

# REŠEVANJE PROBLEMOV MEHANIKE TAL

Primož  
Jelušič







Univerza v Mariboru

---

Fakulteta za gradbeništvo,  
prometno inženirstvo in arhitekturo

# Reševanje problemov mehanike tal

Avtor

**Primož Jelušič**

Junij 2021

<b>Naslov</b> <i>Title</i>	<b>Reševanje problemov mehanike tal</b> <i>Solving Problems in Soil Mechanics</i>		
<b>Avtor</b> <i>Author</i>	Primož Jelušič (Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo)		
<b>Recenzija</b> <i>Review</i>	Bojan Žlender (Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo)		
	Stanislav Lenart (Zavod za gradbeništvo Slovenije)		
<b>Jezikovni pregled</b> <i>Language editing</i>	Jasna Jelušič		
<b>Tehnični urednik</b> <i>Technical editor</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)		
<b>Oblikovanje ovitka</b> <i>Cover designer</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)		
<b>Grafike na ovitku</b> <i>Cover graphics</i>	Zemlja, avtor: Die_Sonja (Pixabay)	<b>Grafične priloge</b> <i>Graphic material</i>	Avtor
<b>Založnik</b> <i>Published by</i>	Univerza v Mariboru Univerzitetna založba Slomškovo trg 15, 2000 Maribor, Slovenija <a href="https://press.um.si">https://press.um.si</a> , <a href="mailto:zalozba@um.si">zalozba@um.si</a>		
<b>Izdajatelj</b> <i>Co-published by</i>	Univerza v Mariboru Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija <a href="https://www.fgpa.um.si">https://www.fgpa.um.si</a> , <a href="mailto:fgpa@um.si">fgpa@um.si</a>		
<b>Izdaja</b> <i>Edition</i>	Prva izdaja	<b>Izdano</b> <i>Published at</i>	Maribor, junij 2021
<b>Vrsta publikacije</b> <i>Publication type</i>	E-knjiga	<b>Dostopno na</b> <i>Available at</i>	<a href="https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/565">https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/565</a>

CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Univerzitetna knjižnica Maribor

624.131 (075.8) (0.034.2)

JELUŠIČ, Primož

Reševanje problemov mehanike tal [Elektronski vir] / avtor Primož Jelušič. - 1. izd. - E-knjiga. - Maribor : Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba, 2021

Način dostopa (URL):

<https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/565>

ISBN 978-961-286-463-7 (PDF)

doi: 10.18690/978-961-286-463-7

COBISS.SI-ID 65816323



© Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba  
/ University of Maribor, University Press  
Besedilo / Text © Jelušič, 2021

To delo je objavljeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva-Deljenje pod enakimi pogoji 4.0 Mednarodna. / This work is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Uporabnikom se dovoli reproduciranje, distribuiranje, dajanje v najem, javno priobčitev in predelavo avtorskega dela, če navedejo avtorja in širijo avtorsko delo/predelavo naprej pod istimi pogoji. Za nova dela, ki bodo nastala s predelavo, je tudi dovoljena komercialna uporaba.

Vsa gradiva tretjih oseb v tej knjigi so objavljena pod licenco Creative Commons, razen če to ni navedeno drugače. Če želite ponovno uporabiti gradivo tretjih oseb, ki ni zajeto v licenci Creative Commons, boste morali pridobiti dovoljenje neposredno od imetnika avtorskih pravic.

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

**ISBN** 978-961-286-463-7 (pdf)

**DOI** <https://doi.org/10.18690/978-961-286-463-7>

**Cena**  
*Price* Brezplačni izvod

**Odgovorna oseba založnika**  
*For publisher* prof. dr. Zdravko Kačič,  
rektor Univerze v Mariboru

**Citiranje**  
*Attribution* Jelušič, P. (2021). *Reševanje problemov mehanike tal*. Maribor: Univerzitetna založba. doi: 10.18690/978-961-286-463-7

# Kazalo

<b>Predgovor.....</b>	<b>1</b>
<b>1 Uvod .....</b>	<b>3</b>
Naloga 1.1 .....	5
Naloga 1.2 .....	5
Naloga 1.3 .....	6
Naloga 1.4 .....	6
<b>2 Klasifikacija zemljin .....</b>	<b>7</b>
Naloga 2.1 .....	8
Naloga 2.2: .....	11
Naloga 2.3 .....	12
Naloga 2.4 .....	12
<b>3 Trifazni sestav zemljine .....</b>	<b>15</b>
Naloga 3.1 .....	16
Naloga 3.2: .....	17
Naloga 3.3 .....	17
Naloga 3.4 .....	18
Naloga 3.5: .....	18
<b>4 Napetosti v zemljini .....</b>	<b>23</b>
Naloga 4.1 .....	23
Naloga 4.2: .....	23
<b>5 Napetosti v sloju tal .....</b>	<b>25</b>
Naloga 5.1: .....	25
Naloga 5.2: .....	26
Naloga 5.3: .....	26
Naloga 5.4: .....	27
Naloga 5.5: .....	27
<b>6 Darcyjev zakon .....</b>	<b>29</b>
Naloga 6.1: .....	30
Naloga 6.2: .....	30
<b>7 Prepustnost zemljin.....</b>	<b>33</b>
Naloga 7.1: .....	34
Naloga 7.2: .....	35
Naloga 7.3: .....	35
Naloga 7.4: .....	37

<b>8</b>	<b>Precejanje podzemne vode.....</b>	<b>39</b>
	Naloga 8.1 : .....	39
	Naloga 8.2: .....	40
<b>9</b>	<b>Napetosti in deformacije.....</b>	<b>43</b>
	Naloga 9.1: .....	43
	Naloga 9.2: .....	44
<b>10</b>	<b>Eno-dimenzionalni tlak .....</b>	<b>47</b>
	Naloga 10.1:.....	48
	Naloga 10.2:.....	51
	Naloga 10.3:.....	52
<b>11</b>	<b>Konsolidacija .....</b>	<b>53</b>
	Naloga 11.1:.....	53
	Naloga 11.2:.....	54
	Naloga 11.3:.....	55
	Naloga 11.4:.....	57
	Naloga 11.5:.....	59
<b>12</b>	<b>Lezenje .....</b>	<b>61</b>
	Naloga 12.1:.....	61
	Naloga 12.2:.....	61
<b>13</b>	<b>Strižna trdnost .....</b>	<b>63</b>
	Naloga 13.1:.....	63
	Naloga 13.2:.....	64
	Naloga 13.3:.....	66
<b>14</b>	<b>Določitev parametrov strižne trdnosti .....</b>	<b>67</b>
	Naloga 14.1:.....	68
	Naloga 14.2:.....	69
	Naloga 14.3:.....	70
	Naloga 14.4:.....	71
	Naloga 14.5:.....	72
	Naloga 14.6:.....	73
	Naloga 14.7:.....	74
	Naloga 14.8:.....	76
<b>15</b>	<b>Napetosti – teorija elastičnosti.....</b>	<b>79</b>
	Naloga 15.1:.....	79
	Naloga 15.2:.....	81
<b>16</b>	<b>Stabilnostna analiza .....</b>	<b>85</b>
	Naloga 16.1 .....	85
	Naloga 16.2:.....	89
	Naloga 16.3:.....	93
	Naloga 16.4:.....	97
	<b>Literatura .....</b>	<b>101</b>

## Predgovor

Učbenik je napisan za študente dodiplomskega študija na Fakulteti za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, Univerze v Mariboru. Namen učbenika je predstaviti osnovne postopke za ovrednotenje fizikalnih in mehanskih lastnosti zemljin, ki so osnova za učinkovito reševanje problemov v geotehniko. Za razumevanje tega učbenika je zaželeno osnovno teoretično znanje mehanike tal, ki je podano v učbeniku z naslovom »Izbrana poglavja mehanike tal«. Vsebine mehanike tal so medsebojno povezane, zato jih je težko ločiti na posamezna poglavja. Glede na obstoječo literaturo s področja mehanike tal je vsebina učbenika razdeljena na 16 poglavij: Uvod, Klasifikacija zemljin, Trifazni sestav zemljine, Napetosti v zemljini, Napetosti v sloju tal, Darcyjev zakon, Prepustnost zemljin, Precejanje podzemne vode, Napetosti in deformacije, Enodimenzionalni tlak, Konsolidacija, Lezenje, Strižna trdnost, Določitev parametrov strižne trdnosti, Napetosti-teorija elastičnosti in Stabilnostna analiza.

Učbenik zajema vsebino predmeta Mehanika tal, ki se izvaja v 1 letniku visokošolskega študijskega programa Gradbeništvo na Fakulteti za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo. Učbenik se uporablja tudi kot študijsko gradivo pri ostalih predmetih s področja geotehnike univerzitetnega študijskega programa 1. in 2. stopnje.

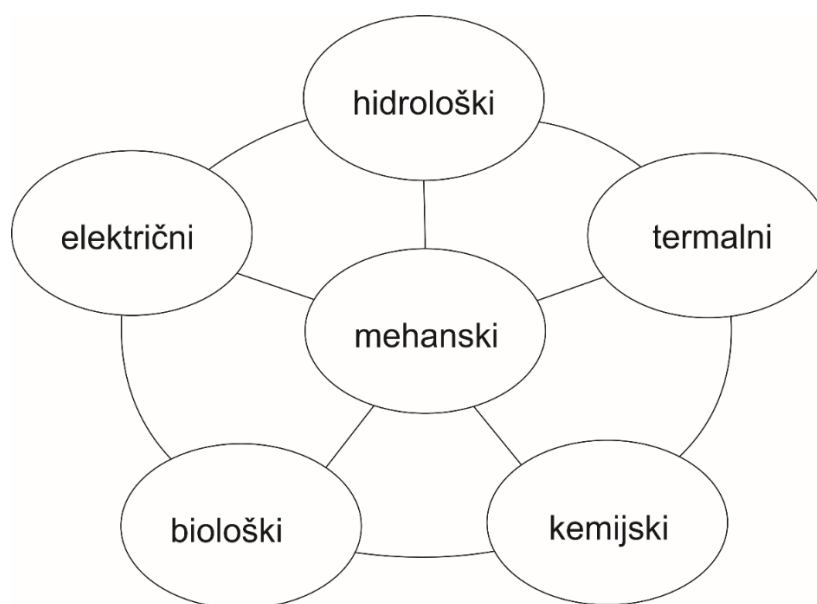
Za skrben pregled učbenika in konstruktivne pripombe se zahvaljujem prof. dr. Bojanu Žlendru in doc. dr. Stanislavu Lenartu.





# 1 Uvod

Za gradbenega inženirja običajno geološka zgodovina zemljine ni tako pomembna, saj najpogosteje išče relacije med napetostjo in deformacijo, ki jih lahko dobi s terenskimi in z laboratorijskimi preiskavami. V nekaterih primerih pa je vendarle potrebno poznati nekaj informacij o nastanku in zgodovini zemljine, da lahko razumemo fizikalne, mehanske in kemijske lastnosti zemljine. Mehanika tal je aplikacija mehanike trdnin na področju zemljine, z namenom napovedati deformacijske in trdnostne lastnosti zemljine [1-4]. Na mehanske lastnosti zemljine pa vplivajo hidrološki, termalni, kemijski, biološki in električni parametri ter napetostna zgodovina.



Slika 1: Medsebojna odvisnost parametrov zemljine.

V Sloveniji za laboratorijsko preskušanje zemljin uporabljamo naslednje standarde:

SIST EN ISO 14688-1:2018. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Prepoznavanje in razvrščanje zemljin - 1. del: Prepoznavanje in opisovanje (ISO 14688-1:2017) [5].

SIST EN ISO 14688-1:2004/A1:2013. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Prepoznavanje in razvrščanje zemljin - 1. del: Prepoznavanje in opisovanje (ISO 14688-1:2002/A1:2013) [6].

SIST EN ISO 17892-2:2015. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 2. del: Ugotavljanje prostorninske gostote (ISO 17892-2:2014) [7].

SIST EN ISO 17892-3:2016. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 3. del: Ugotavljanje gostote zrn (ISO 17892-3:2015) [8].

SIST EN ISO 17892-4:2017. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 4. del: Ugotavljanje zrnastne sestave (ISO 17892-4:2016) [9].

SIST EN ISO 17892-5:2017. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 5. del: Edometriški preskus s postopnim obremenjevanjem (ISO 17892-5:2017) [10].

SIST EN ISO 17892-6:2017. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 6. del: Preskus s konusom (ISO 17892-6:2017) [11].

SIST EN ISO 17892-7:2018. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 7. del: Enoosni tlačni preskus (ISO 17892-7:2017) [12].

SIST EN ISO 17892-8:2018. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 8. del: Nekonsolidirani nedrenirani triosni preskus (ISO 17892-8:2018) [13].

SIST EN ISO 17892-9:2018. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 9. del: Konsolidiran triosni tlačni preskus na z vodo zasičenih zemljinah (ISO 17892-9:2018) [14].

SIST EN ISO 17892-10:2019. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 10. del: Neposredni strižni preskus (ISO 17892-10:2018) [15].

SIST EN ISO 17892-11:2019. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 11. del: Ugotavljanje prepustnosti (ISO 17892-11:2019) [16].

