovanja, zlasti od kapilarnega toka iz smeri podzemne vode zaradi gradientov temperature in sukcije ter časa trajanja nizkih temperatur. Velikosti zmrzlinjskih dvižkov ni moč opredeliti v okvirjih absolutnih vrednosti oz. se nanje navezati podobno kot na volumnske spremembe zaradi nabrekanja/krčenja.

<sup>9</sup> Meritve CBR so primarno namenjene dimenzioniranju voziščne konstrukcije. V zemeljskih delih so CBR vrednosti predvsem kazalniki odzivov zemljine na vremenske vplive oz. volumnsko stabilnost. Vrednosti v preglednici 3.3, stolpec 9, se nanašajo na vrednosti CBR<sub>1</sub>, ki jih je pričakovati na zgoščenem materialu pri optimalni vlagi (CBR<sub>1</sub>). Na zasičenih in nabreklih plasteh glin (CBR<sub>2</sub>) lahko CBR vrednost upade na  $< 0,5 \text{ CBR}_1$ . Izkustveno veljajo naslednje relacije merjenega CBR<sub>(w)</sub> za presojo »nosilnosti« površine plasti:

Nosilnost zgoščene plasti iz vezljivih zemljin: melji, gline, glinasti peski in glinasti gramozji

CBR<sub>(w)</sub> = 1: ni, nepovozna  
CBR<sub>(w)</sub> = 1 – 3: zelo nizka  
CBR<sub>(w)</sub> = 3 – 6: nizka  
CBR<sub>(w)</sub> = 6 – 12: srednja  
CBR<sub>(w)</sub> > 12: visoka.

Nosilnost zgoščene plasti iz debelo zrnatih zemljin: čisti in kompozitni gramozji in peski:

CBR<sub>(w)</sub> = 3 – 6: nizka  
CBR<sub>(w)</sub> = 6 – 12: srednja  
CBR<sub>(w)</sub> = 12 – 25: visoka  
CBR<sub>(w)</sub> = 25 – 50: zelo visoka  
CBR<sub>(w)</sub> > 50: odlična (primerna tudi za nosilne plasti).

Za dimenzioniranje voziščne konstrukcije niso merodajni podatki CBR<sub>1</sub> iz stolpca 9 v preglednici 3.3, temveč podatki CBR, izmerjeni za dosegljive vrednosti CBR na zemljini, zgoščeni pri vlagi naravne (ali izboljšane) zemljine (CBR<sub>(w)</sub>).

Po priporočilih cestnih direktiv v nekaterih državah je treba temeljna tla, pri katerih je CBR<sub>(w)</sub> < 3 %, pred nadgradnjo z voziščno konstrukcijo ojačiti z uporabo ojačitvenih geosintetikov ali izboljšati z vezivi.

<sup>10</sup> SIST EN 16907 uvaja izraz »vmesna« zemljina (intermediate soil) za zemljine, v katerih je delež finih zrn 15 % – 35 % (glej razlago v Dodatku 1). Pojem »sestavljena« zemljina je širši in hkrati zadovoljivo opiše tudi skupino vmesnih zemljin, za katero je značilno, da so lastnosti, vgradljivost ter odzivi na pogoje v okolju zelo odvisni od pogojev vlage med gradnjo in od lastnosti finih zrn.

## 4 Smernice za presojo uporabnosti zemljin na osnovi razvrščanja

### 4.1 Opis

Na osnovi razvrščanja je moč oceniti uporabnost zemljin za naslednje namene rabe:

- temeljna tla
- povozni plato
- nasipe, zasipe in kline
- drenažne sloje
- kamnito posteljico
- boljšanje in stabiliziranje zemljin z vezivi.

Primernost posamezne skupine/vrste zemljin za uporabo v značilnih plasteh se opiše kot:

- zelo primerna,
- primerna,
- pogojna,
- manj primerna,
- neprimerna.

V **preglednici 4.1** so podane ocene primernosti posameznih skupin zemljin z razlago.

### 4.2 Presoja uporabnosti

Končna presoja/ocena uporabnosti zemljin za različne namene rabe mora temeljiti na

- zahtevah, ki izhajajo iz projekta zemeljskega objekta ali zemeljskih del,
- zahtevah, ki izhajajo iz nacionalnih tehničnih specifikacij (TSC) za zemeljska dela ter
- rezultatih laboratorijskih in terenskih preiskav, izvedenih v skladu s SIST EN 1997-2 in v vsebinah in obsegu, ki ustrezajo zahtevanim pogojem namenske rabe.

## RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN

Preglednica 4.1a: Razvrstitev debelozrnatih zemljin in presoja uporabnosti.

1	2	3	4	5		6	7	8	9	10		
				Temeljna tla								
Skupina	Delež zrn <math>\leq 0,063\text{ mm}</math>	Vrsta zemljine	Simbol	ni vpliva zmrzali	vpliv zmrzali	Povozni plato	Nasipi	Drenažne plasti	Tesnine plasti	Kamnita posteljica		
				Op. <sup>2</sup>	Op. <sup>2</sup>	Op. <sup>3</sup>	Op. <sup>4</sup>	Op. <sup>3,5</sup>	Op. <sup>6</sup>	Op. <sup>3</sup>		
1	»Čisti« gramoz	$\leq 5\%$	dobro zrnat gramoz	<b>GrW</b>	zelo primerna	zelo primerna	zelo primerna	zelo primerna	primerna	ni primerna	zelo primerna	
2			srednje zrnat gramoz	<b>GrM</b>	primerna	primerna	primerna	primerna	primerna	primerna	ni primerna	pogojna
3			vrzelno zrnat gramoz	<b>GrG</b>	primerna	primerna	primerna	primerna	primerna	primerna	ni primerna	primerna
4			slabo zrnat gramoz	<b>GrP</b>	ni primerna	ni primerna	pogojna	ni primerna	ni primerna	primerna	ni primerna	ni primerna/ pogojna
5			enovito zrnat gramoz	<b>GrU</b>	ni primerna	ni primerna	ni primerna	ni primerna	ni primerna	zelo primerna	ni primerna	ni primerna
6	Kompozitni gramoz	5 % do 12 %	meljast gramoz	<b>siGr*</b>	primerna	pogojna	pogojna	zelo primerna	ni primerna	ni primerna	pogojna	
7			glinast gramoz	<b>ciGr*</b>	primerna	ni primerna	ni primerna	primerna	ni primerna	ni primerna	ni primerna	
8	Sestavljene gramozne zemljine	12 % do 50 %	meljast gramoz	<b>siGr</b>	primerna	ni primerna	ni primerna	primerna	ni primerna	manj primerna	ni primerna	
9			glinast gramoz	<b>ciGr</b>	primerna	ni primerna	ni primerna	primerna	ni primerna	pogojna	ni primerna	
10	»Čisti« peski	$\leq 5\%$	dobro zrnat pesek	<b>SaW</b>	primerna	primerna	ni primerna	primerna	manj primerna	ni primerna	ni primerna	
11			srednje zrnat pesek	<b>SaM</b>	primerna	primerna	ni primerna	pogojna	manj primerna	ni primerna	ni primerna	
12			vrzelno zrnat pesek	<b>SaG</b>	primerna	primerna	ni primerna	pogojna	manj primerna	ni primerna	ni primerna	
13			slabo zrnat pesek	<b>SaP</b>	ni primerna	ni primerna	ni primerna	ni primerna	pogojna	ni primerna	ni primerna	
14			enovito zrnat pesek	<b>SaU</b>	ni primerna	ni primerna	ni primerna	ni primerna	pogojna	ni primerna	ni primerna	
15	Kompozitni peski	5 % do 12 %	meljast pesek	<b>siSa*</b>	primerna	pogojna	ni primerna	primerna	ni primerna	ni primerna	ni primerna	
16			glinast pesek	<b>ciSa*</b>	primerna	ni primerna	ni primerna	primerna	ni primerna	manj primerna	ni primerna	
17	Sestavljene peščene zemljine	12 % do 50 %	meljast pesek	<b>siSa</b>	primerna	ni primerna	ni primerna	primerna	ni primerna	pogojna	ni primerna	
18			glinast pesek	<b>ciSa</b>	primerna	ni primerna	ni primerna	pogojna	ni primerna	primerna	ni primerna	

## RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN

Preglednica 4.1b: Razvrstitev drobnozrnatih zemljin in presoja uporabnosti.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Glavna skupina	Skupina	Vrsta zemljine <sup>1</sup>	Simbol	Temeljna tla		Nasipi	Tesnilne plasti
					ni vplivov zmrzali	vpliv zmrzali		
			Op. <sup>1,7</sup>		Op. <sup>2</sup>	Op. <sup>2</sup>	Op. <sup>4</sup>	Op. <sup>6</sup>
1	Drobnozrnat zemljine	melji	nizko plastičen melj	<b>SiL</b>	pogojna	ni primerna	manj primerna	ni primerna
2			srednje plastičen melj	<b>SiM</b>	manj primerna	ni primerna	pogojna	pogojna
3			visoko plastičen melj	<b>SiH</b>	ni primerna	ni primerna	ni primerna	ni primerna
4			zelo visoko plastičen melj	<b>SiV</b>	ni primerna	ni primerna	ni primerna	ni primerna
5		gline	nizko plastična glina	<b>CIL</b>	primerna	ni primerna	primerna	zelo primerna
6			srednje plastična glina	<b>CIM</b>	pogojna	ni primerna	primerna	zelo primerna
7			visoko plastična glina	<b>CIH</b>	ni primerna	ni primerna	pogojna	manj primerna
8			zelo visoko plastična glina	<b>CIV</b>	ni primerna	ni primerna	ni primerna	ni primerna
9		meljna glina	meljna glina nizke plastičnosti	<b>CIL-SiL</b>	pogojna	ni primerna	pogojna	primerna

<sup>1</sup> Nobena od zemljin, razvrščenih v preglednico 4.1b, ni primerna za rabo za povozni plato, drenažne plasti in kamnito posteljico, zato teh postavk v preglednici ni.