SIST EN ISO 17892-12:2018. Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 12. del: Ugotavljanje meje tekočine in plastičnosti (ISO 17892-12:2018) [17].

## NALOGE

**Naloga 1.1:** Ali je razmerje med horizontalnimi in vertikalnimi komponentami napetosti v bližini rečnih strug relativno veliko ali majhno?

---

---

---

Odgovor: Relativno majhno.

**Naloga 1.2:** Zemljina na dnu severnega morja blizu Norveške je veliko bolj toga kot zemljina na dnu severnega morja blizu Londona. Kaj je razlog za različno togost zemljine?

---

---

---

Odgovor: Zemljina blizu Norveške je bila v preteklosti obremenjena z ledom in je bila izpostavljena višji napetosti. Takšno zemljino imenujemo prekonsolidirana zemljina.

**Naloga 1.3:** Stolp se je nagnil zaradi spremenljive debeline sloja gline pod terenom. Na kateri strani je debelina sloja debelejša?

---

---

---

Odgovor: Na strani, kjer je stolp nižji, ker je skrček debelejšega sloja večji.

**Naloga 1.4:** Obstoječi objekt smo porušili z namenom, da na lokaciji ob njem zgradimo novi stolp. Novo zgrajeni stolp se je nagnil. Na kateri strani stolpa je bil obstoječi objekt?

---

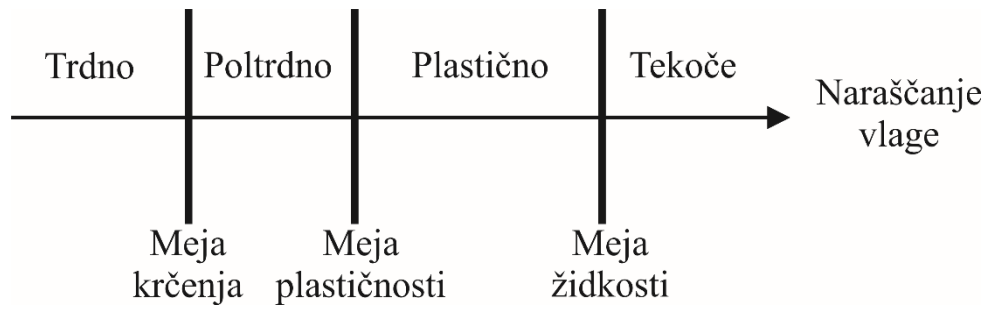
---

---

Odgovor: Na strani, kjer je stolp višji, ker je skrček sloja manjši. Tla so bila rla v pretoklosti že izpostavljena višji napetosti.

## 2 Klasifikacija zemljin

Zemljine se zelo razlikujejo po velikosti zrn. Tudi glede na vrsto in količino glinenih mineralov so lahko plastične lastnosti tal zelo različne. Različne vrste inženirskih del zahtevajo identifikacijo in razvrstitev tal na terenu. Pri načrtovanju temeljev, podpornih konstrukcij, gradnji avtocest itd. je potrebno tla razporediti v posebne skupine in/ali podskupine glede na njihovo zrnavost in plastičnost. Postopek razvrščanja tal v različne skupine se imenuje klasifikacija tal. Ko koherentno zemljino zmešamo s prekomerno količino vode, bo v nekoliko tekočem stanju in bo tekla kot viskozna tekočina. Ko pa se ta viskozna tekočina postopoma suši, bo z izgubo vode prešla v plastično stanje. Z nadaljnjim zmanjšanjem vode bodo tla prešla v poltrdo in nato v trdno stanje. To je prikazano na sliki spodaj. Vsebnost vlage (v odstotkih), pri kateri bo koherentna zemljina prešla iz tekočega v plastično stanje, se imenuje meja židkosti. Podobno se vsebnost vlage (v odstotkih), pri kateri se tla iz plastičnega spremeni v poltrdo stanje imenuje meja plastičnosti in prehod iz poltrdnega stanja v trdno stanje imenuje meja krčenja. Te meje se imenujejo Atterbergove meje.

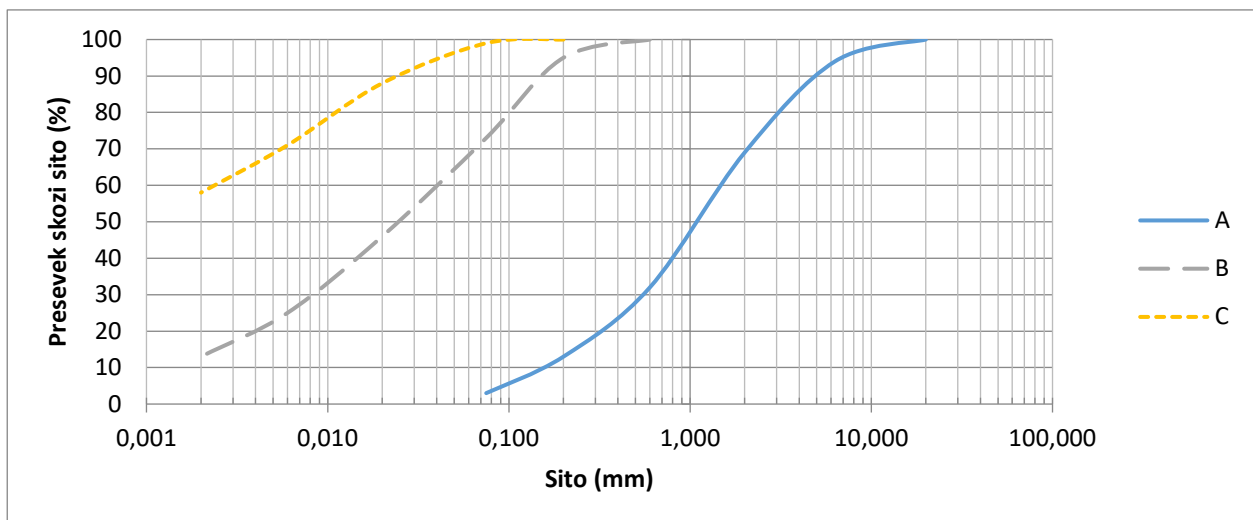


Slika 2: Vpliv vlažnosti na konsistenco zemljine.

## NALOGE

**Naloga 2.1:** Na podlagi sejalne analize in Atterbergove mej klasificirajte zemljine A, B in C.

	A	B	C
63,000 mm			
20,000 mm	100		
6,300 mm	94		
2,000 mm	69		
0,600 mm	32	100	
0,200 mm	13	95	100
0,075 mm	3	73	99
0,020 mm		46	88
0,006 mm		25	71
0,002 mm		13	58
<b>Meja židkosti (%)</b>		32	78
<b>Meja plastičnosti (%)</b>		24	31



Slika 3: Sejalna analiza.




**Rešitve:****Vzorec A:**

Več kot 50 % zrn je večjih od 0,063 mm → grobozrnata zemljina.

Več kot 50 % grobozrnatih frakcij zrn je manjših od 2 mm → pesek (oznaka S).

Manj kot 5 % drobnozrnatih primesi → SW ali SP.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1,4 \text{ mm}}{0,15 \text{ mm}} = 9,33 > 6$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{(0,54 \text{ mm})^2}{0,15 \text{ mm} \cdot 1,4 \text{ mm}} = 1,39$$

Pogoja za dobro granuliran pesek sta  $C_u > 6$  in  $1 < C_c < 3$ . Vrednost koeficientov ustreza pogojema zato je SW (dobro granuliran pesek).

**Vzorec B:**

Več kot 50 % zrn je manjših od 0,063 mm → drobnozrnata zemljina.

Meja židkosti znaša 32% in meja plastičnosti 24 %.

Izračunamo indeks plastičnosti:

$$PI = w_L - w_P = 32 \% - 24 \% = 8\%$$

Na podlagi meje židkosti in indeksa plastičnosti lahko klasificiramo zemljino kot ML (melj nizke plastičnosti).

**Vzorec C:**

Več kot 50 % zrn je manjših od 0,063 mm → drobnozrnata zemljina.

Meja židkosti znaša 78 % in meja plastičnosti 31 %.



Izračunamo indeks plastičnosti:

$$PI = w_L - w_P = 78 \% - 31 \% = 47 \%$$

Na podlagi meje židkosti in indeksa plastičnosti lahko klasificiramo zemljino kot CV (glina zelo velike plastičnosti).

**Naloga 2.2:** V preglednici so podani rezultati, ki smo jih dobili z metodo konusnega penetrometra (Britanski konus). Meja plastičnosti znaša 27 %. Določite mejo židkosti, indeks plastičnosti in klasificirajte zemljino.

<b>Penetracija (mm)</b>	14,7	16,8	19,1	21,2	23,3	24,8
<b>Vlačnost (%)</b>	50,7	52,9	54,2	56,0	57,4	58,8



**Rešitev:**

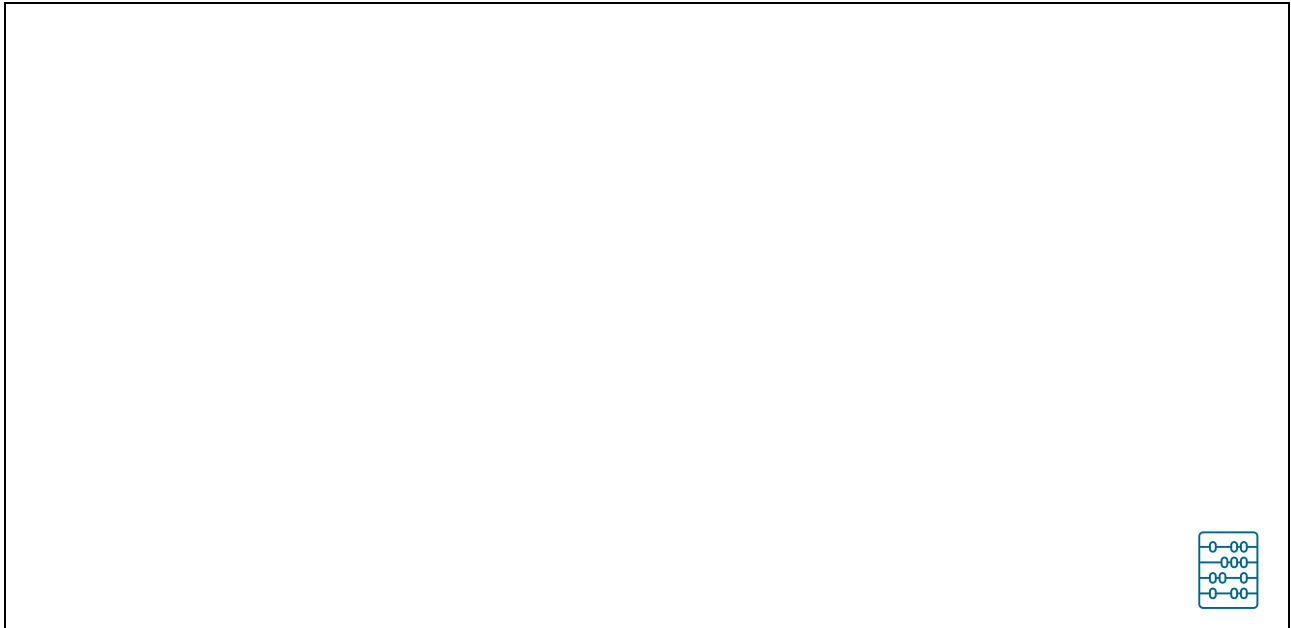
Meja židkosti je določena pri penetraciji 20 mm. Torej na podlagi podatkov v preglednici dobimo mejo židkosti  $w_L = 55 \%$ .

Izračunamo indeks plastičnosti:

$$PI = w_L - w_P = 55 \% - 27 \% = 28 \%$$

Na podlagi meje židkosti in indeksa plastičnosti lahko klasificiramo zemljino kot CH (glina velike plastičnosti).

**Naloga 2.3:** Naravna vlažnost gline CH (glej nalogo 2.2) znaša 34 %. Izračunajte indeks židkosti in indeks konsistence.