<sup>2</sup> Merila za temeljna tla veljajo za temeljna tla tik pod voziščno konstrukcijo, ne pa za temeljna tla pod nasipi. Ocena ustreznosti temeljnih tal pod nasipi mora temeljiti na presoji skladnosti zatečenega stanja z zahtevami geotehničnega projekta nasipa in tehnoloških možnosti izvajanja del.

<sup>3</sup> Merila kakovosti za povozni plato in kamnito posteljico so določena v TSC 06.100 in v PTP za zemeljska dela (1989). Pogosto imajo naravne ali nepredelane zemljine lastnosti, ki ustrezajo lastnostim za uporabo za povozne platoje, kamnito posteljico in kot zmesi zrn oz. kameni agregat za drenažne zasipe. V takih primerih je treba izpeljati ustrezen protokol, po katerem se potrdi primernost lokalne zemljine za podane namene rabe brez predelave v obratu za predelavo.

<sup>4</sup> V nasipih s conarno zgradbo je moč varno uporabljati tudi zemljine z oceno »manj primerne«, vendar morajo biti pogoji rabe natančno opredeljeni v geotehničnem projektu nasipa, projektu zemeljskih del in tehnološkem elaboratu. Nasipe s conarno zgradbo obravnava SIST EN 16907.

<sup>5</sup> Pri presoji rabe zemljine za drenažne plasti je treba razlikovati med drenažnimi zasipi v jarkih nad drenažnimi cevovodi in drenažnimi zasipi v temeljnih tleh in na brežinah za namene zniževanja pornega tlaka. V temeljnih tleh in na brežinah je v drenažni zasip lahko vgrajena vsaka zemljina, ki ima za najmanj dve dekadi višjo prepustnost kot zaledna zemljina.

<sup>6</sup> Pri presoji uporabnosti zemljin za tesnilne plasti je treba upoštevati kombinacijo vplivov: vgradljivost, volumska stabilnost, togost, občutljivost na erozijo (»piping«). Nizek koeficient prepustnosti sam po sebi ne zadošča za ocenitev primernosti materiala za tesnilne plasti.

<sup>7</sup> Napovedi klimatologov ter že evidentirane klimatske spremembe (npr. izjemna suša leta 2003, vsakoletni vremenski ekstremi) zahtevajo povečano previdnost pri presoji uporabnosti glinastih prodiv in peskov ter glin v zaključnih plasteh in na bokih nasipov. Naraščanje povprečnih letnih temperatur sicer zmanjšuje globine vplivov zamrzovanja in tajanja voziščnih konstrukcij, povečuje pa globine vplivov sezonsko pogojenega razsuševanja in močenja.



## 5 Smernice za presojo primernosti zemljin za izboljšanje z vezivi

### 5.1 Opis

Veziva se v zemeljskih delih uporabljajo za izboljšanje in stabiliziranje zemljin. Po tradiciji se v Sloveniji anorganska veziva uporabljajo prvenstveno za izboljšanje in le izjemoma za stabilizacijo zemljin. Organska (bitumenska) veziva se za izboljšanje zemljin v Sloveniji ne uporabljajo.

Veziva se uporabljajo za

- izboljšanje zemljin za povečanje togosti plasti (zelo pogosto v glinastih in meljastih prodih),
- zmanjšanje občutljivosti plasti na vremenske vplive (v meljih, glinah, sestavljenih peskih in gramozih),
- povečanje volumske stabilnosti (v visoko plastičnih glinah in zemljinah, podvrženih kolapsu) in za
- izboljšanje vgradljivosti (npr. v zemljinah, ki so zelo občutljive na majhne spremembe vlage med vgrajevanjem oz. v primerih, pri katerih je naravna vlaga nad optimalno in je pri ustrezni zgoščenosti ( $D_{PR}$ ),  $CBR_{(w)}$  nosilnost ali togost plasti nezadostna, vgrajena plast ni povozna ipd. – glej tudi 1. alinejo).

Na izbiro vrste in učinkovitost rabe veziv vplivajo:

- zrnavostna sestava
- plastičnost finih zrn v povezavi z drugimi kazalniki lastnosti, vezanimi na interakcijo zemljina – voda, npr. MB test, Enslin Neff test, CEC ipd.
- prisotne organske snovi
- parametri stanja zemljine, kot so vlažnost, indeks konsistence (glej tč. 6).

Načeloma velja:

- Apno ter alternativna veziva z veliko vsebnostjo prostega apna (CaO) so primerna za izboljšanje drobnozrnatih, plastičnih zemljin tipov CIL, CIM, CIH ter sestavljenih zemljin tipov clGr, clSa. V primeru rabe žganega (živega) apna so potrebni posebni ukrepi za zagotavljanje homogenosti vmešavanja apna in varnosti pri delu.
- Cementi so primerni za izboljšanje neplastičnih drobnozrnatih zemljin (SiL, SiM), sestavljenih in kompozitnih zemljin, v katerih fina zrna niso plastična (siGr, siSa).
- EF pepeli kalcijskega tipa so samostojno ali v kombinaciji z apnom ali cementom v široki rabi za izboljšanje vlažnih, zaglinjenih gramozov in peskov (clGr, siSa).
- Kompleksna veziva, kombinacije apna in cementa, EF pepela in apna ali cementov in apna ter EF pepelov in nekaterih mletih tufov, so primerna za izboljšanje sestavljenih in kompozitnih zemljin. V zelo zaglinjenih gramozih in peskih je včasih potrebna zaporedna raba dveh vrst veziv, najprej apna in šele po učinkovanju apna raba npr. cementa.
- V primerih zelo visoko plastičnih zemljin, npr. zemljin z mejo židkosti  $w_L > 85\%$ , je potrebna skrbna presoja izvedljivosti poboljšanja z rabo veziv zaradi tehnoloških omejitev, vezanih na homogenost mešanice.
- Za izboljšanje z vezivi niso primerne zelo debelozrnate zemljine (Co, Bo), enovito zrnati gramoz (GrU) in glede na operativne izkušnje organske zemljine. V primerih, ko se v masnih bilancah pojavijo velike presežne količine organskih zemljin, je treba v presojo vgradljivosti le – teh z izboljšanjem z vezivi vključiti tudi raziskave za presojo dolgoročne obstojnosti le – teh ter po potrebi analizo LCA.
- Kalcijski EF pepeli vežejo brez dodatkov drugih veziv. Preiskave na starih nasipih in deponijah ter strokovna literatura poročajo, da cementacija v EF pepelih, kadar so samostojno vgrajeni v plast brez dodatkov drugih veziv, s časom popušča. Kadar se

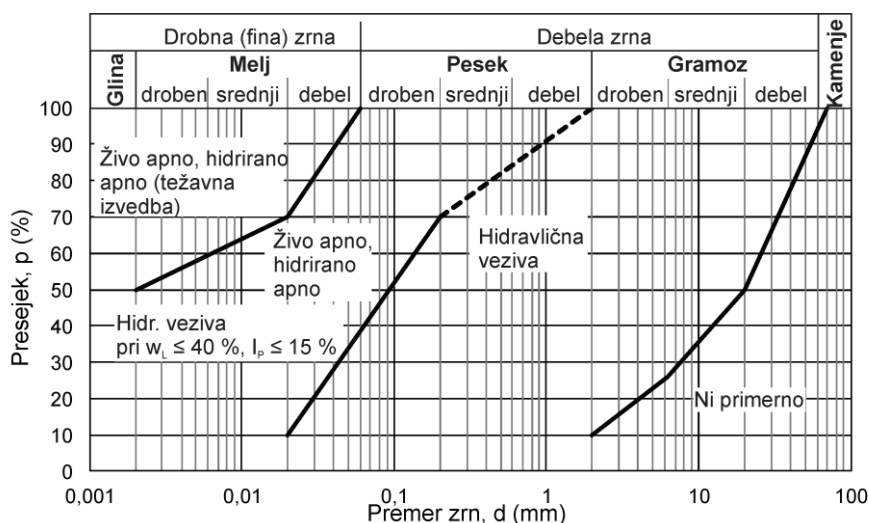
## RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN

kalcijski pepeli uporabljajo za izboljšanje zemljin med gradnjo, ti izsledki niso pomembni, upoštevati pa jih je treba pri načrtovanju stabilizacij.