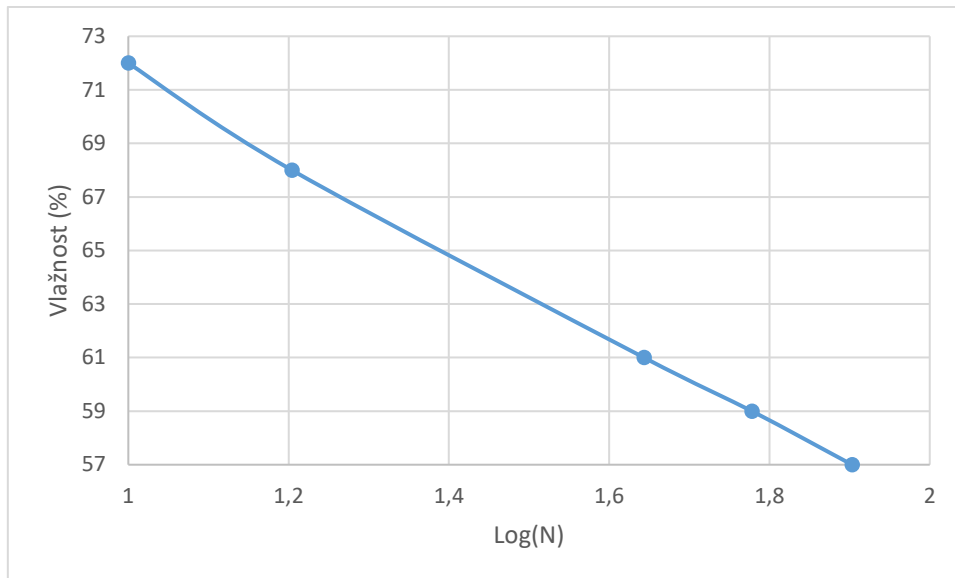
**Rešitev:**

$$I_c = \frac{w_L - w_p}{w - w_p} = \frac{55\% - 27\%}{55\% - 34\%} = 0,75$$

$$I_L = \frac{w_L - w_p}{w - w_p} = \frac{55\% - 27\%}{34\% - 27\%} = 0,25$$

**Naloga 2.4:** Uporabili smo Casagrandejev aparat za določanje meje židkosti Vsakemu testnemu vzorcu smo določili vlažnost in pripadajoče število padcev skodelice. Rezultati so podani v preglednici:

Št. padcev skodelice (-)	10	16	44	60	80
Vlažnost (%)	72	68	61	59	57



Slika 4: Določanje meje židkosti.

Odgovor: Meja židkosti znaša 64,9 %.



### 3 Trifazni sestav zemljine

Specifična teža določenega materiala je definirana kot razmerje med težo določenega volumna materiala in težo destilirane vode enake prostornine. V mehaniki tal je specifična teža trdnih snovi v tleh (pogosto jo imenujemo specifična teža zemljine) pomemben parameter za izračun razmerja med težo in prostornino. Tako je specifična teža  $G_s$  zapisana kot:

$$G_s = \frac{m_s/V_s}{\rho_w}$$

pri čemer so je  $m_s$  masa trdnih delcev,  $V_s$  volumen trdnih delcev in  $\rho_w$  gostota vode. Običajne vrednosti specifične prostorninske teže za različne zemljine so podane v preglednici:

**Preglednica 1: Specifična prostorninska teža različnih zemljin.**

Tip zemljine	Običajne vrednosti
pesek	2,63 – 2,67
melj	2,65 – 2,70
glina	2,67 – 2,90
organska zemljina	manj kot 2,0

Postopek določitve specifične trdnine so različni, a osnovni koraki so:

- 1) Stehtamo piknometer ( $m_p$ ), katerega volumen poznamo ( $V_p$ ).
- 2) V piknometer nasujemo popolnoma osušeno zdrobljeno trdnino določene mase in vse skupaj stehtamo ( $m_{ps}$ ).
- 3) Dolijemo vodo v piknometer do vrha in pokrijemo s pokrovom, ki omogoča odstranitev odvečne vode skozi kapilaro. Nato stehtamo maso piknometra skupaj s maso vzorca in dolito vodo ( $m_{pp}$ ).
- 4) Izračunamo s pomočjo enačbe  $G_s$ :

$$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

$$\rho_s = \frac{m_{ps} - m_p}{V_p - \frac{m_{pp} - m_{ps}}{\rho_w}}$$



Slika 5: Piknometer

## NALOGE

**Naloga 3.1:** Poroznost zemljine znaša 42,83 %. Izračunajte količnik por in ga izrazite v procentih.

**Rešitev:**

Količnik por lahko podamo s poroznostjo z izrazom:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1-n} = \frac{42,83\%}{100\% - 42,83\%} = 0,7492 = 74,92\%$$

**Naloga 3.2:** Poroznost sloja zemljine znaša 40,10 %. Debelina sloja znaša 4,4 m. Po obremenitvi debelina sloja znaša 4,1 m. Izračunajte končno poroznost sloja po obremenitvi.


**Rešitev:**

$$n_f = \frac{h_f}{h_f - h_s} = \frac{4,1\text{ m}}{4,1\text{ m} - 2,636\text{ m}} = 0,357 = 35,7\%$$

$$h_s = (1 - n_f) \cdot h_f$$

$$h_s = (1 - n_0) \cdot h = (1 - 0,4010) \cdot 4,4\text{ m} = 2,636\text{ m}$$

**Naloga 3.3:** Poroznost sloja zemljine znaša 40,97 %. Debelina sloja znaša 4,3 m. Po obremenitvi se poroznost zmanjša na 37,32 %. Izračunajte končno debelino sloja po obremenitvi.



$$h_f = h - n_0 \cdot h + n_f \cdot h = 4,3\text{ m} - 0,4097 \cdot 4,3\text{ m} + 0,3732 \cdot 4,3\text{ m} = 4,14\text{ m}$$

**Naloga 3.4:** Menzura vsebuje  $69,93 \text{ cm}^3$  vode. Količino peska dodamo v menzuro, zato se nivo vode se dvigne. Skupni volumen v menzuri sedaj znaša  $85,89 \text{ cm}^3$ . Volumen zemljine v menzuri znaša  $27,52 \text{ cm}^3$ . Izračunajte poroznost v procentih!



$$n = \frac{V}{V_s} = \frac{(85,89 \text{ cm}^3 - 69,93 \text{ cm}^3)}{(85,89 \text{ cm}^3 + 27,52 \text{ cm}^3 - 69,93 \text{ cm}^3)} = 0,367 = 36,7\%$$

**Naloga 3.5:** Sloj nekoherentne zemljine ima poroznost 44 %, vlažnost 28 % ter specifično gravitacijo trdnine 2,7 ( $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ ). Poznani sta tudi poroznosti v najbolj zbitem stanju, 34 %, in v najbolj razrahljanem stanju, in sicer 64 %. Določite:

- a) prostorninsko težo trdnine,
- b) naravno prostorninsko težo,
- c) zasičeno prostorninsko težo,
- d) suho prostorninsko težo,
- e) potopljeno prostorninsko težo in
- f) relativno gostoto podane zemljine.



a)

b)

c)



d)

e)

f)



**Rešitev:**

$$a) \quad \gamma_s = G_s \cdot \gamma_w = 2,7 \cdot 9,81 \text{ kN/m}^3 = 26,5 \text{ kN/m}^3$$

$$b) \quad \gamma = \frac{\gamma_s \cdot V_s + \gamma_w \cdot V_w}{V} = \frac{\gamma_s \cdot (V - n \cdot V) + \gamma_w \cdot S_r \cdot n \cdot V}{V} = \gamma_s \cdot (1 - n) + \gamma_w \cdot S_r \cdot n$$

$$w = \frac{m_w}{m_s} = \frac{\rho_w \cdot V_w}{\rho_s \cdot V_s} = \frac{\rho_w \cdot (S_r \cdot V_v)}{\rho_s \cdot V_s} = \frac{S_r \cdot e}{G_s} = \frac{S_r \cdot n}{G_s \cdot (1 - n)} \rightarrow S_r = \frac{w \cdot G_s \cdot (1 - n)}{n} =$$

$$S_r = \frac{0,28 \cdot 2,7 \cdot (1 - 0,44)}{0,44} = 0,962$$

$$\gamma = 26,5 \text{ kN/m}^3 \cdot (1 - 0,44) + 9,81 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,962 \cdot 0,44 = 18,99 \text{ kN/m}^3$$

$$c) \quad S_r = 1$$

$$\gamma_{sat} = 26,5 \text{ kN/m}^3 \cdot (1 - 0,44) + 9,81 \text{ kN/m}^3 \cdot 1 \cdot 0,44 = 19,16 \text{ kN/m}^3$$

$$d) \quad S_r = 0$$

$$\gamma = 26,5 \text{ kN/m}^3 \cdot (1 - 0,44) + 9,81 \text{ kN/m}^3 \cdot 0 \cdot 0,44 = 14,84 \text{ kN/m}^3$$

$$e) \quad \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 9,35 \text{ kN/m}^3$$

$$f) \quad D_r = (e_{max} - e) / (e_{max} - e_{min})$$

$$e_{max} = n_{max} / (1 - n_{max}) = 0,64 / (1 - 0,64) = 1,778$$

$$e_{min} = n_{min} / (1 - n_{min}) = 0,34 / (1 - 0,34) = 0,515$$

$$e = n / (1 - n) = 0,44 / (1 - 0,44) = 0,786$$

$$D_r = (1,778 - 0,786) / (1,778 - 0,515) = 78,5 \%$$



## 4 Napetosti v zemljini

**Naloga 4.1:** Katera je pravilna definicija efektivne napetosti?

- a) Povprečna napetost v zemljini.                      b) Povprečna napetost med zrnji.  
c) Povprečje kontaktnih napetosti med zrnji.      d) Napetost minus vzgonska sila.  
e) Nič od naštetega.

Odgovor: c.

**Naloga 4.2:** Porozno vrečo peska vržemo v vodo na globino 2,1 m. Prostorninska teža peska znaša  $20 \text{ kN/m}^3$ . Izračunaj efektivno napetost (v kPa) v pesku?

Odgovor: Efektivna napetost je enaka nič, ker je skupna napetost enaka tlaku vode.  
 $\sigma = 2,1 \text{ m} \cdot 10 \text{ kN/m}^3 = 21 \text{ kPa}$   
 $u = 2,1 \text{ m} \cdot 10 \text{ kN/m}^3 = 21 \text{ kPa}$   
 $\sigma' = \sigma - u = 0 \text{ kPa}$



## 5 Napetosti v sloju tal

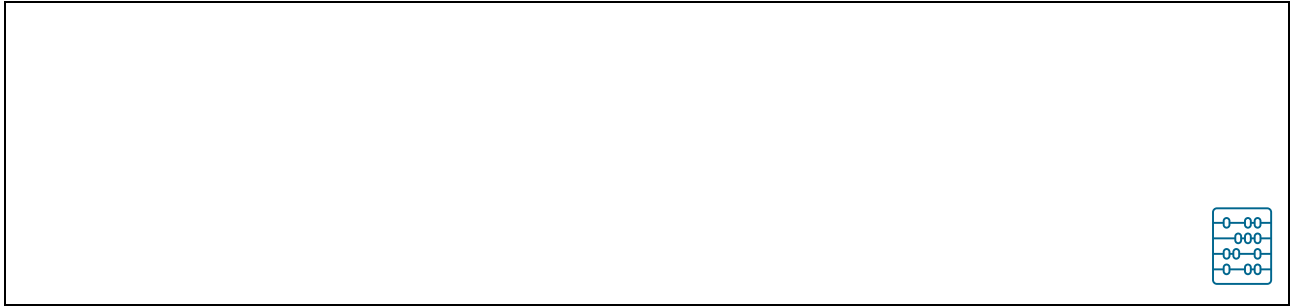
Zemeljski pol-prostor je sestavljen iz  $n$  slojev enakih debelin  $h_i$ . Efektivno vertikalno napetost izračunamo z enačbo:

$$\sigma'_v = \sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i \cdot h_i - u = \sum_{i=1}^{i=n} \gamma_{ei} \cdot h_i$$

pri čemer je  $\gamma_{ei}$  efektivna prostorninska teža. Pri računanju napetosti v sloju tal je potrebno biti pozoren na štiri glavna področja. Prvo področje je definicija efektivne napetosti. Drugo področje so visoki vodni tlaki (arteški pogoji), ki nastanejo na globini pod nivojem terena. Tretje področje obravnava povečanje efektivnih napetosti zaradi črpanje podtalne vode. Četrto področje pa obravnava povečanje napetosti zaradi zunanjih obtežb.