Raba veziv za izboljšanje zelo vlažnih zemljin je pogojena s preveritvijo tehnoloških možnosti in okoljskih in ekonomskih učinkov. Zlasti v primerih, ko so (za doseganje ustrezne vlage mešanice za vgrajevanje) potrebne velike količine veziva, je treba pred izdelavo končnih delovnih sestav mešanice preveriti druge alternativne možnosti.

Apno, vmešano v zemljino, poviša optimalno vlago in zniža referenčno maksimalno suho gostoto mešanice apna in zemljine, zato je apno v glinah tako učinkovito.

Krivulje in območja zrnivosti za rabo določene vrste veziva za izboljšanje so podane na **sliki 5.1**.



**Slika 5.1:** Območja zrnivosti anorganskih zemljin za ocenitev primernosti za rabo anorganskih veziv.

## 5.2 Preiskave

Preiskave za namene presoje učinkovitosti posameznih vrst veziv za izboljšanje zemljin je treba opraviti v okviru izdelave geotehničnih preiskav za namene projektiranja in nato ponovno pred začetkom izvajanja del.

Merila oz. zahteve za potrditev ustreznosti mešanice zemljin in veziv za izboljšanje so podana v PTP za zemeljska dela (1989).

Po tradiciji rabe v Sloveniji se delovne sestave mešanic za izboljšanje določajo na osnovi meritev tlačne trdnosti in pH mešanic z najmanj 3 do največ 5 različnimi dodatki veziv, na po Proctorjevem postopku zgoščenih preizkušancih in z uporabo kombinacije drugih postopkov po SIST EN 1997-2, kadar je to potrebno.

Izkušnje na gradbiščih so pokazale, da je treba pri preiskavah za izboljšanje visoko plastičnih in kraških glin z vezivi opraviti tudi preiskave, ki jih PTP za zemeljska dela (1989) ne določa, npr. meritve volumnske stabilnosti, retencijske krivulje in druge namenske preiskave - vse v povezavi s ciljanimi nameni izboljšanja.

Opomba 1: Po letu 2010 je bilo sprejetih več SIST EN standardov - specifikacij, ki obravnavajo postopke, preiskave in merila za ocenjevanje izboljšanih in stabiliziranih zemljin, med njimi so za zemeljska dela relevantni SIST EN 16907-4 in standardi iz družine SIST EN 14227. Pred operativnim pričetkom rabe teh standardov bo treba načela preiskav in merila za ocenjevanje kakovosti uskladiti in prilagoditi slovenskim izkušnjam. Pri morebitni rabi SIST EN 14227 je treba razlikovati med zahtevami, ki veljajo za stabilizacijo nosilnih plasti in zahtevami za izboljšanje zemljin.

## 6 Smernice za presojo uporabnosti zemljin pri zemeljskih delih na osnovi kazalnikov stanja

### 6.1 Kazalniki stanja

Lastnosti zemljin in zdrobljenih kamnin se med zemeljskimi deli spreminjajo v odvisnosti od vrste in načinov posega v geološko okolje ter od dnevnih in od sezonsko pogojenih vremenskih vplivov.

Kazalniki stanja kažejo velikost odstopanj trenutne vlage zemljine ( $w_n$ ), namenjene za vgradnjo, od optimalne vlage ( $w_{opt}$ ) in s temi odstopanji povezano vgradljivost ter pričakovane mehanske lastnosti zemljine ali vgrajene plasti, kot so:

- razmerje vlage ( $w_n$ ) in optimalne vlage zemljine ( $w_{opt}$ ), podano kot razmerje  $w_n/w_{opt}$
- indeks konsistence ( $I_C$ ) drobnozrnatih zemljin in finih zrn v kompozitnih in vmesnih zemljinah
- tlačna trdnost drobnozrnatih zemljin, zgoščenih po Proctorjevem postopku pri različnih vlagah
- IBI vrednosti (takojšnji indeks nosilnosti, določen po postopku CBR. V SIST EN 16907-1 je v uporabi oznaka IPI, povzeta po francoskem standardu)
- drugi kazalniki, pomembni za izbrano vrsto zemljine.

Glede na primerjavo vlage zemljine ter optimalne vlage po Proctorjevem postopku zgoščene zemljine se zemljine okvirno ocenijo in opišejo kot sledi:

- zelo suhe (zs), ko je  $w_n/w_{opt} < 0,5 - 0,7$  oz.  $I_C > 1,2$
- suhe (s), ko je  $w_n/w_{opt}$  med 0,7 in 0,9 oz.  $I_C$  okoli 1,1
- primerno vlažne (p), ko je  $w_n/w_{opt}$  med 0,9 in 1,1 oz.  $I_C$  med 0,9 in 1
- mokre (m), ko je  $w_n/w_{opt}$  med 1,1 in 1,2 oz.  $I_C$  med 0,8 in 0,9
- zelo mokre (zm), ko je  $w_n/w_{opt} > 1,2 - 1,3$  oz.  $I_C < 0,8$ .

Podani opisi so informativni, saj so razponi in odstopanja vlage pri določanju npr.  $I_C$  v visoko plastičnih zemljinah zelo drugačni od odstopanj v npr. nizko plastičnih meljih. Upoštevati je tudi treba, da so zemljine z nizkim indeksom plastičnosti pri vgrajevanju bolj občutljive na spremembe vlage kot zemljine z visokim indeksom plastičnosti.

Podani zapisi veljajo za drobnozrnate in sestavljene zemljine, ne pa za debelozrnate in kompozitne zemljine, ki vsebujejo < 12 % finih, neplastičnih zrn.

Uporaba absolutnih kazalnikov stanja, kot so tlačna trdnost ali IBI, za presojo in primerjavo vgradljivosti različnih vrst zemljin ni možna, ker nanje vpliva značaj zemljine. Učinkovito pa se kazalniki stanja lahko uporabijo znotraj iste skupine zemljine v povezavi z vlago in izrisom krivulje  $w_n - IBI$ ;  $w_n - q_u$  in prikazi na skupnem diagramu skupaj s krivuljo, določeno po Proctorjevem postopku.

Opomba 1: V Sloveniji ni baze podatkov za statistično vrednotenje parametrov stanja pri razvrščanju zemljin za vgrajevanje, kot je npr. v rabi v Franciji (LCPC, 2003). V tej točki navedene vrednosti  $w_n/w_{opt}$  so informativne. Priporočljivo je, da se pri preiskavah vgradljivosti drobnozrnatih in sestavljenih zemljin v preiskave sistematsko vključujejo tudi določitve IBI in ne le preiskave CBR1.

Opomba 2: Pri indeksu konsistence  $I_C = 1$  je vlažnost zemljine  $w_n$  enaka meji plastičnosti  $w_p$ . Ker meja plastičnosti  $w_p$  nakazuje vlago pri prehodu zemljine iz plastičnega v krhko stanje, je to pri visoko plastičnih zemljinah že posredni kazalnik visoke sukcije v zgoščenem stanju. Zato je vgrajevanje visoko plastičnih zemljin priporočljivo preveriti tudi z uporabo retencijske krivulje (SWRC) v povezavi s klimatski pogoji.

## 6.2 Presoja vgradljivosti na osnovi vlažnosti/parametrov stanja

### 6.2.1 Opis

Primerno vlažne zemljine (p) so v najboljšem (optimalnem) stanju za razgrinjanje in zgoščanje. Omogočajo učinkovito zgoščanje z valjarji in ustrezno togost zgoščene plasti za izbrano vrsto zemljine. Po vgradnji zemljine v zemeljski objekt ni pričakovati pomembnih sprememb vlage in stopnje zasičenja plasti (izjema so primeri, če so zemljine po vgradnji izpostavljene vplivom stalne ali občasne ojezeritve in v primeru vgrajevanja visoko plastičnih glin z  $w_L > 65$  % oz. indeksom plastičnosti  $I_P > 40$  %) ob nizki nadgradnji (obremenitvi).

Suhe (s) in zelo suhe (zs) zemljine zahtevajo pri zgoščanju veliko energijo zgoščanja. Nekaterih vrst zemljin, kot so neplastični melji in slabo zrnati peski in prodi v stanju (zs) in (s), ni moč zgoščati. Vezljive zemljine, ki se vgrajujejo v suhem in zelo suhem stanju, se v času rabe objekta navlažijo zaradi ekvibracije sukcije in zaradi tega mehčajo; poškodbe vozišč in nasipov po več letih obratovanja so pogosto posledice mehčanja zaradi navzemanja vode.

Vgrajevanje (s) in (zs) zemljin je tvegano tudi zato, ker visoka togost in dobra povoznost vgrajene plasti med gradnjo prikrijeta nevarnost volumskih sprememb (npr. nabrekanja glin) ali kolapsa neplastičnih meljev po prvem vremenskem ekstremu, ki nastopi po vgradnji.