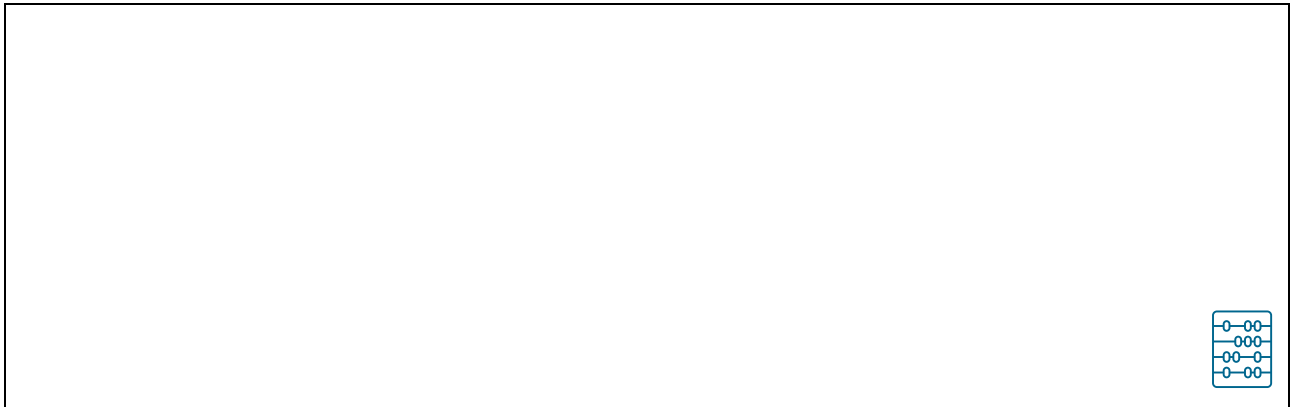
### NALOGE

**Naloga 5.1:** Tla so sestavljena iz sloja popolnoma suhe zemljine debeline 1,4 m in prostorninske teže  $15,9 \text{ kN/m}^3$ . Pod tem slojem se nahaja popolnoma zasičena zemljina s prostorninsko težo  $19,9 \text{ kN/m}^3$ . Izračunajte skupno napetost (v kPa) na globini 3,4 m pod površjem.



$$\sigma = 1,4 \text{ m} \cdot 15,9 \text{ kN/m}^3 + (3,4 \text{ m} - 1,4 \text{ m}) \cdot 19,9 \text{ kN/m}^3 = 62,06 \text{ kPa}$$

**Naloga 5.2:** Globina jezera je 1,6 m. Zemljina pod jezerom je popolnoma zasičena z vodo in ima prostorninsko težo 19,4 kN/m<sup>3</sup>. Izračunajte efektivno napetost (v kPa) na globini 2,2 m pod dnom jezera.



$$\sigma' = (1,6 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ kN/m}^3 + 2,2 \text{ m} \cdot 19,4 \text{ kN/m}^3) - (1,6 \text{ m} + 2,2 \text{ m}) \cdot 9,81 \text{ kN/m}^3$$

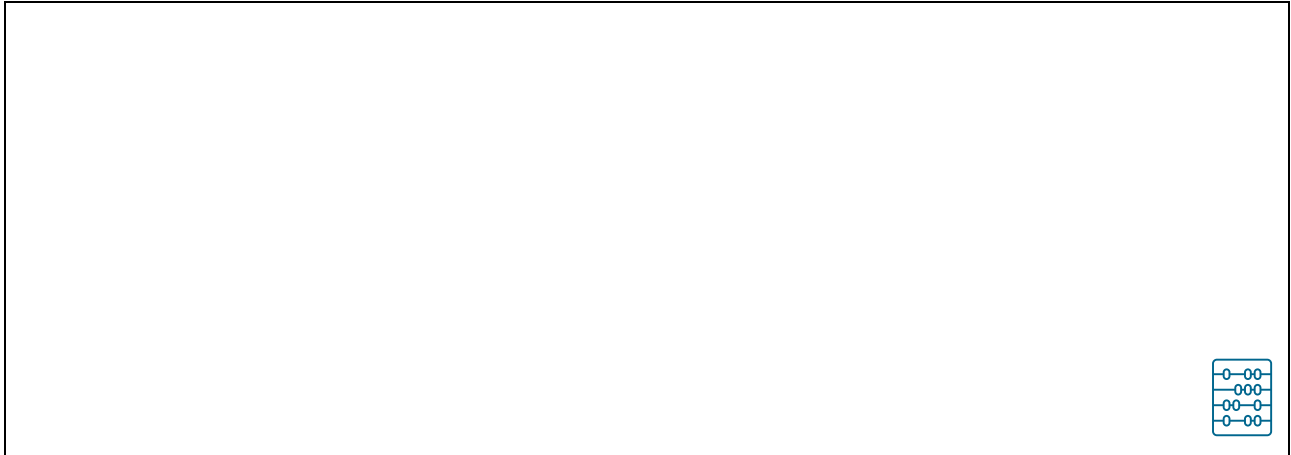
**Naloga 5.3:** Tla so sestavljena iz sloja popolnoma suhe zemljine debeline 1,3 m in prostorninske teže 16,3 kN/m<sup>3</sup>. Pod tem slojem se nahaja popolnoma zasičena zemljina s prostorninsko težo 19,8 kN/m<sup>3</sup>. Nato dodamo obtežbo 32,5 kPa na površini terena. Izračunajte efektivno napetost (v kPa) na globini 3 m pod površjem.



$$\sigma' = 1,3 \text{ m} \cdot 16,3 \text{ kN/m}^3 + (3 \text{ m} - 1,3 \text{ m}) \cdot 19,8 \text{ kN/m}^3 - (3 \text{ m} - 1,3 \text{ m}) \cdot 9,81 \text{ kN/m}^3 + 32,5 \text{ kPa} = 70,67 \text{ kPa}$$

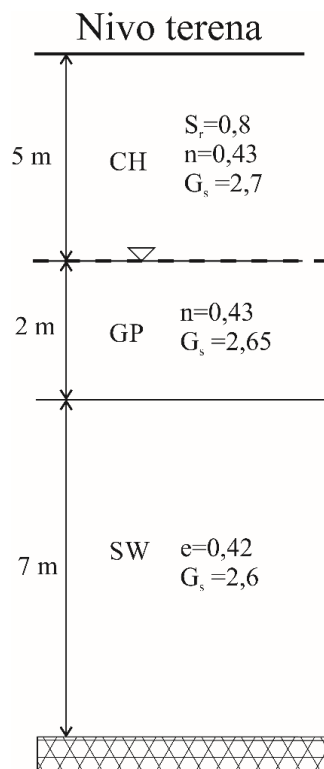


**Naloga 5.4:** Nivo podtalne vode se nahaja na globini 1,8 m. Kapilarni dvig zemljine znaša 0,8 m. Prostorninski teži popolnoma suhe zemljine in zasičene zemljine znašata  $15,7 \text{ kN/m}^3$  in  $19,9 \text{ kN/m}^3$ . Nato dodamo obtežbo  $27,1 \text{ kPa}$  na površini terena. Izračunajte efektivno napetost (v kPa) na globini 4 m pod površjem.



$$\sigma' = (1,8 \text{ m} - 0,8 \text{ m}) \cdot 15,7 \text{ kN/m}^3 + (3 \text{ m}) \cdot 19,9 \text{ kN/m}^3 + 27,1 \text{ kPa} - (4 \text{ m} - 1,8 \text{ m}) \cdot 9,81 \text{ kN/m}^3 = 80,92 \text{ kPa}$$

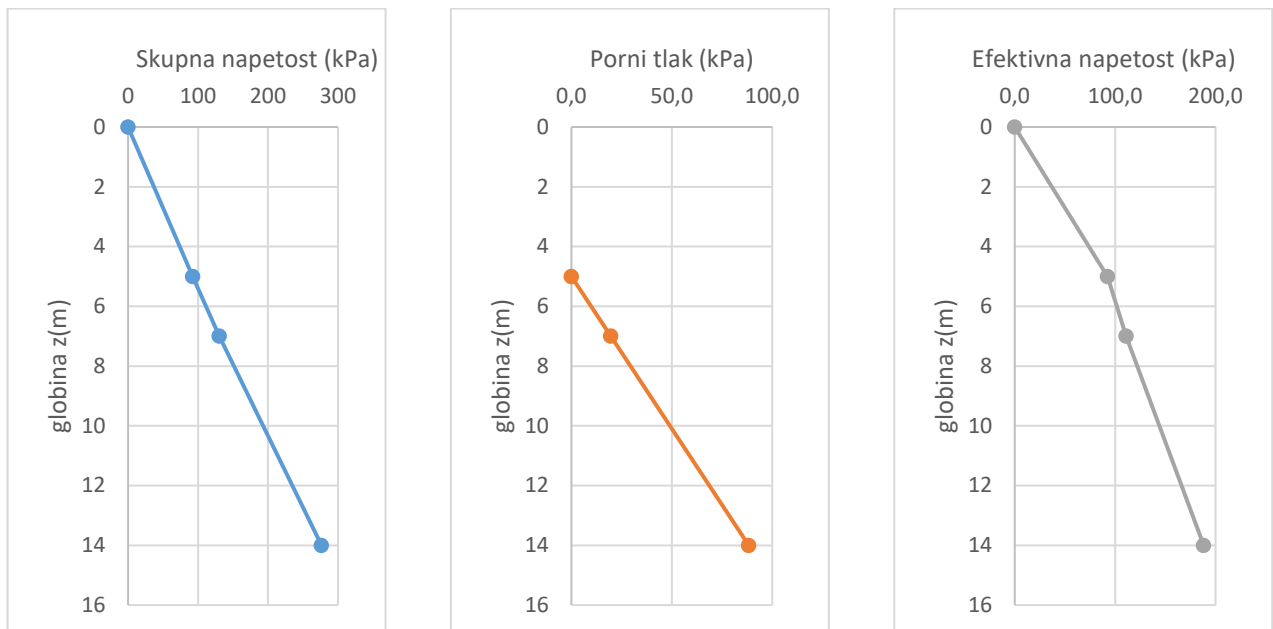
**Naloga 5.5:** Določite vertikalne skupne in efektivne napetosti ter porne tlake v zemeljskem pol-prostoru zaradi delovanja lastne teže ( $\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$ ).



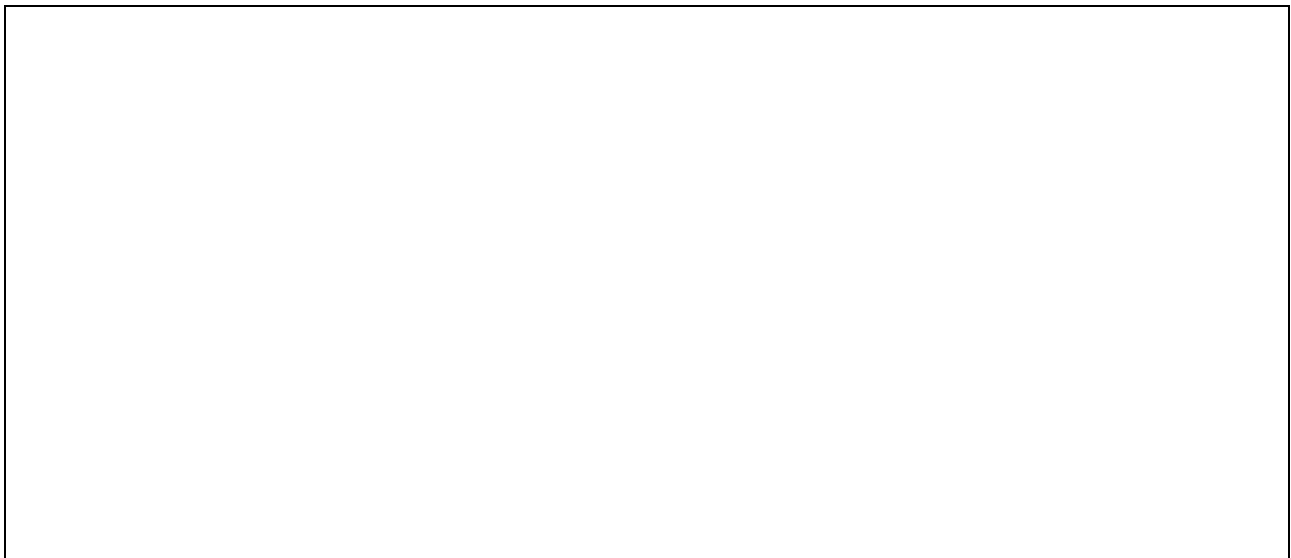
Slika 6: Zemeljski pol-prostor.

$\gamma_w$ (kN/m <sup>3</sup> ) =	9,81		
	CH	GP	SW
$S_r$	0,8	1	1
$n$	0,43	0,43	0,30
$G_s$	2,7	2,65	2,6
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18,47	19,04	20,86

$i$	$z$ (m)	$d_i$ (m)	$z_{wi}$ (m)	$\sigma_i$ (kPa)	$u_i$ (kPa)	$\sigma'_i$ (kPa)
0	0	0	-	0	0,0	0,0
1	5	5	0	92,4	0,0	92,4
2	7	2	2	130,4	19,6	110,8
3	14	7	9	276,5	88,3	188,2



Slika 7: Napetosti v zemljskem pol-prostoru.

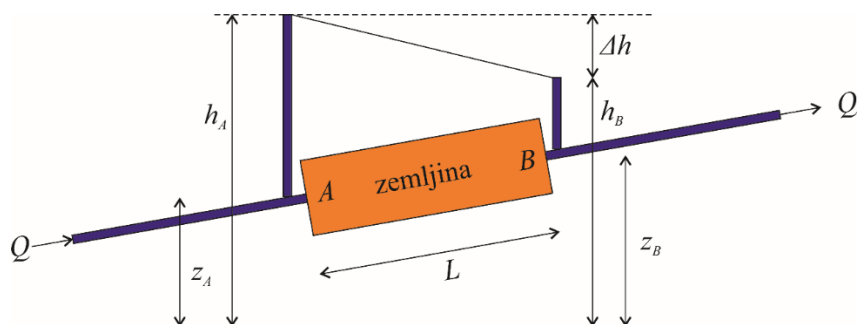


## 6 Darcyjev zakon

Za veljavnost Darcyjevega zakona mora biti tok tekočine laminaren, kar pomeni, da mora biti vrednost Reynoldsovega števila pod vrednostjo 10. Slika prikazuje tok vode skozi cev, v kateri se nahaja zemljina (dolžina cevi  $L$  in prečni prerez cevi  $A$ ). Kljub temu, da se voda teče med medsebojno povezanimi porami, je priročno definirati hitrost na celotno površino prereza. Ta namišljena hitrost je pogosto manjša od dejanske hitrosti vode, vendar pa je pretok vode povsem natančno definiran. Nivo vode na vstopni točki v zemljino (točka A) je večji kot nivo vode v točki, pri kateri voda izstopa iz zemljine (točka B). To pomeni da je potencialna energija zmanjšuje pri pretoku vode skozi zemljino. Nivo vode v obeh točkah je definiran z oznako  $h$  (glej sliko spodaj):

$$h = z + \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

V mehaniki tal zadnji člen enačbe  $h$  zanemarimo zaradi nizke hitrosti toka vode.