Vgrajevanje in zgoščanje mokrih (m) in zelo mokrih (zm) zemljin je težavno ali ni možno. Med zgoščanjem se pojavlja učinek gumijaste blazine. Tudi ustrezno zgoščene plasti ( $D_{PR} > 92$  %) niso povozne, ustvarjajo se kolesnice, togosti plasti za nadgradnjo so (pre)nizke.

### 6.2.2 Priporočila za presoji

Pri presoji uporabnosti zemljin na osnovi vlage/parametrov stanja veljajo naslednja načela:

- Debelozrnate in kompozitne zemljine, v katerih fina zrna niso plastična in je vsebnost finih zrn  $< 12$  %, niso občutljive na stanje vlage pred vgrajevanjem. Pršenje oz. nadzorovano vlaženje gramoznih in peščenih plasti je sestavni del tehnološkega procesa vgrajevanja, saj po mirovanju, zaradi ekvibracije sukcije, plast iz čistih in kompozitnih gramozov in peskov po pršenju in nato mirovanju pridobi na togosti. Zaradi visoke prepustnosti se tudi materiali, izkopani pod vodo, na začasnih deponijah hitro odcedijo.
- Zelo suhe (zs) in zelo mokre (zm) zemljine niso primerne za vgrajevanje, ne glede na doseženo zgoščenost ali togost plasti med vgrajevanjem. Pred vgrajevanjem so potrebni ukrepi za korekcijo vlage.
- Suhe (s) in mokre (m) zemljine na »mejnem« področju vgradljivosti je treba pred in/ali med vgradnjo pripraviti oz. vzdrževati v stanju, primernem za vgrajevanje. Med te postopke sodijo: vlaženje s pršenjem, korekcije visoke vlage z razgrinjanjem in sušenjem na zraku, zaščita materiala pred vlago s prekrivanjem in tretiranje z vezivi.
- Sestavljene zemljine z vsebnostjo več kot 35 % finih zrn je treba obravnavati enako kot drobnozrnate zemljine s podobnimi kazalniki plastičnosti. V sestavljenih zemljinah drobna zrna narekujejo obnašanje zemljine. Pri zemljinah, izkopanih pod vodo, ali na deponijah, ki so jih izdatno zasitile padavine, ni pričakovati, da se bodo osušile do primerne vlažnosti brez dodatnih ukrepov.
- Zemljine z vsebnostjo več kot 35 % finih zrn z značajem gline je priporočljivo vgrajevati v nasipe višine  $< 7$  m pri stanju vlage (p) – (m), ne glede na to, da so togosti plasti nižje od tistih, doseženih pri stanju (p) ali (p) – (s). Pri vgrajevanju gline v nasipe višine  $> 7$  m je priporočljiva analiza časovnega razvoja sesedkov in morebitnega lezenja nasipa v sekundarni fazi konsolidacije. Odločitev za rabo mora temeljiti na geotehničnem izračunu in ne le na presoji vgradljivosti.

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

- Indeks konsistence ( $I_c$ ) je pomemben kazalnik stanja vgradljivosti glinastih zemljin. Pri  $I_c < 0,8$  je priporočljivo v presojo vgradljivosti vključiti analize možnost izboljšanja z vezivi.
- Pri presoji vplivov parametrov stanja zemljine na vgradljivost je priporočljivo le-te povezati z omejitvami glede vremenskih pogojev v času vgrajevanja. Načeloma velja, da vgrajevanje zemljin in zdrobljenih kamnin ni možno v času močnih padavin, v času, ko je v zemljini prisoten led ter v času izjemno visokega izhlapevanja, ko vlažnosti plasti ni moč vzdrževati in nadzorovati s pršenjem.
- Za zdrobljene kamnine, ki vsebujejo glino (glinavce, mehke laporovce, laporje, trdne glin) je potrebna presoja parametrov stanja ne glede na zrnavost. V dodatno pomoč pri razvrščanju so meritve sukcije in retencijskih krivulj.

Opomba 1: V slovenski tradiciji rabe so bila priporočila za rabo zemljin v nasipih podana z vrednostjo  $w_n = w_{opt} \pm 2$  %. S tako postavljenim merilom se npr. dopušča rabo neustrezno vlažnih zemljin z relativno nizko optimalno vlago, npr.  $w_{opt} < 10$  %; po nepotrebnem pa omejuje rabo npr. zemljin z visoko optimalno vlago, npr.  $w_{opt} > 25$  %. Zato se ta priporočila pri kontroli vgrajevanja niso zasledovala in kljub velikemu fondu podatkov meritev v času gradnje avtocest v Sloveniji ni ustrezne baze podatkov.

Opomba 2: Na velikih zemeljskih objektih prometne infrastrukture v Sloveniji je prišlo v preteklosti do predčasnih poškodb in odpovedi funkcije zemeljskih objektov zaradi vgrajevanja presuhih (zs) in suhih (s) zemljin. Ugotovljeni so bili pojavi kolapsa na peskih, nabrekanja na visoko plastičnih glinah ter razpada strukture na zdrobljenih flišnih laporjih.

## **7 Smernice za presojo uporabnosti zdrobljenih kamnin s posebnimi lastnostmi**

### **7.1 Opis**

Načela razvrščanja kamnin in situ določata SIST EN ISO 14689 in SIST EN 16907-2:2019. Kategorizacijo kamnin za namene izvajanja izkopov določa TSPI – 05.100 (P, G).

Razvrščanje zdrobljenih kamnin za namene rabe v zemeljskih delih se izvaja po enakih načelih kot razvrščanje zemljin, kadar so zmesi debelih zrn zdrobljene kamnine sestavljene iz trdnih in obstojnih zrn. Kadar so v zdrobljeni kamnini prisotna zrna mehke, visoko porozne, šibko cementirane kamnine ali kamnine, ki vsebuje minerale glin (npr. glinavci, laporji ipd.) in druge nestabilne minerale, kot so soli, aktivna kremenica ipd., ali izrazito ploščata in podolgovata zrna, je treba pri presoji uporabnosti upoštevati dodatna načela.

### **7.2 Presoja uporabnosti zdrobljenih kamnin, ki izkazujejo posebna obnašanja**

#### **7.2.1 Mehke kamnine, ki ne vsebujejo mineralov glin in nestabilnih mineralov (npr. mehki apnenci in mehki tufi)**

V to skupino se uvrščajo mehke kamnine s šibko cementiranimi (slabo zlepljenimi) zrn. Debela zrna zdrobljene kamnine med razgrinjanjem in zgoščanjem razpadajo na manjša zrna, pri čemer se povečuje delež finih zrn. Ko postane vgrajena plast visoko ali skoraj popolno zasičena, se fina zrna obnašajo kot tiksotropna pasta ter zgoščanje in utrjevanje plasti ni možno.

Med značilnimi predstavniki mehkih kamnin te vrste so v Sloveniji litotamnijski in litavski apnenci, nekateri tufi (npr. tufi iz okolice Domžal, Žalca, Velenja), redkeje tudi mehki karbonatni meljevci in peščenjaki ter nekatere metamorfne kamnine.

Pri razvrščanju teh kamnin za rabo v zemeljskih delih je priporočljiva določitev naslednjih lastnosti:

- mineraloško petrografski opis sestave mineralnih zrn velikosti nad 4 mm
- suhe gostote zrn in gostote zrn

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

- preizkus vpijanja vode
- preizkus drobljivosti zrn pri predrabljanju z izbrano ali več izbranimi energijami zgoščanja
- meritev retencijske krivulje v koloni
- preizkus CBR v zasičenem in nezasičenem stanju
- pri obravnavi mehkih kamnin, ki ne vsebujejo mineralov glin, je potrebna dodatna pozornost, kadar so:
  - koeficient Los Angeles  $C_{LA} > 45$
  - suha gostota zdrobljenih zrn  $> 2 \text{ mm } \rho_d < 2,4 \text{ Mg/m}^3$
  - povečanje vsebnosti finih zrn v sestavi po predrabljanju takšno, da je vsebnost finih zrn v sestavi  $> 12 \%$ .

Presoja uporabnosti se izvede na osnovi dodatnih kazalnikov lastnosti po zgoščanju. Izkušnje kažejo, da zdrobljene kamnine iz te skupine niso primerne za povozne platoje, drenažne plasti in kamnito posteljnico, ker je težko nadzorovati vsebnost finih zrn.

Za rabo zdrobljenih mehkih kamnin iz te skupine v nasipih in zasipih praviloma ni omejitev, če se upoštevajo omejitve glede izvajanja del v času padavin in nizkih temperatur ter omejitve rabe na območjih, kjer je pričakovati vpliv nihanja podzemne ali površinske vode na nasipne plasti.

### 7.2.2 Visoko prekonsolidirane gline in mehke kamnine, ki vsebujejo glino

Visoko prekonsolidirane gline in mehke kamnine, ki vsebujejo glino, sodijo med najzahtevnejše in najteže opredeljive geološke materiale za rabo pri zemeljskih delih. Razpadanje debelih zrn zdrobljene kamnine iz te skupine povzročata dva osnovna mehanizma:

- ekvilibracija sukcije in
- razpad po razpokah.