Slika 8: Pretok vode skozi zemljino.

Hidravlični gradient je definiran kot:

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

Darcyjev zakon o pretoku tekočine skozi porozen medij zapišemo v osnovni obliki kot:

$$q = k \cdot i$$

pri čemer je  $k$  koeficient prepustnosti.

## NALOGE

**Naloga 6.1:** V geo-hidrologiji je enota za koeficient prepustnosti pogosto m/dan. Pretvorite enoto m/dan v enoto m/s.



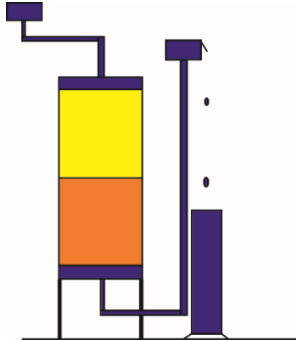
$$1 \text{ m/dan} = \frac{1 \text{ m}}{24 \text{ ur} \cdot 60 \frac{\text{min}}{\text{ur}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = 1,157 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**Naloga 6.2:** Pretvori koeficient prepustnosti 0,00004 m/s v m/dan.



$$0,00004 \text{ m/s} = 0,00004 \text{ m/s} \cdot 24 \frac{\text{ur}}{\text{dan}} \cdot 60 \frac{\text{min}}{\text{ur}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 3,456 \frac{\text{m}}{\text{dan}}$$

**Naloga 6.3:** Koeficient prepustnosti določimo na vzorcu sestavljenem iz dveh enako debelih slojev različnih zemljin. Izberite pravilen odgovor za določitev koeficienta prepustnosti celotnega vzorca.



Slika 9: Test prepustnosti.

a)  $1/k = (1/k_1 + 1/k_2)$

b)  $1/k = (1/k_1 + 1/k_2)/2$

c)  $k = k_1 + k_2$

d)  $k = (k_1 + k_2)/2$

Odgovor: b.

$$Q_1 = k_1 \cdot A_1 \cdot \frac{h_1}{L_1}; \quad Q_2 = k_2 \cdot A_2 \cdot \frac{h_2}{L_2}; \quad Q = Q_1 = Q_2; \quad A = A_1 = A_2; \quad L_1 = L_2 = L; \quad h = h_1 + h_2$$



## 7 Prepustnost zemljin

Hitrost pretoka vode skozi vzorec tal prečnega prereza  $A$  lahko izrazimo kot:

$$q \cdot A = k \cdot i \cdot A$$

kjer je:

$k$  – koeficient prepustnosti in  
 $i$  – hidravlični gradient.

Za grobo zrnat pesek se lahko vrednost koeficienta prepustnosti giblje od 1 cm/s do 0,01 cm/s, pri drobno zrnatem pesku pa je koeficient prepustnosti v območju od 0,01 cm/s do 0,001 cm/s. Predlaganih je bilo več korelacij med koeficientom prepustnosti  $k$  in količnikom por  $e$  za peščena tla v obliki:

$$k \propto e^2$$

$$k \propto \frac{e^2}{1 + e}$$

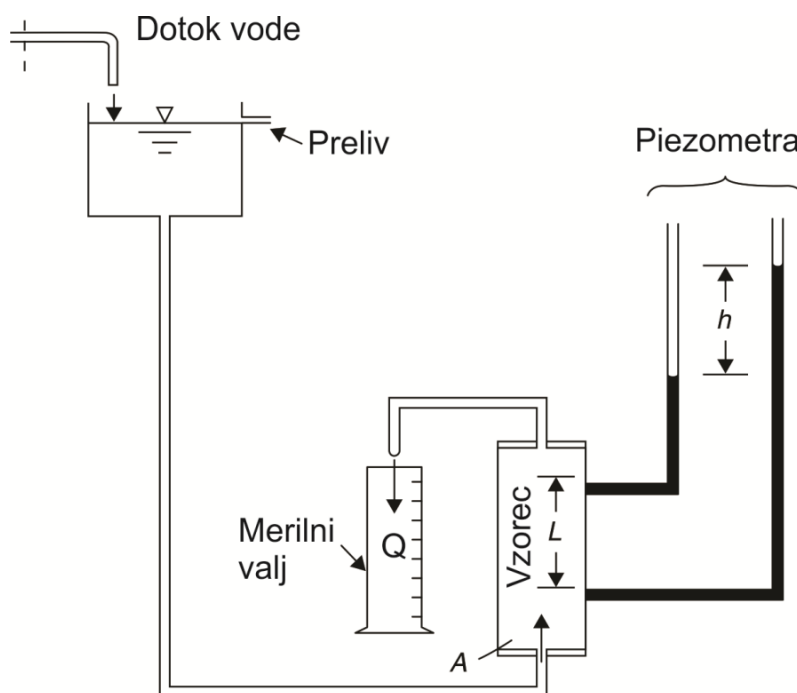
$$k \propto \frac{e^3}{1 + e}$$

pri čemer znak  $\propto$  pomeni, da je koeficient  $k$  v razmerju z količnikom por.

Koeficient prepustnosti zemljine lahko v laboratoriju enostavno določimo z dvema metodama: metodo s konstantnim hidravličnim padcem in metodo s spremenljivim hidravličnim padcem.

## NALOGE

**Naloga 7.1:** Izračunajte koeficient prepustnosti in hitrost strujanja vode. V času  $t = 60$  s se je nateklo  $V = 0,0605$  m<sup>3</sup> vode. Podatki za izračun so:  $A = 0,5$  m<sup>2</sup>,  $b = 3$  m,  $e = 0,55$  in  $L = 4$  m.



Slika 10: Skica.



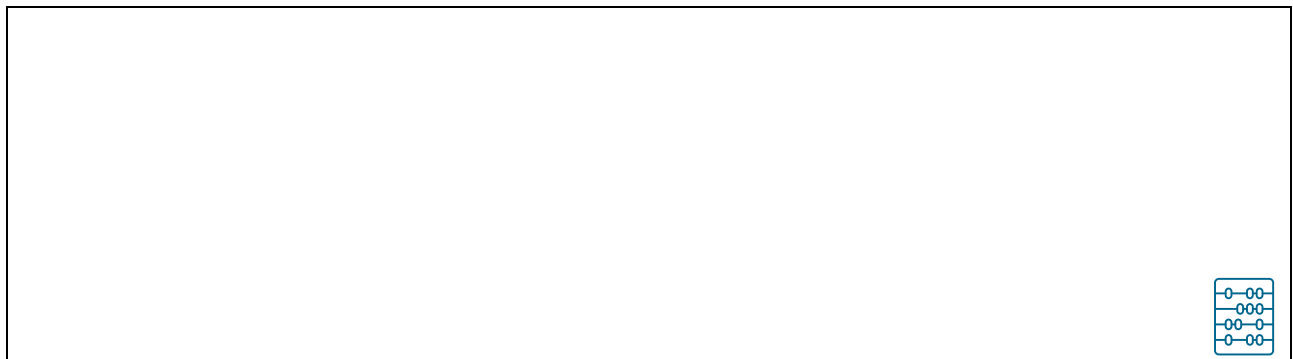


**Rrešitev:**

$$k = \frac{V \cdot L}{t \cdot A \cdot h} = \frac{0,0605 \text{ m}^3 \cdot 4 \text{ m}}{60 \text{ s} \cdot 0,5 \text{ m}^2 \cdot 3 \text{ m}} = 0,002689 \text{ m/s} = 2,689 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

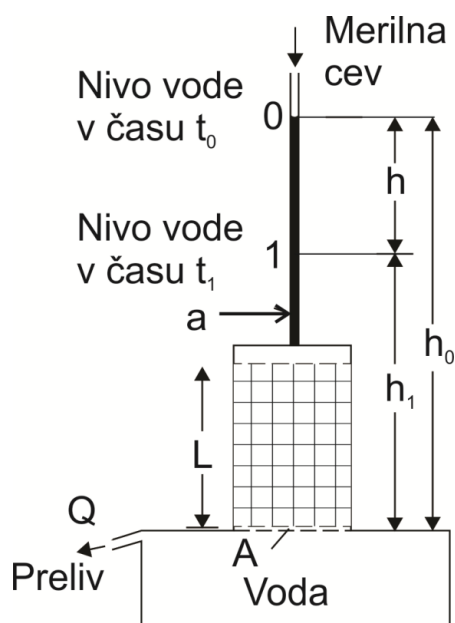
$$v_s = \frac{q}{n} = k \cdot i \cdot \frac{(1+e)}{e} = 2,689 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \cdot \frac{3 \text{ m}}{4 \text{ m}} \cdot \frac{(1+0,55)}{0,55} = 5,683 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

**Naloga 7.2:** Pri testu prepustnosti zemljine znaša razlika med nivojem vode 12 cm. Višina vzorca znaša 41 cm in premer vzorca znaša 10 cm. Koeficient prepustnosti zemljine znaša 0,0006 m/s. Izračunajte količino vode (v cm<sup>3</sup>), ki se nateče v dveh minutah.



$$V = \left( k \cdot h \cdot \frac{L}{h} \right) \cdot \left( \pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot t = \left( 0,0006 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 12 \text{ cm} \right) \cdot \left( \pi \cdot \frac{(10 \text{ cm})^2}{4} \right) \cdot 120 \text{ s} = 165,51 \text{ cm}^3$$

**Naloga 7.3:** Pri testu s spremenljivim hidravličnim padcem smo dobili podatke, ki so navedeni v preglednici spodaj. Izračunajte koeficient prepustnosti zemljine.



$A \text{ (cm}^2\text{)}$	=	81
$L \text{ (cm)}$	=	25,4
$h_0 \text{ (cm)}$	=	65,6
$a \text{ (cm}^2\text{)}$	=	0,79

Čas (s)	$h \text{ (cm)}$
0	65,6
2880	62,2
5190	59,4
8100	55,8
10800	53,1
13545	50,7

Slika 11: Skica.



**Rešitev:**

Čas (s)	$h_1$ (cm)	$h_0/h_1$	$\ln(h_0/h_1)$	$k$ (cm/s)
0	65,6	1,000	0,000	
2880	62,2	1,055	0,053	4,578E-06
5190	59,4	1,104	0,099	4,739E-06
8100	55,8	1,176	0,162	4,949E-06
10800	53,1	1,235	0,211	4,849E-06
13545	50,7	1,294	0,258	4,712E-06

$$\tilde{k} \text{ (cm/s)} = 4,765\text{E-}06$$

**Naloga 7.4:** Prepustnost gline določimo s padajočim nivojem vode. Debelina in premer vzorca znašata:  $L = 20$  mm in  $D = 60$  mm. Premer cevke, ki je pritrjena na dno posode je 6 mm. Začetni nivo vode v cevki znaša 400 mm. Po času 665 s nivo vode pade na višino 200 mm. Izračunajte koeficient prepustnosti gline (v m/dan)!

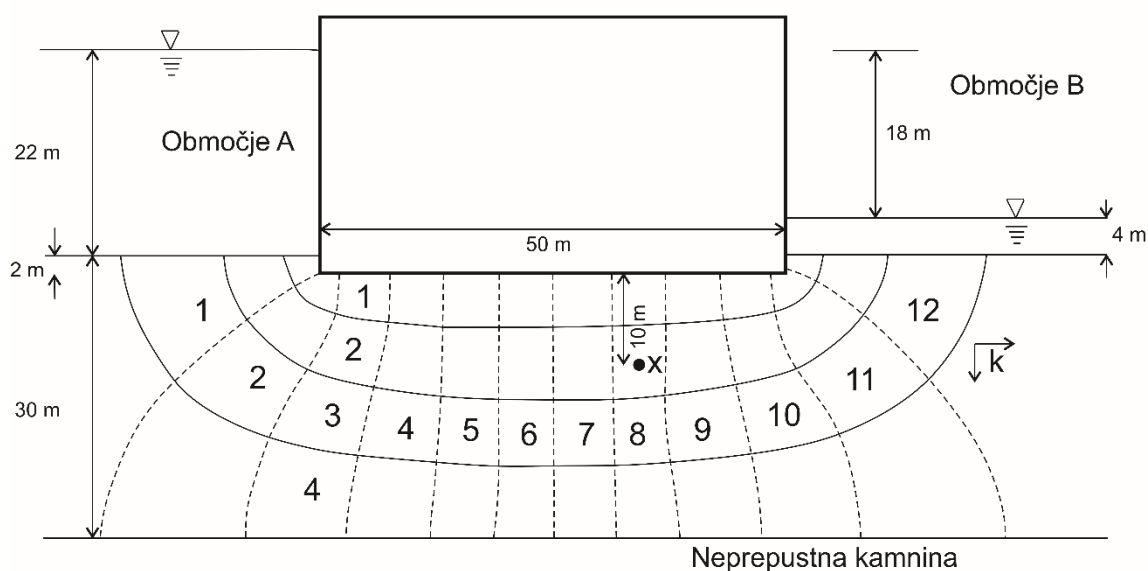


$$k = \frac{a}{L} \cdot \frac{A}{t} \cdot \ln\left(\frac{h_1}{h_0}\right) = \frac{0,02 \text{ m}}{0,06 \text{ m}} \cdot \frac{0,0006 \text{ m}^2}{665 \text{ s}} \cdot \ln\left(\frac{0,4 \text{ m}}{0,2 \text{ m}}\right) = 0,0180 \text{ m/dan}$$



## 8 Precejanje podzemne vode

**Naloga 8.1:** Koeficient prepustnosti zemljine znaša  $6,90 \cdot 10^{-3}$  m/s. Izračunajte pretok vode ( $v \frac{m^3}{s \cdot m}$ ) in tlak v točki x zaradi strujanja vode.