Materiali iz te skupine so široko razprostranjeni v Sloveniji, med njimi so npr. kredni in terciarni flišni laporji, oligocenska sivica, miocenske gline, laporji in mehki laporovci ipd. Na obnašanje teh materialov vplivajo: vsebnost kalcita, ki lahko deluje kot šibko vezivo (cement) med zrn, delež ter vrsta mineralov glin, prisotnost markazita in organske mase po ploskvah skrivalosti oz. tanke plastovitosti ter gostota.

V primerjavi z materiali, opisanimi v tč. 7.2.1, v katerih se razpad šibkih zrn zgodi v fazah razgrinjanja in zgoščanja, so debela zrna kamnin iz te skupine podvržena dolgoročnemu mehčanju. Zato se lahko zgodi, da dobro zgoščeni materiali v nasipih kolapsirajo več let po izgradnji.

Za presojno uporabnosti in pogojev rabe zdrobljenih kamnin iz te skupine je treba preiskave za klasifikacijo dopolniti z

- mineraloško petrografskim opisom sestave mineralnih zrn velikosti nad 4 mm,
- identifikacijo značaja zrn z MB, Enslin Neff testom ter določitvijo deviške retencijske krivulje,
- preizkusom drobljivosti zrn pri predrabljanju z izbrano ali več izbranimi energijami zgoščanja,
- določitvijo retencijske krivulje zgoščenega materiala,
- določitvijo velikosti sukcije v območju optimalne vlage in zgoščenosti po Proctorjevem postopku,
- preizkusom CBR v zasičenem in nezasičenem stanju oz. IBI pri različnih vlažnostih zgoščene plasti in

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

- preizkusi volumske stabilnosti, če indeksni kazalniki lastnosti finih zrn to pokažejo za potrebno.

Pri presoji in določitvi pogojev rabe zdrobljenih kamnin, ki vsebujejo glino, je treba preučiti zlasti pogoje zagotavljanja homogene vlažnosti in zrnivosti pri vgrajevanju ( $w_n/w_{opt}$ ). Paziti je treba, da težnja po zagotavljanju togosti plasti med vgrajevanjem ne preseže pomena zadostne vlažnosti oz. saturacije plasti. Pri načrtovanju rabe materialov za nasipe, visoke > 7 m je priporočljivo analizirati potrebni čas mirovanja pred nadgradnjo vezanih plasti in predvideti meritve sesedkov nasipa.

Pri presoji pogojev rabe je treba v čim večji meri uporabiti pretekle izkušnje.

### 7.2.3 Diatomejske zemlje

V diatomejskih zemljah je prisotna aktivna kremenica ( $SiO_2 \times nH_2O$ ), zato imajo diatomejske zemlje majhno suho gostoto in veliko sposobnost vpijanja vode. Aktivna kremenica lahko v stiku z alkalijami sproži škodljivo alkalno silikatno reakcijo, kar povzroči nabrekanje in razpad betona.

Pojavi diatomejske zemlje so v Sloveniji, redki, večje nahajališče je bilo pri gradnji objektov prometne infrastrukture doslej odkrito pri Beli Cerkvi na Dolenjskem. Z vgrajevanjem diatomejske zemlje v Sloveniji ni nobenih izkušenj.

Po potrditvi prisotnosti diatomejske zemlje v načrtovanih izkopih je v GG elaboratu najbolj primerno, da se njeno koristno rabo poišče v kmetijstvu ali poiščejo lokacije za trajno odlaganje.

### 7.2.4 Kamnine, ki vsebujejo sulfate in sulfide

Sulfati (sadra in anhidrit, redkeje thenardit in mirabilit) ter sulfidi (pirit in markazit – framboidalni pirit) so v Sloveniji pogosto prisotni v klastičnih in le redko v karbonatnih kamninah. Po dosedanjih izkušnjah v Sloveniji sulfati in sulfidi niso bili zaznani v takšnih koncentracijah, da bi zahtevali posebno obravnavo oz. previdnostne ukrepe za rabo zemljin in zdrobljenih kamnin v zemeljskih delih.

Sulfatni in sulfidni minerali v geoloških plasteh povzročajo nabrekanje, sproščanje kislih voda in obarjanja železa v podzemnih vodah (železovi koloidi). Škodljive reakcije zaradi sulfatnih in sulfidnih mineralov so bile v Sloveniji doslej ugotovljene v predorih (Karavanke, Šentvid) in na odprtih ter razbremenjenih brežinah plazov v flišu (Slano blato nad Ajdovščino), ne pa tudi v zgrajenih nasipih pri zemeljskih delih.

Po španskih smernicah (Španija ima največ izkušenj v Evropi z rabo sulfatnih zemljin v zemeljskih delih) je dopustna vsebnost sulfatov v geoloških materialih za rabo v nasipih brez posebnih varnostnih ukrepov max. 2 m.%.

### 7.2.5 Magmatske in metamorfne kamnine

Magmatske in metamorfne kamnine so kamnine z izjemno širokim razponom mehanskih lastnosti (trdnosti, odpornosti in obstojnosti).

V večini primerov velja, da so to za zemeljska dela široko uporabni materiali, ko so primerno zdrobljeni, imajo ustrezno zrnivost in so zrnivosti prilagojene tehnologije zgoščanja.

Pazljivost in dodatne presoje z ustreznimi preiskavami so priporočljive v naslednjih primerih:

- **mafične – bazaltne in ultramafične kamnine:** lahko vsebujejo volumsko nestabilne bazične silikatne minerale, ki hitro preperevajo, prepereli produkti pa imajo značaj

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

visoko plastičnih aktivnih glin. Identifikacijo le-teh je moč opraviti najprej z MB in Enslin Neff testi; kasneje pa v primeru nakazane nevarnosti z drugimi naprednimi testi

- **trde in trdne magmatske in metamorfne kamnine je težko predrabljati.** Potrebna je previdnost pri rabi splošne omejitve glede koeficienta enakomernosti, ki sicer velja za zemljine z zahtevo  $C_U > 8$  ( $C_U = 5$ ). Z ustreznimi preiskavami, najbolj priporočljiva je izvedba poskusnih plasti, je treba preveriti, ali je kakovostna vgradnja možna tudi z bolj enovito zrnatimi materiali, saj se lahko na ta način prihrani veliko energije za predrabljanje. Poleg standardnih meritev s krožno ploščo je za presojo vgradljivosti primerno opazovanje obnašanja plasti po prevozu s težkim natovorjenim tovornjakom ter raba težkih valjarjev z vgrajenim sistemom merjenja odzivov podlage CCC
- **nekateri metamorfni skrilavci so zelo drobljivi.** Preiskave za presojo vgradljivosti le-teh je treba opraviti na način in v vsebini, kot so opisane v tč. 7.2.2, dodatno je treba preveriti morebitne negativne vplive sljudnih zrn na strižno trdnost
- **nekatero metamorfno kamnine se iverasto krojijo.** Po izkopu in primarnem drobljenju vsebujejo enovito zrnata in podolgovata – iverasta zrna. Presojo vgradljivosti zemljin z iverastimi zrni je moč izvesti le na podlagi izvedbe poskusnih polj.

## 8 Zaključne opombe

### 8.1 Značaj TSPI – PG.05.201 in TSPI – PG.05.202

Obe specifikaciji imata značaj smernice. Za namene projektiranja in gradnje je treba za vse namene rabe opraviti preiskave po priporočilih in v obsegu po SIST EN 1997-2.

### 8.2 Predhodni dokumenti

TSPI – PG.05.201 in TSPI – PG.05.202 ne nadomeščata nobene po vsebini primerljive tehnične specifikacije. PTP za zemeljska dela (1989) obravnavajo pogoje rabe zemljin; materialne lastnosti so podane glede na omejitve glede koeficienta enakomernosti, vsebnosti organskih snovi, največje debeline zrna glede na debelino plasti ter indeksa plastičnosti zemljine za temeljna tla. Metode preiskav temeljijo na načelih opuščenih JUS standardov.

Z vidika opredelitve zahtevanih lastnosti so dobro opredeljeni materiali za povozni plato in kamnito posteljnico v TSC 06.100.

Sprejeti SIST EN standardi za razvrščanje, zemeljska dela, izboljšanje zemljin z vezivi itd. še nimajo nacionalnih dodatkov in niso usklajeni z načeli PTP (1989) in TSC (npr. TSC 06.100 in TSC 06.512), ki so v aktivni rabi. Zato je pri rabi meril in postopkov preiskav potrebna previdnost, saj mora biti raba novega merila oz. postopka preiskave usklajena z vsemi in ne le z enim področjem rabe.

Zaradi navedenega so v smernicah TSPI – PG.05.201 in TSPI – PG.05.202 nekoliko širše razloženi določeni pojmi tako za namene razvrščanja kot za namene prepoznavanja ustreznosti različnih vrst materialov za rabo. Poudarjene so izkušnje pri rabi določene vrste materialov.