Slika 12: Strujnice in nivojnice pod pregrado.



$$\begin{aligned}
 & \text{a) Pretok vode:} \\
 & Q = k \cdot H \cdot \left( \frac{N_f}{N_x} \right) = 6,90 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \cdot 18 \text{ m} \cdot \left( \frac{12}{4} \right) = 0,0414 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\
 & \text{b) Pomi tlak v točki x zaradi strujanja vode:} \\
 & H_x = 34 \text{ m} \\
 & h_x = H_x - H \cdot \left( \frac{N_x}{N_e} \right) = 34 \text{ m} - 18 \text{ m} \cdot \left( \frac{12}{7,5} \right) = 22,75 \text{ m} \\
 & u_x = 22,75 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 223,18 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

**Naloga 8.2:** Obravnavajte vitko podporno konstrukcijo, ki zadržuje vodo na višini  $h = 2,0$  m nad nivojem terena. Vitka podpora konstrukcija je vgrajena do globine  $d = 5,0$  m pod nivojem terena. Prostorninska teža zemljine znaša  $\gamma = 18$  kN/m<sup>3</sup> in prostorninska teža vode  $\gamma_w = 9,81$  kN/m<sup>3</sup>. Preverite, ali je vitka podpora konstrukcija ustrezna glede na pogoj hidravličnega loma tal.



**Rešitev:**

$$N_1 = \frac{N_a + 2 \cdot N_b}{3} \cong (1/2) \cdot N_e$$

$$h_1 = H_T - H \cdot \frac{N_1}{N_e}$$

$$h_1 = (h + d) - h \cdot \frac{(1/2) \cdot N_e}{N_e} = \frac{h}{2} + d = \frac{2 \text{ m}}{2} + 5 \text{ m} = 6 \text{ m}$$

$$h_2 = d = 5 \text{ m}$$

$$h_s = \frac{h}{2} + d - d = \frac{h}{2} = \frac{2 \text{ m}}{2} = 1 \text{ m}$$

$$S_k = \frac{d}{2} \cdot h_s \cdot \gamma_w = \frac{5 \text{ m}}{2} \cdot 1 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 24,53 \text{ kN/m}$$

$$G'_k = \frac{d}{2} \cdot d \cdot \gamma' = \frac{5 \text{ m}}{2} \cdot 5 \text{ m} \cdot \left( 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - 9,81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right) = 102,38 \text{ kN/m}$$

$$F_s = \frac{G'_k}{S_k} = \frac{102,38 \text{ kN/m}}{24,53 \text{ kN/m}} = 4,17$$

Vitka podporna konstrukcija je ustrezna glede na pogoj hidravličnega loma tal.



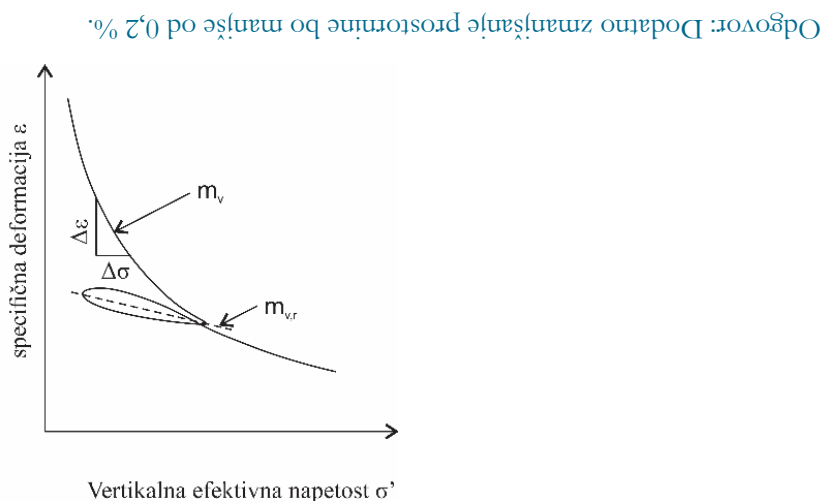
## 9 Napetosti in deformacije

**Naloga 9.1:** V laboratorijskem preskusu smo vzorec zemljine obremenili z izotropno napetostjo. Če napetost (v vseh smereh) povečamo iz 100 kPa na 200 kPa, se prostornina vzorca zmanjša za 0,2 %. Predpostavimo, da napetost nato povečamo še za 100 kPa, torej na napetost 300 kPa. Ali bo dodatno zmanjšanje prostornine manjše, enako ali večje od 0,2 %?

---

---

---



Slika 14: Specifična deformacija zemljine.

**Naloga 9.2:** Napetosti in deformacije – izračun posedka.

Slojevita tla so sestavljena iz:

$h_1 =$	6 m	peska
$h_2 =$	2 m	gline
$h_3 =$	8 m	peska

nato trdna podlaga

Nivo podtalne vode se nahaja na globini  $h_w$  pod površjem:

$h_w =$	1,2 m
---------	-------

Prostorninske teže znašajo:

$\gamma_{1,d} =$	16 kN/m <sup>3</sup>	suh pesek
$\gamma_{1,sat} =$	20 kN/m <sup>3</sup>	popolnoma zasičen pesek
$\gamma_{2,sat} =$	17 kN/m <sup>3</sup>	glina
$\gamma_{3,sat} =$	20 kN/m <sup>3</sup>	pesek
$\gamma_w =$	10 kN/m <sup>3</sup>	voda

Kompresijska konstanta gline znaša:

$C_{10} =$	17,7
------------	------

Na obstoječa tla naredimo nasip ( $\gamma_{1,d}$ ) višine  $h_n$ :

$h_n =$	4,8 m
---------	-------

Izračunajte skrček (v m) sloja gline zaradi nasipa.



Začetna napetost na sredni sloja gline:

$$\sigma'_0 = \gamma_{1,d} \cdot h_w + (\gamma_{1,sat} - \gamma_w) \cdot (h_1 - h_w) + \frac{\gamma_w}{2} \cdot (h_2 - h_w) = 74,20 \text{ kPa}$$

Napetost na sredni sloja gline po izgradnji nasipa:

$$\sigma'_1 = \sigma'_0 + h_n \cdot \gamma_{1,d} = 151,0 \text{ kPa}$$

Deformacija sloja gline:

$$\varepsilon = \frac{C_{10}}{1} \cdot \log\left(\frac{\sigma'_1}{\sigma'_0}\right) = \frac{1}{17,7} \cdot \log\left(\frac{151,0 \text{ kPa}}{74,20 \text{ kPa}}\right) = 0,0174$$

Skupček sloja gline zaradi izgradnje nasipa:

$$\delta = \varepsilon \cdot h_2 = 0,0174 \cdot 2 \text{ m} = 0,0349 \text{ m}$$



## 10 Eno-dimenzionalni tlak

Konstanta stisljivosti  $C_{10}$  je brez dimenzijska vrednost, ki je odvisna od vrste zemljine. Tabela spodaj prikazuje vrednost konstante stisljivosti  $C_{10}$  za različne vrste zemljine.

Vrsta zemljine	$C_{10}$
pesek	20-200
melj	10-50
glina	4-10
šota	1-10

Velikost indeksa stisljivosti,  $C_c$ , se razlikuje od zemljine do zemljine. Do sedaj je bilo predlaganih veliko korelacij za indeks  $C_c$  v odvisnosti od tal. Povzetek teh korelacij je podal Rendon-Herrero v spodnji preglednici.

Korelacija	Območje uporabnosti
$C_c = 0,007 \cdot (w_L - 7)$	predelana glina
$C_c = 0,009 \cdot (w_L - 10)$	intaktna glina
$C_c = 1,15 \cdot (e_0 - 0,27)$	glina

\*  $w_L$  – meja židkosti,  $e_0$  – začetni količnik por.

## NALOGE

**Naloga 10.1:** V preglednici spodaj so podani rezultati edometriškega testa. Izračunajte kompresijsko konstanto  $C_{10}$ , koeficient stisljivosti  $C_c$ . Izračunajte še modul stisljivosti  $m_v$  in edometriški modul  $E_{oed}$  na intervalu napetosti 25 – 50 kPa.

MT: Edometriški test.

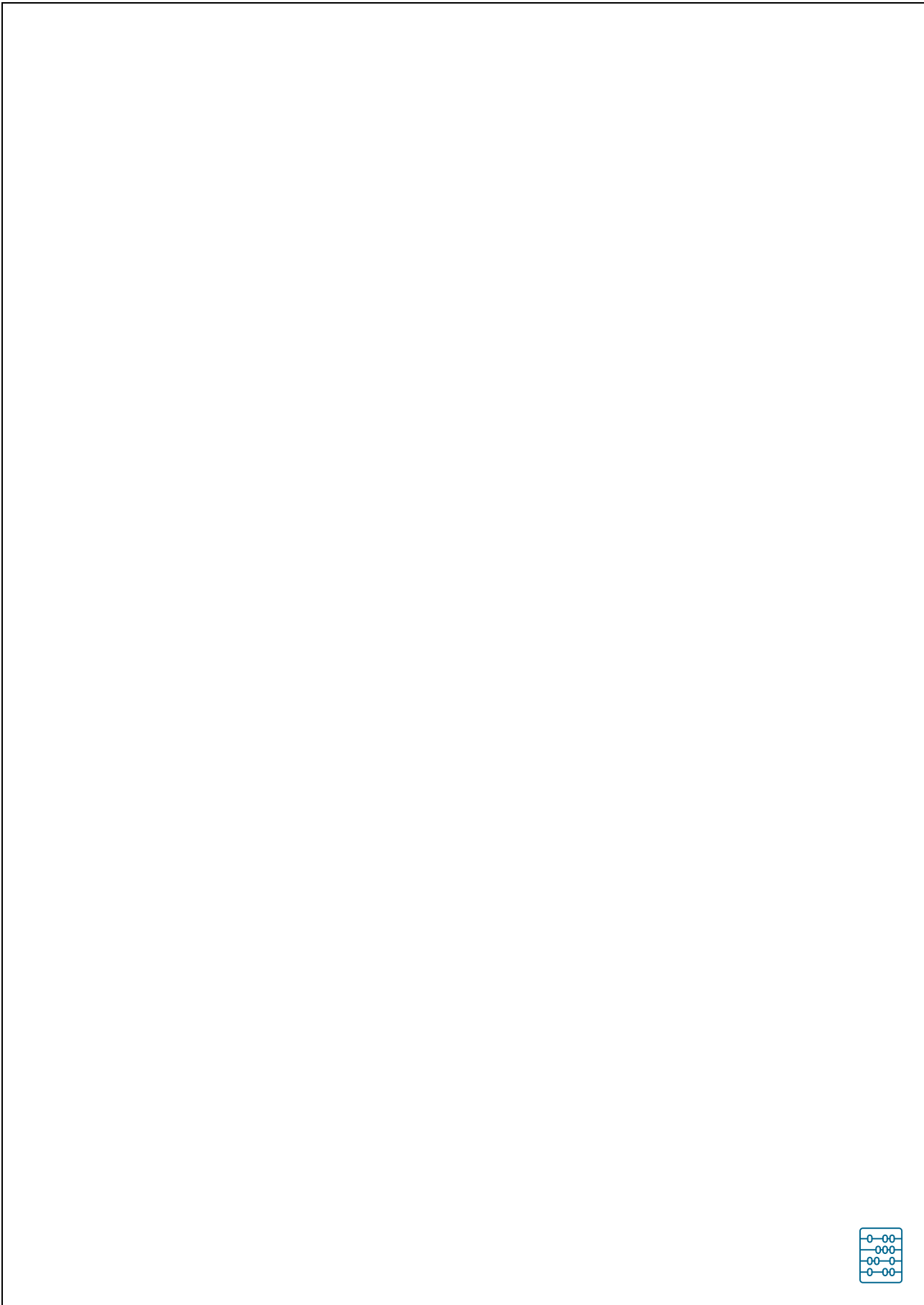
$$h_0 \text{ (mm)} = 19$$

$$w_0 \text{ (-)} = 0.275$$

$$G_s \text{ (-)} = 2.7$$

	$\sigma'_x$	$D_x$
x	(kPa)	(mm)
0	0	0,00
1	25	0,15
2	50	0,27
3	100	0,48
4	200	0,75
5	400	1,05
6	600	1,21
7	750	1,27
8	0	0,33





**Rešitev:**

$$S_r = 1$$

$$e_0 = \frac{V_v}{V_s} = \frac{\frac{m_w}{\rho_w}}{\frac{m_s}{\rho_s}} = \frac{m_w}{m_s} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_w} = w_0 \cdot G_s$$

$$h_x = h_0 - D_x$$

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_x}{h_0} = \frac{D_x}{h_0}$$

$$\varepsilon = \frac{e_0 - e_x}{1 + e_0}$$

$$e_x = e_0 - \frac{D_x}{h_0} \cdot (1 + e_0)$$

Edometrski test.