### 8.3 Postopki za preiskovanje, ki podpirajo načela razvrščanja in ocenjevanja uporabnosti zemljin v zemeljskih delih

Postopki izvedbe preiskav in podajanja rezultatov, na katerih temeljijo načela razvrščanja in ocenjevanja zemljin za zemeljska dela bi morali temeljiti na enotnih standardih. SIST EN standardi pokrivajo preiskave nekaterih, ne pa vseh lastnosti zemljin, ki so pomembne v zemeljskih delih. V primerih, ko za zemljine ni ustreznega standarda, se uporabljajo standardi iz drugih področij, npr. standardi za zmesi kamnitih zrn - kameni agregat ali standardi za



**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

identificiranje plodnih tal. Pri rabi teh je treba preveriti, ali so postopki le-teh primerni za zemljine v zemeljskih delih.

V primerih, ko za določanje izbrane lastnosti ni na voljo ustreznega SIST EN standarda, se uporabljajo postopki, ki jih navajajo:

- SIST EN 1997-2
- nacionalni postopki, določeni z nacionalnim standardom ali specifikacijo
- postopki, opisani v literaturi
- v posebnih primerih interni postopki, podrobno določeni v okviru projekta med naročnikom in izvajalcem preiskave.

Večina postopkov za preiskave kamnin ni pokrita s SIST EN standardi. Najpogosteje se uporabljajo postopki, objavljeni v okviru ISRM oz. TSPI – PG.05.100.

## 9 Reference

### Krovni standardi

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

SIST EN 1997-2 Evrokod 7: Geotehnično projektiranje - 2. del: Preiskovanje in preskušanje tal

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

SIST EN ISO 14688-2 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Prepoznavanje in razvrščanje zemljin - 2. del: Načela za razvrščanje

SIST EN ISO 14689 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Prepoznavanje, opisovanje in razvrščanje kamnin

SIST EN 16907-1 Zemeljska dela - 1. del: Načela in splošna pravila

SIST EN 16907-2 Zemeljska dela - 2. del: Klasifikacija materialov

SIST EN 16907-4 Zemeljska dela - 4. del: Tretiranje zemljin z apnom in/ali hidravličnimi vezivi

### Standardi za laboratorijske preiskave zemljin

SIST EN ISO 22475-1 Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Metode vzorčenja in merjenje podzemne vode – 1.del: Tehnična načela za izvedbo del

SIST EN ISO 17892-1 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 1. del: Ugotavljanje vlažnosti

SIST EN ISO 17892-2 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 2. del: Ugotavljanje prostorninske gostote

SIST EN ISO 17892-3 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 3. del: Ugotavljanje gostote zrn

SIST EN ISO 17892-4 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 4. del: Ugotavljanje zrnastostne sestave

SIST EN ISO 17892-5 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 5. del: Edometriški preskus s postopnim obremenjevanjem

SIST EN ISO 17892-6 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 6. del: Preskus s konusom

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

SIST EN ISO 17892-7 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 7. del: Enoosni tlačni preskus

SIST EN ISO 17892-8 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 8. del: Nekonsolidirani nedrenirani triosni preskus

SIST EN ISO 17892-9 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 9. del: Konsolidiran triosni tlačni preskus na z vodo zasičenih zemljinah

SIST EN ISO 17892-10 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 10. del: Neposredni strižni preskus

SIST EN ISO 17892-11 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 11. del: Ugotavljanje prepustnosti

SIST EN ISO 17892-12 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 12. del: Ugotavljanje Atterbergovih meja plastičnosti

SIST EN ISO 11274 Kakovost tal - Določevanje karakteristik zadrževanja vode - Laboratorijske metode

**Standardi za terenske preiskave zemljin**

SIST EN ISO 22282-1 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Hidrogeološke preiskave - 1. del: Splošna pravila

SIST EN ISO 22282-2 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Hidrogeološke preiskave - 2. del: Ugotavljanje vodoprepustnosti v vrtini z uporabo odprtih sistemov

SIST EN ISO 22282-3 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Hidrogeološke preiskave - 3. del: Tlačni preskus v kamninah (VDP)

SIST EN ISO 22282-4 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Hidrogeološke preiskave - 4. del: Črpalni preskus

SIST EN ISO 22282-5 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Hidrogeološke preiskave - 5. del: Infilometrski preskus

SIST EN ISO 22282-6 Ugotavljanje vodoprepustnosti v vrtini z uporabo zaprtih sistemov

SIST EN ISO 22476-1 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Preskušanje na terenu - 1. del: Metoda električnega stožca in piezoconski penetracijski preskus

SIST EN ISO 22476-2 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Preskušanje na terenu – 2. del: Dinamični penetracijski preskus

SIST EN ISO 22476-3 Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Preskušanje na terenu – 3. del: Standardni penetracijski preskus

SIST EN ISO 22476-4 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Preskušanje na terenu - 4. del: Preskus z Ménardovim presiometrom

SIST EN ISO 22476-5 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Preskušanje na terenu - 5. del: Preskus s podajnim dilatometrom v vrtini

SIST EN ISO 22476-6 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Preskušanje na terenu - 6. del: Preskus s samouvrtanim presiometrom

SIST EN ISO 22476-7 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Preskušanje na terenu - 7. del: Preskus z bočnim tlakom v vrtini

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

SIST EN ISO 22476-8 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Preskušanje na terenu - 8. del: Preskus z vtiskovanim presiometrom

SIST EN ISO 22476-9 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Preskušanje na terenu - 9. del: Preskus s terensko krilno sondo (FVT in FVT-F)

SIST EN ISO 22476-10 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Preskušanje na terenu - 10. del: Težnostni sondirni preskus

SIST EN ISO 22476-11 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Preskušanje na terenu - 11. del: Ploskovni dilatometrijski preskus

SIST EN ISO 22476-12 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Preskušanje na terenu - 12. del: Mehanski penetracijski preskus

SIST EN ISO 22476-14 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Preskušanje na terenu - 14. del: Dinamični preskus vrtin

SIST EN ISO 22476-15 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Preskušanje na terenu - 15. del: Meritve ob vrtanju

**Standardi za laboratorijske preiskave kamenega agregata, ki se lahko uporabijo za preskuse zemljin**

SIST EN 932-2 Preskusi splošnih lastnosti agregatov - 2. del: Metode zmanjševanja laboratorijskih vzorcev

SIST EN 932-3 Preskusi splošnih lastnosti agregatov - 3. del: Postopek in izrazje poenostavljenega petrografskega opisa

SIST EN 933-1 Preskusi geometričnih lastnosti agregatov - 1. del: Ugotavljanje zrnivosti - Metoda sejanja

SIST EN 933-9 Preskusi geometričnih lastnosti agregatov - 9. del: Ugotavljanje finih delcev - Preskus z metilen modrim (vključno z dopolnilom A1)

SIST EN 1097-3 Preskusi mehanskih in fizikalnih lastnosti agregatov - 3. del: Določevanje prostorninske mase in votlin v nasutem stanju

SIST EN 1097-6 Preskusi mehanskih in fizikalnih lastnosti agregatov - 6. del: Določevanje prostorninske mase zrn in vpijanja vode

SIST EN 1097-10 Preskusi mehanskih in fizikalnih lastnosti agregatov - 10. del: Določevanje kapilarnega dviga vode

SIST EN 1744-1 Preskusi kemičnih lastnosti agregatov - 1. del: Kemijska analiza

SIST EN 13286-2 Nevezane in hidravlično vezane zmesi - 2. del: Preskusne metode za določanje laboratorijske referenčne gostote in deleža vlage - Preskus po Proctorju

SIST EN 13286-47 Nevezane in hidravlično vezane zmesi - 47. del: Preskusna metoda za ugotavljanje kalifornijskega indeksa nosilnosti (CBR), neposrednega indeksa nosilnosti (IBI) in linearnega nabrekanja

SIST EN 13286-49 Nevezane in hidravlično vezane zmesi - 49. del: Preskus pospešenega nabrekanja zemlje, obdelane z apnom in/ali hidravličnim vezivom

SIST EN 14227-15 Hidravlično vezane zmesi - Specifikacije - 15. del: Stabiliziranje zemljin s hidravličnimi vezivi

**Nacionalni standardi, primerni za preskuse in presojo rabe v zemljinah**

ASTM D6938 Standard Test Methods for In-Place Density and Water Content of Soil and Soil-Aggregate by Nuclear Methods (Shallow Depth)

BS 6031 Code of practice for earthworks

DIN 18196 Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke

DIN 18132 Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte - Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens

NF P94-068 Soils: investigation and testing. Measuring of the methylene blue adsorption capacity of a rocky soil. Determination of the methylene blue of a soil by means of the stain test

NF P94-078 Soils: investigation and testing. Post - immersion CBR - Immediate CBR - Immediate bearing index IPI - Determination on sample compacted in CBR mould

oSIST prEN 17542-3 Zemeljska dela - Geotehnični laboratorijski preskusi - 3. del: Vrednost metilen modro VBS zemljin in kamnin

### Tehnične specifikacije

Skupnost za ceste Slovenije (SCS), 1989. PTP Posebni tehnični pogoji za zemeljska dela in temeljenje (z dopolnili)

TSPI 05.100 Kategorizacija izkopov

TSC 06 100 Kamnita posteljica in povozni plato

TSC 06.512 Projektiranje, Klimatski in hidrološki pogoji

TSC 06.711 Meritev gostote in vlage, Postopek z izotopskim merilnikom

TSC 06.712 Meritve gostote, Nadomestni postopki

TSC 06.720 Meritve in preiskave, Deformacijski moduli vgrajenih materialov

TP BF-StB B 4.3 Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau. Anwendung radiometrischer Verfahren zur Bestimmung der Dichte und des Wassergehaltes von Böden. FGSV

## 10 Literatura

Gillott, J. E., 1987. Clay in engineering geology. Elsevier Science.