$h_0$  (mm)

= 19

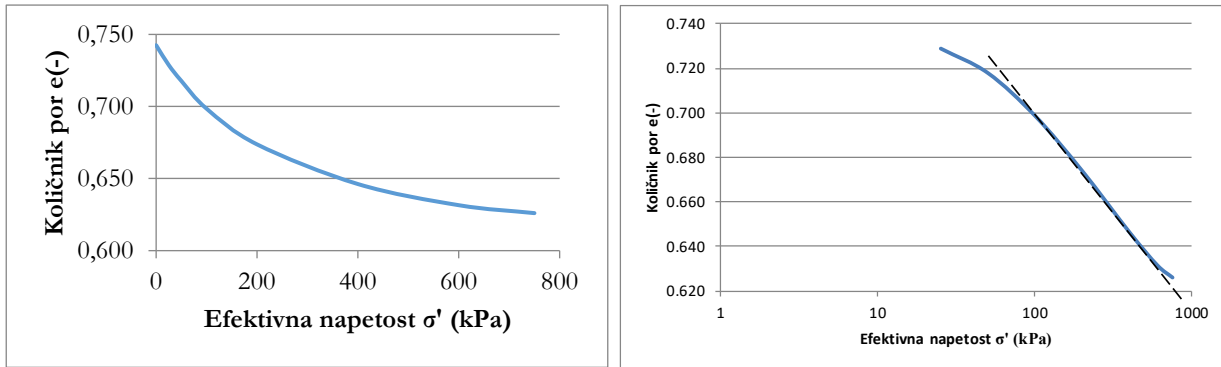
$w_0$  (-) = 0,275

$G_s$  (-) = 2,7

$e_0$  (-) = 0,743

x	$\sigma'_x$ (kPa)	$D_x$ (mm)	$h_x$ (mm)	$e_x$ (-)
0	0	0,00	19,00	0,743
1	25	0,15	18,85	0,729
2	50	0,27	18,73	0,718
3	100	0,48	18,52	0,698
4	200	0,75	18,25	0,674
5	400	1,05	17,95	0,646
6	600	1,21	17,79	0,632
7	750	1,27	17,73	0,626
8	0	0,33	18,67	0,712



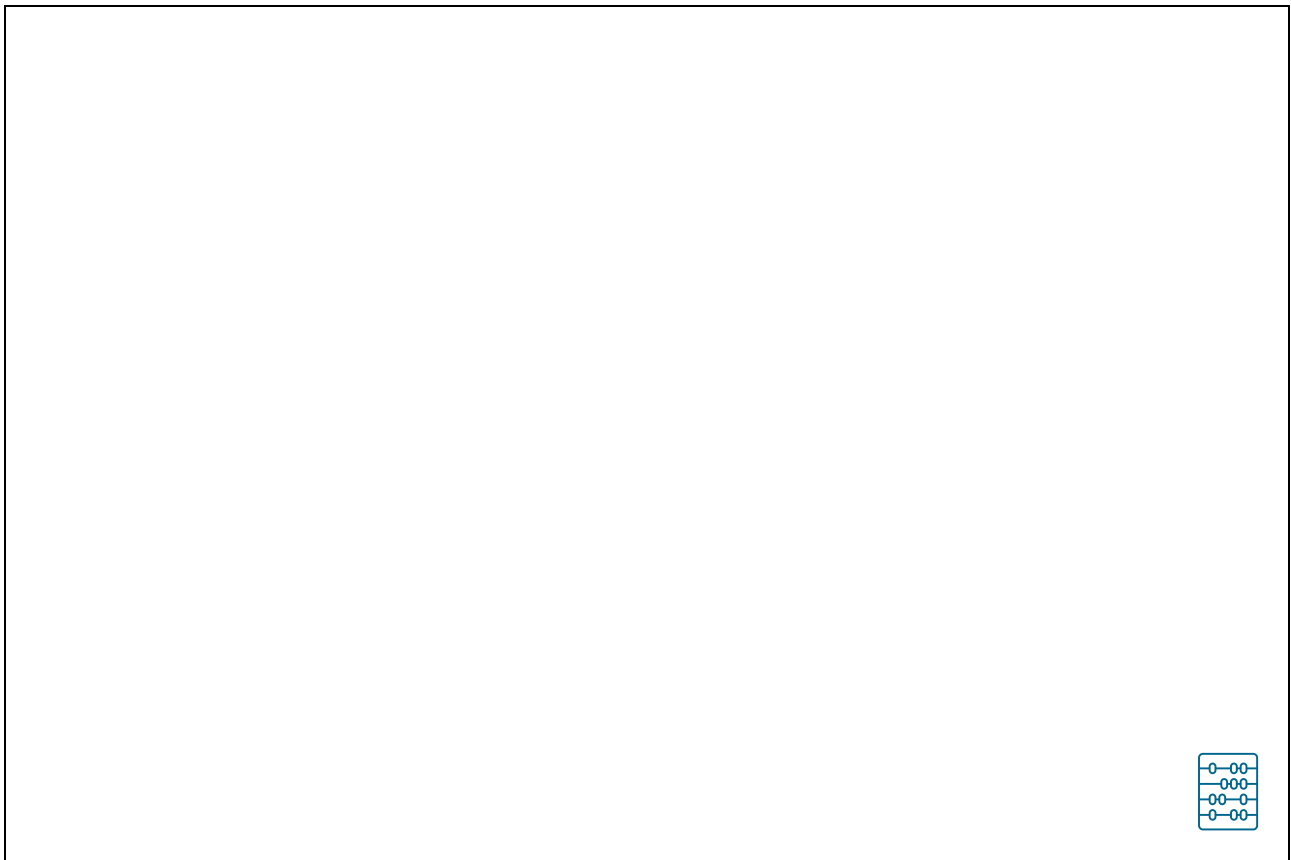


Slika 15: Količnik por v odvisnosti od efektivnih napetosti.

$$C_c = 0,086827 \quad m_v = 0,000255 \text{ m}^2/\text{kN}$$

$$C_{10} = 19,56 \quad E_{\text{ocd}} = 3927,1 \text{ kPa}$$

**Naloga 10.2:** V Edometru smo vzorec zemljine debeline 2 cm obremenili napetostjo 100 kPa. Dodatna obremenitev z napetostjo 20 kPa je povzročila vertikalni skrčec 0,03 mm. Določite kompresijsko konstanto  $C_{10}$ .



$$C_{10} = \frac{\frac{\varepsilon}{1} \cdot \log\left(\frac{\sigma_0}{\sigma}\right)}{\log\left(\frac{120 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}}\right)} = \frac{\frac{0,03 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} \cdot \log\left(\frac{120}{100}\right)}{\log\left(\frac{120}{100}\right)} = 52,79$$

**Naloga 10.3:** V Edometru smo obremenili vzorec debeline 22,1 mm. Obremenitev smo povečali iz 30 kPa na 50 kPa. Kompresijska konstanta zemljine znaša  $C_{10} = 108,95$ . Izračunaj skrček vzorca!



$$\delta = 22,1 \text{ mm} \cdot \frac{1}{108,95} \cdot \log\left(\frac{50}{30}\right) = 0,045 \text{ mm}$$

## 11 Konsolidacija

**Naloga 11.1:** V konsolidacijskem preskusu na vzorcu gline debeline 30 mm je bilo izmerjeno, da je bil porni tlak po času 11 minut enak 0. V preskusu je dreniranje možno samo za zgornji strani. Izračunajte čas (v dnevih) konsolidacije plasti gline, debeline 4,7 m. Drenaža sloja gline je omogočena na obeh straneh.



**Rešitev:**

Koeficient konsolidacije  $c_v$  izračunamo kot:

$$c_v = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{t}$$

Konsolidacija je končana pri vrednosti  $T_v = 2$ .

Debelina vzorca znaša  $d = 0,03$  m, dreniranje vzorca je možno samo na zgornji strani, iz tega sledi da je  $H_{dr} = 0,03$  m. Čas trajanj konsolidacije vzorca znaša  $t = 11$  min, torej čas v dnevih znaša:

$$t = \frac{11}{60 \cdot 24} = 0,007639 \text{ dni}$$

$$c_v = \frac{2 \cdot (0,03 \text{ m})^2}{0,007639 \text{ dan}} = 0,2356 \frac{\text{m}^2}{\text{dan}}$$

Izračunali smo koeficient konsolidacije  $c_v$ , ki določa lastnost gline. Sloj gline, debeline  $h = 4,7$  m, se lahko drenira (dopušča odtekanje vode) na obeh straneh sloja (zgoraj in spodaj), zato je drenažna pot enaka:

$$H_{dr} = \frac{h}{2} = \frac{4,7 \text{ m}}{2} = 2,35 \text{ m}$$

Izrazimo čas  $t$ :

$$t = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{c_v} = \frac{2 \cdot (2,35 \text{ m})^2}{0,2356 \frac{\text{m}^2}{\text{dan}}} = 46,9 \text{ dni}$$

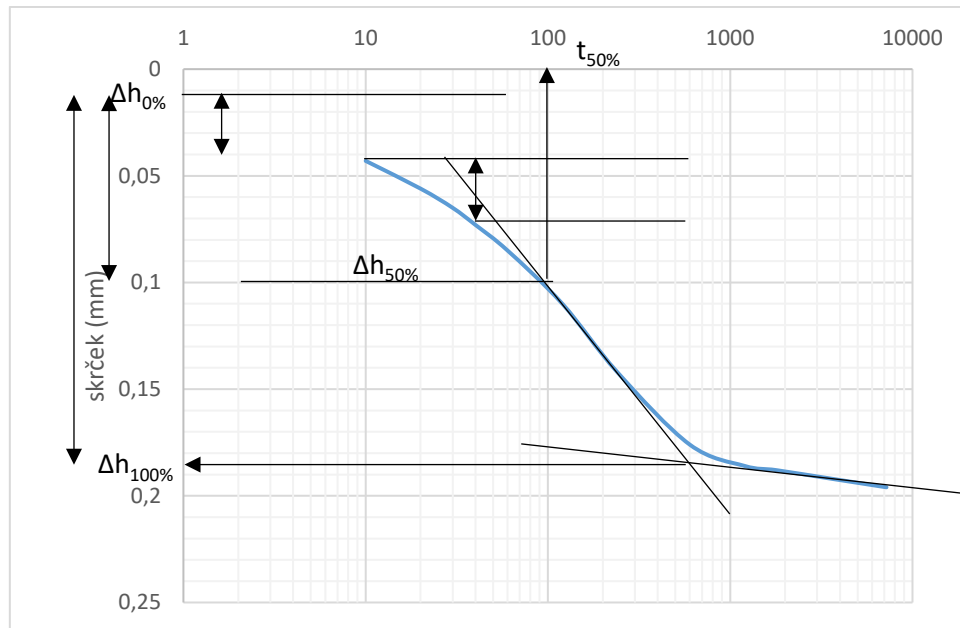
**Naloga 11.2:** Sloj gline, debeline 4,9 m, se obremeni z dodatno obtežbo 30 kPa. Koeficient prepustnosti gline znaša 0,0001 m/dan. Na podlagi predhodnih izkušenj se pričakuje, da se bo debelina sloja gline zaradi dodatne obremenitve skrčila za 0,04 m. Sloj gline se lahko drenira samo na eni strani. Izračunajte čas trajanja procesa konsolidacije v dnevih.



$$\begin{aligned} \frac{\delta}{H} &= \frac{4,9 \text{ m}}{0,04 \text{ m}} = 0,00816 \\ m_v &= \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{30 \text{ kPa}}{0,00816} = 0,000272 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ c_v &= \frac{m_v \cdot \gamma_w}{k} = \frac{0,000272 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 9,81 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}}{0,0001 \text{ m/dan}} = 0,0375 \frac{\text{dan}}{\text{m}^2} \\ t &= \frac{T \cdot H^2}{c_v} = \frac{2 \cdot (4,9 \text{ m})^2}{1281 \text{ dni}} = 0,0375 \frac{\text{dan}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

**Naloga 11.3:** Podani so podatki konsolidacijskega testa na vzorcu debeline 2 cm. Dreniranje vzorca je omogočeno na obeh straneh. Izračunaj koeficient konsolidacije gline v  $\text{mm}^2/\text{s}$ . Uporabite Casagradnejevo metodo – logaritmično merilo.

Čas (s)	10	20	30	40	60	120	240	600	1200	1800	3600	7200
Skrček (mm)	0,0043	0,056	0,065	0,073	0,085	0,11	0,142	0,176	0,186	0,188	0,192	0,196



Slika 16: Casagrandejevo metoda – logaritmično merilo.