Kézdi, A., 1974. Handbook of Soil Mechanics. Vol.1 Soil Physics. Elsevier.

Maček, M., Mauko, A., Mladenovič, A., Majes, B., Petkovšek, A., Smolar, J., Petkovšek, A., 2013. A comparison of methods used to characterize the soil specific surface area of clays. Applied Clay Science 83–84, str. 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2013.08.026>

Maček, M., Majes, B., Petkovšek, A., 2011. Influence of mould suction on the volume - change behaviour of compacted soils during inundation. Acta geotechnica Slovenica, letnik 8, no. 2, str. 67-79

Marshall, T. J., Holmes, J. W., 1988. Soil Physics (second edition). Cambridge University Press

Petkovšek, A., Maček, M., Pavšič, P., Bohar, F., 2010. Fines characterization through the methylene blue and sand equivalent test: comparison with other experimental techniques and application of criteria to the aggregate quality assessment. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 69, 561–574. <https://doi.org/10.1007/s10064-010-0274-2>

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

Petkovšek, A., Maček, M., Majes, B., 2010. Prispevek k boljšemu prepoznavanju nabrekalnega potenciala v zemljinah in mehkih kamninah. *Geologija*, volume 53, issue 2, str. 181-196

Petkovšek, A., Maček, M., 2013. Zmrzljinska odpornost vozišč v luči toplotne hidravlične prevodnosti materialov v coni zmrzovanja. V: Zbornik referatov, 14. kolokvij o asfaltih in bitumnih. ZAS, Združenje asfalterjev Slovenije, str. 145-156

Petkovšek, A., Maček, M., Smolar, J., 2017. Testing methods for mechanically improved soils: reliability and validity. *Acta Polytechnica CTU Proceedings* 10, 16–33. <https://doi.org/10.14311/APP.2017.10.0016>

Petkovšek, A., Smolar, J., Maček, M., 2016. Mechanically treated soils - test method validity and reliability: invited lecture. V: JIRÁSKO, Daniel (ur.). *Ground improvement. 44th Conference with international participation. Foundation engineering, Brno*, str. 5-29

Vukadin, V., 2013. The improvement of the loosely deposited sands and silts with the Rapid Impact Compaction technique on Brežice test sites. *Engineering Geology* 160, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.03.025>

Žmavc, J., 1997. *Gradnja cest – voziščne konstrukcije*. UL FGG in DRC

Rüegger, R., Hufenus, R., 2003. *Bauen mit Geokunststoffen: Ein Handbuch für den Geokunststoff-Anwender*. SVG

GTR, 2003. *Technical Guideline on Embankment and Capping Layer construction*. LCPC

LCPC, 2003. *Practical Manual for the Use of Soils and Rocky Materials in Embankment Construction*

ZTVE 94. *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Strassenbau*

## Dodatek 1. Razvrščanje zemljin v skupine za zemeljska dela po načelih SIST EN 16907-2

### D.1.1 Načela razvrščanja zemljin za zemeljska dela – opis in analiza posebnosti

Slovenski standard SIST EN 16907, sprejet v letu 2019, uvaja načela, splošna pravila in razvrščanje zemljin za zemeljska dela, ki temeljijo na drugačnih principih kot načela, ki jih uveljavljajo standard za razvrščanje zemljin SIST EN ISO 14688-2, Posebni tehnični pogoji za zemeljska dela v Sloveniji (PTP, 1989) ter izkušnje v Sloveniji.

Prva izdaja TSPI – PG.05.201 in TSPI – PG.05.202 izpostavlja temeljne razlike med novimi načeli po SIST EN 16907 ter nacionalno tradicijo razvrščanja in presoje primernosti zemljin za zemeljska dela v Sloveniji. SIST EN 16907 izrecno poudarja pomen nacionalnih izkušenj pri razvrščanju zemljin za zemeljska dela, zato načela, zapisana v teh TSPI ne odstopajo od zahtev SIST EN 16907.

Razvrščanje po SIST EN 16907-2 temelji na naslednjih indeksnih kazalnikih:

- velikost zrn, določena s kriteriji vsebnosti velikosti zrn pri nazivnih odprtinah sit: 63 mm, 2 mm in 0,063 mm
- koeficient enakomernosti ( $C_U$ ). Za razvrščanje je referenčni kriterij pri mejni vrednosti  $C_U = 6$
- Atterbergove meje plastičnosti. Za razvrščanje sta referenčna kriterija meja židkosti pri vrednostih 35 %, 50 % in 70 % in indeks plastičnosti pri vrednostih 12 %, 22 % in 40 %
- MB vrednost. Za razvrščanje so mejni kriteriji vrednosti podani kot  $V_{BS}$ : 1,5, 2,5 in 6
- vsebnost organskih snovi. Za razvrščanje so mejni kriteriji določeni s kvantitativno kemijsko analizo vsebnosti organskih snovi, določeni z žarjenjem pri: 2 %, 6 % in 20 %.

Kljub dolgoletni rabi preiskave MB za presojo kakovosti finih zrn v zmesi kamnitih zrn v kamenem agregatu in dokazani veliki občutljivosti MB testa na zaznavanje aktivnih glin v finih zrnih zemljine, mejne vrednosti MB še niso bile formalno sprejete v TSC 06.100 in TSC 06.200, niti za zemljine v okviru dodatkov k PTP 1989. Uvedba  $V_{BS}$  je v Sloveniji novost, saj še ni bila načrtno raziskana. Potrebne bodo načrtno primerjalne preiskave, preden bo moč kriterij  $V_{BS}$  zapisati v TSPI ali v novelo zelene knjige PTP 1989.

### D.1.2 Določitev skupin in vrst zemljin za zemeljska dela po SIST EN 16907-2

#### D.1.2.1 Opis

Zemljine za zemeljska dela so po SIST EN 16907-2 razvrščene v pet glavnih skupin, v vsaki glavni skupini je več skupin. Glavne skupine zemljin so naslednje:

- materiali, ki vsebujejo zrna večja od 63 mm. V to glavno skupino sta razvrščeni dve skupini zemljin: zelo debelozrnate zemljine (VC1) in zemljine z zelo debelimi zrni (VC2) **(Preglednica D.1)**
- materiali, ki vsebujejo zrna, ki niso večja od 63 mm in vsebujejo < 2 % organskih snovi ter < 15 % finih zrn. Vključujejo:
  - debelozrnate zemljine, ki vsebujejo < 5 % finih zrn, to so čisti gramozni in peski. Glede na koeficient enakomernosti  $C_U$  so gramozni razvrščeni v skupini G1 in G2, peski pa v skupini S1 in S2
  - kompozitne zemljine, ki vsebujejo 5 % – 15 % finih zrn. Gramozni so razvrščeni v skupini G3 in G4, peski pa v skupini S3 in S4 **(Preglednica D.2)**
- materiali, ki vsebujejo zrna, ki niso večja od 63 mm in vsebujejo < 2 % organskih snovi in >15 % finih zrn. Vključujejo:

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

- vmesne zemljine, v katerih je delež finih zrn med 15 % in 35 %. Glede na indeks plastičnosti ( $I_p$ ) in MB vrednost, podano kot  $V_{BS}$ , se delijo na skupine I1 in I2 ter IL in IM
- drobnozrnate zemljine, ki vsebujejo > 35 % finih zrn. Glede na položaj v diagramu plastičnosti ter MB vrednost, podano kot  $V_{BS}$ , se delijo v 8 skupin (F1 do F4 in FL, FM, FH in FV) (**Preglednica D.3**)
- Organski materiali. Merila za razvrščanje določa kvantitativna vsebnost organskih snovi > 2 %. V tej skupini so tri vrste zemljin (O1 do O3) (**Preglednica D.4**)
- Antropogeni materiali. Razvrščeni so v 3 skupine (AN, AM in AR). V skupini AN so naravne zemljine, vgrajene v nasipe, drenaže ipd. V skupini AM so materiali iz alternativnih virov, kot so pepeli, žlindre, lahki agregati iz ekspandirane gline ipd. V skupini AR so recikrirani materiali, npr. recikrirani gradbeni odpadki, sekanci iz gume, rezkani asfalti ipd. (**Preglednica D.5**).

**Preglednica D.1:** Razvrščanje zelo debelozrnatih zemljin za zemeljska dela po SIST EN 16907-2 z razlago.

**Zemljine vsebujejo zrna > 63 mm**

Ime	Oznaka	Opis	Opomba	Razlaga
Zelo debelozrnate zemljine	VC1	Materiali LBo, Bo in Co. Velikost in delež zelo debelih zrn se določi z opisom. Obnašanje določajo zrna > 63 mm. Vsebnost vode oz. količina toka vode ne vpliva na obnašanje. Razvrščanje zrn < 63 mm se izvede po Preglednici D.2.	Primerjaj tudi TSPI – PG.05.100	V Sloveniji se pri gradnji nasipov prometne infrastrukture zelo debelozrnate zemljine uporabljajo pod posebnimi pogoji vgrajevanja in nadzora kakovosti. V široki rabi so za kamnita drenažna rebra, erozijsko zaščito na brežinah, izpostavljenih vzdolžni eroziji ter za gradnjo ojačitvenih reber v mehkih temeljnih tleh.
Zemljine z debelimi zrn	VC2	Razvrstitev zemljin je odvisna od deleža zelo debelih zrn. Obnašanje zemljine določajo zrna velikosti ≤ 63 mm. Razvrščanje zrn < 63 mm se izvede po Preglednici D.2.	Primerjaj tudi TSPI – PG.05.100	V to skupino zemljin se uvrščajo predvsem ledeniški sedimenti. Praviloma se za rabo v nasipih najprej odsejejo zrna nad 125 mm.

## RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN

**Preglednica D.2:** Razvrščanje debelozrnatih in kompozitnih zemljin za zemeljska dela po SIST EN 16907-2 z razlago.

**Max. zrno: 63 mm, max. vsebnost organskih snovi 2 %, max. vsebnost finih zrn 15 %**

Glavna skupina	Ime skupine	Oznaka	Frakcije			Dodatni parametri	Opombe
			Fina zrna C <sub>0,063</sub>	Pesek 0,063 mm < D ≤ 2mm	Gramoz 2mm < D ≤ 63 mm	C <sub>u</sub>	
Debelozrnat »čiste« zemljine	gramoz široko zrnat	G1	< 5 %	manj kot gramoz	več kot peska	≥ 6	običajno je zemljina uporabna v zemeljskih objektih
	gramoz ozko zrnat	G2				< 6	
	pesek široko zrnat	S1		več kot gramoz	manj kot peska	≥ 6	
	pesek ozko zrnat	S2				< 6	
Kompozitne zemljine	mešanica gramoz in finih zrn široko zrnata	G3	5 % do 15 %	manj kot gramoz	več kot peska	≥ 6	
	mešanica gramoz in finih zrn ozko zrnata	G4				< 6	
	mešanica peska in finih zrn široko zrnata	S3		več kot gramoz	manj kot peska	≥ 6	
	mešanica peska in finih zrn ozko zrnata	S4				< 6	

**Preglednica D.3:** Razvrščanje zemljin za zemeljska dela po SIST EN 16907-2 z razlago.

**Max. zrno: 63 mm, vsebnost organskih snovi max. 2 %, vsebnost finih zrn > 15 %**

Glavna skupina	Ime	Oznaka	Fina zrna C <sub>0,063</sub>	Dodatni parametri za razvrščanje		Opombe
				Meja židkosti w <sub>L</sub>	Indeks plastičnosti I <sub>p</sub> in (MB) kot V <sub>BS</sub>	
Vmesne zemljine	vmesne zemljine nizke plastičnosti	I1	15 do 35 %		≤ 12 % (≤ 1,5)	Običajno je zemljina uporabna v zemeljskih objektih.
		IL		≤ 35 %		
	vmesne zemljine visoke plastičnosti	I2			> 12 % (> 1,5)	
		IM		> 35 %		
Drobnozrnat zemljine	nizko plastične	F1	> 35 %		≤ 12 % (≤ 2,5)	Običajno je zemljina uporabna v zemeljskih objektih. Ločitev na melje in gline se izvede na osnovi diagrama plastičnosti.
		FL		≤ 35 %		
	srednje plastične	F2			> 12 do 22 % (> 2,5 do 6)	
		FM		35 do 50 %		
	visoko plastične	F3			> 22 do 40 % (> 6)	
		FH		50 do 70 %		
	zelo visoko plastične	F4			> 40 % (n/a)	Zemljine se načeloma ocenjujejo kot neuporabne, če se ne uporabijo ustrezne izboljšave ali specifične lokalne izkušnje.
		FV		> 70 %		



## RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN

**Preglednica D.4:** Razvrščanje zemljin za zemeljska dela po SIST EN 16907-2 z razlago.

### Zemljine z vsebnostjo organskih snovi $C_{OM} > 2 \%$

Glavna skupina	Ime	Oznaka	Vsebnost organskih snovi $C_{OM}$	Opombe
Organske zemljine	nizko organske zemljine	O1	2 % do 6 %	uporabno za nasipe pri $C_{OM}$ do ca 6 % organskih snovi, čeprav se nacionalne specifikacije zelo razlikujejo
	srednje organske zemljine	O2	6 % do 20 %	
	visoko organske zemljine	O3	> 20 %	neuporabno pri zemeljskih delih
Opomba 1: Podane vrednosti temeljijo na preiskavi izgube pri žarjenju. Analitske metode ter metode z rabo npr. NaOH ali $KMnO_4$ dajejo drugačne rezultate. Opomba 2: ni enotnega EN standarda za določitev vsebnosti organskih snovi v zemljini za inženirske namene rabe				

**Preglednica D.5:** Razvrščanje zemljin za zemeljska dela po SIST EN 16907-2 z razlago.

### Antropogeni materiali

Glavna skupina	Ime	Oznaka	Velikost zrn	Primeri	Opomba
Antropogeni materiali	naravni materiali, mehansko procesirani	AN	vse velikosti	materiali v nasipih, drenažah, drobljene kamnine, prani peski	razvrščanje se izvede po tabeli D 2 – D 4
	proizvedeni materiali (vključno s stranskimi produkti)	AM		pepeli, žlindre, ekspanzirani lahki agregati	razvrščanje se izvede po tabeli D 2 – D 4 ali po specifičnih zahtevah
	reciklirani materiali	AR		drobljeni betoni, opeka, rezkanci gume, rezkanci starih vozišč	

#### D.1.2.2 Razlaga posebnosti

Pri obravnavi vsebine standarda za razvrščanje geoloških materialov pri zemeljskih delih po SIST EN 16907-2 je treba izpostaviti več posebnosti, ki bodo imele dolgoročni vpliv in bodo zahtevale spremembe slovenskih tehničnih specifikacij za zemeljska dela, v kolikor se sprejmejo z neposrednim sklicem na standard. V nadaljevanju so izpostavljene najpomembnejše:

- MB vrednost je podana kot  $V_{BS}$  za zrnavost 0/5 mm namesto za 0/2 mm za MB in 0/0,125 mm za  $MB_f$ . Podana je v g/100 g in ne v g/1000 g. Postopek in mejne vrednosti temeljijo na francoskem standardu NF P 94-068. Kriterijev  $V_{BS}$  ni mogoče neposredno prevajati na MB in  $MB_f$  in obratno.
- SIST EN 16907-2 uvaja nove termine pri razvrščanju debelo-zrnatih zemljin in sicer:
  - kompozitne zemljine: gramozi in peski: vsebujejo 5 – 15 % finih zrn. To je pomembna razlika glede na USCS klasifikacijo, ki za razvrščanje uporablja zgornjo mejo 12 % finih zrn
  - vmesne zemljine: gramozi in peski s 15 do 35 % finih zrn. Ta termin doslej pri zemeljskih delih ni bil prisoten
  - drobnozrnate zemljine: vse zemljine z > 35 % finih zrn. V dosednji praksi je bila meja finih zrn za drobno zrnate zemljine pri vsebnosti finih zrn > 50 %
  - kriterij zrnivosti  $C_U$  pri vrednosti  $\geq 6$  in  $< 6$  se uporablja za ločevanje med široko zrnatimi in ozko zrnatimi zemljinami. Gre za znatno razliko glede na kriterije SIST EN ISO 14688-2, ki glede na porazdelitev zrn uvaja več razredov zemljin (W –

**RAZVRŠČANJE GEOLOŠKIH MATERIALOV PRI ZEMELJSKIH DELIH – SMERNICE ZA PRESOJO UPORABNOSTI ZEMLJIN**

dobro zrnata, M – srednje zrnata, G – vrzelno zrnata, P – slabo zrnata in E – enovito zrnata).

- SIST EN 16907-2 ocenjuje, da so debelozrnate in kompozitne zemljine »normalno uporabne v zemeljskih objektih« ne glede na vrednost  $C_U$ . Z vidika slovenskih izkušenj je takšna opredelitev neprimerna in zlasti mlade in malo izkušene inženirje utegne zapeljati v smer sprejemanja neustreznih odločitev (primerjaj tč. 3.2.4).
- Velika previdnost je potrebna pri rabi kriterijev za ocenjevanje organskih snovi v zemljini, ki temelji na izgubi mase pri žarjenju. Ocena, da so zemljine z  $< 6\%$  organskih primesi »normalno uporabne«, po slovenskih izkušnjah ne zdrži. Tako kot v primeru  $V_{BS}$  bo treba začeti ustvarjati bazo podatkov za slovenske zemljine z organskimi primesmi.