**Rešitev:**

$$\Delta h_{t=10s} = 0,043 \text{ mm}$$

$$\Delta h_{t=40s} = 0,073 \text{ mm}$$

$$\xi = 0,030 \text{ mm}$$

$$\Delta h_{0\%} = 0,013 \text{ mm}$$

$$\Delta h_{100\%} = 0,185 \text{ mm} \quad \text{iz grafa}$$

$$\Delta h_{50\%} = 0,099 \text{ mm}$$

$$t_{50\%} = 100 \text{ s}$$

$$\bar{h} = \frac{(h - \Delta h_{0\%}) + (h - \Delta h_{100\%})}{2} = 19,901 \text{ mm}$$

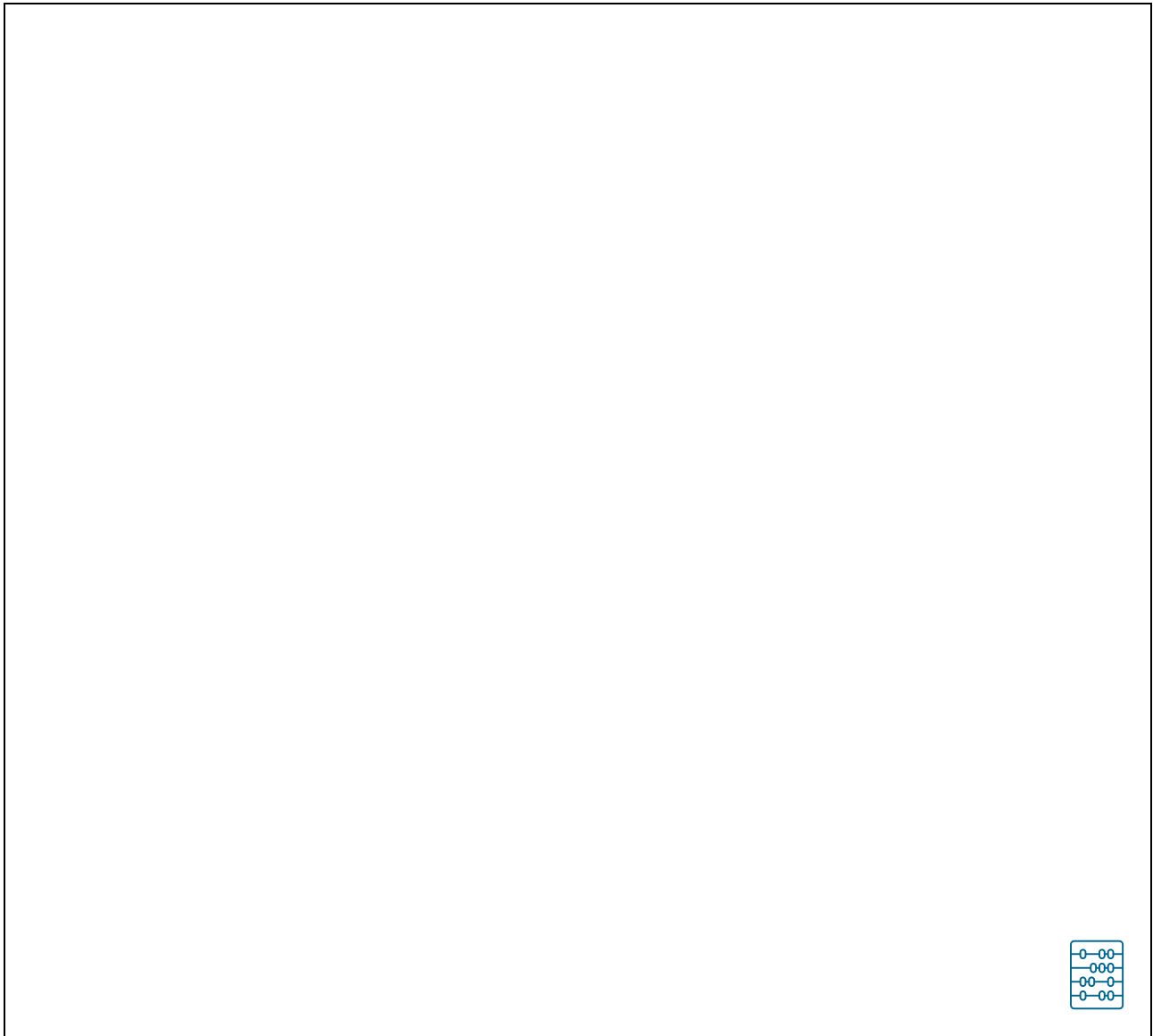
$$H_{Dr} = \frac{\bar{h}}{2} = 9,9505 \text{ mm}$$

$$c_v = \frac{0,197 \cdot H_{Dr}^2}{t_{50\%}} = 0,1951 \text{ mm}^2/\text{s}$$

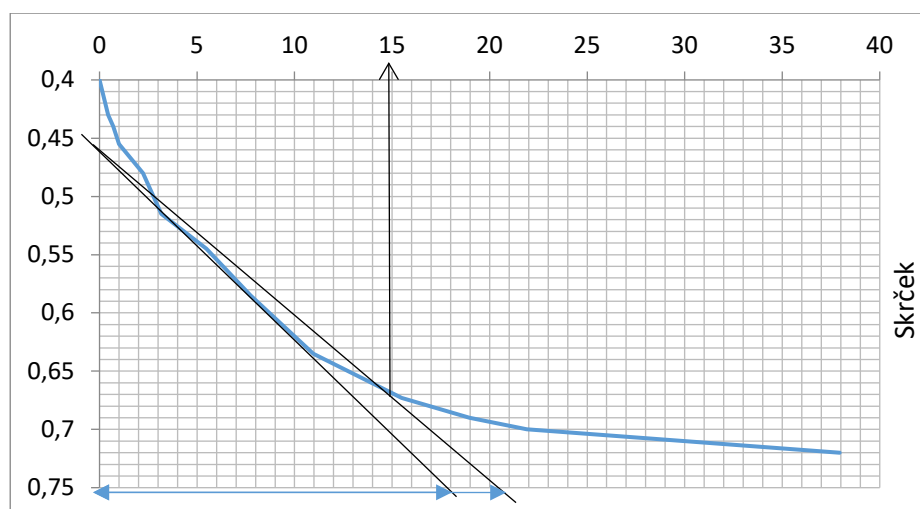
**Naloga 11.4:** Podani so podatki konsolidacijskega testa na vzorcu debeline 19 mm. Dreniranje vzorca je omogočeno na obeh straneh. Izračunaj koeficient konsolidacije gline v  $\text{mm}^2/\text{min}$ . Uporabite Taylorjevo metodo – koren časa.

$\sigma$ (kPa)	100													
t (min)	0	0,2	0,5	1	5	10	30	60	120	240	360	480	1440	
$\sqrt{t}$	0	0,4	0,7	1,0	2,2	3,2	5,5	7,7	11,0	15,5	19,0	21,9	37,9	
$D_x$ (mm)	0,4	0,43	0,44	0,455	0,48	0,515	0,545	0,585	0,635	0,673	0,69	0,7	0,72	



**Rešitev:**

$$\begin{aligned} \sqrt{t_{90}} &= 15 \\ t_{90} \text{ (min)} &= 225 \\ h_{0\%} \text{ (mm)} &= 18,54 \\ h_{100\%} \text{ (mm)} &= 18,31 \\ H_{DR} \text{ (mm)} &= 9,21 \\ c_v \text{ (mm}^2\text{/min)} &= 0,320 \end{aligned}$$



Slika 17: Rešitev Naloge 11.4.



**Naloga 11.5:** Sloj gline debeline 4 m (dreniranje na obeh straneh) je obremenjen z obtežbo, ki poveča efektivno vertikalno napetost iz 185 kPa na 310 kPa. Podana sta modul stisljivosti in koeficient konsolidacije ( $m_v = 0,00025 \text{ m}^2/\text{kN}$ ,  $c_v = 0,75 \text{ m}^2/\text{leto}$ ). Izračunajte:

- a) Skupni posedek.
- b) Posedek na koncu prvega leta.
- c) Čas v dnevih, v katerem se izvede 50 % konsolidacije
- d) Čas v dnevih, v katerem nastane 25 mm posedka.



**Rešitve:**

a) Skupni posedek:

$$s = (\sigma'_2 - \sigma'_1) \cdot m_v \cdot h = (310 \text{ kPa} - 185 \text{ kPa}) \cdot 0,00025 \frac{\text{m}^2}{\text{kN}} \cdot 4 \text{ m} = 0,125 \text{ m}$$

b) Posedek na koncu prvega leta:

$$c_v = 0,75 \frac{\text{m}^2}{\text{leto}} = 0,002055 \frac{\text{m}^2}{\text{dan}}$$

$$T_v = \frac{t \cdot c_v}{H_{dr}^2} = \frac{365 \text{ dni} \cdot 0,002055 \frac{\text{m}^2}{\text{dan}}}{(2 \text{ m})^2} = 0,1876$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4 \cdot T_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,1876}{\pi}} = 0,4887$$

$$s_{1\text{leto}} = U_v \cdot s = 0,4887 \cdot 0,125 \text{ m} = 0,061 \text{ m}$$

c) Čas v dnevih, v katerem se izvede 50 % konsolidacije:

$$U_v = 0,5$$

$$T_v = \frac{\pi}{4} \cdot U_v^2 = 0,1964$$

$$t = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{c_v} = \frac{0,1964 \cdot (2 \text{ m})^2}{0,002055 \frac{\text{m}^2}{\text{dan}}} = 328,3 \text{ dni}$$

d) Čas v dnevih, v katerem nastane 25 mm posedka:

$$U_v = \frac{s_t}{s} = \frac{0,025 \text{ m}}{0,125 \text{ m}} = 0,20$$

$$T_v = \frac{\pi}{4} \cdot U_v^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,2^2 = 0,03142$$

$$H_{dr} = \frac{h}{2} = \frac{4 \text{ m}}{2} = 2 \text{ m}$$

$$c_v = 0,75 \frac{\text{m}^2}{\text{leto}} = 0,002055 \frac{\text{m}^2}{\text{dan}}$$

$$t = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{c_v} = \frac{0,03142 \cdot (2 \text{ m})^2}{0,002055 \frac{\text{m}^2}{\text{dan}}} = 61,2 \text{ dni}$$





$$\delta_s = \left( \frac{C_\alpha}{1 + e_0} \right) \cdot H \cdot \log \left( \frac{t}{t_p} \right)$$

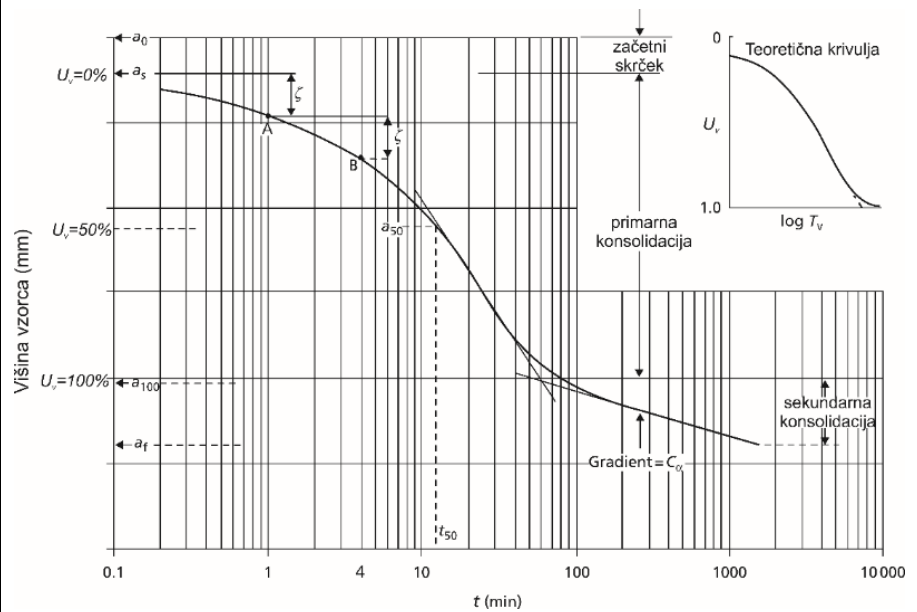
$$\varepsilon_\alpha = \frac{C_\alpha}{1 + e_0}$$

$$\delta_{s,5let} = \varepsilon_\alpha \cdot H \cdot \log \left( \frac{t}{t_p} \right)$$

$$= 0,015 \cdot 5 \text{ m} \cdot \log \left( \frac{5}{1} \right) = 0,052 \text{ m}$$

$$\delta_{s,30let} = \varepsilon_\alpha \cdot H \cdot \log \left( \frac{t}{t_p} \right)$$

$$= 0,015 \cdot 5 \text{ m} \cdot \log \left( \frac{30}{1} \right) = 0,111 \text{ m}$$



Slika 18: Rešitev Naloge 12.2.

## 13 Strižna trdnost

**Naloga 13.1:** Napetosti na poljubni ravnini.

Podane so napetosti:

$$\sigma_{xx} = 29 \text{ kPa}$$

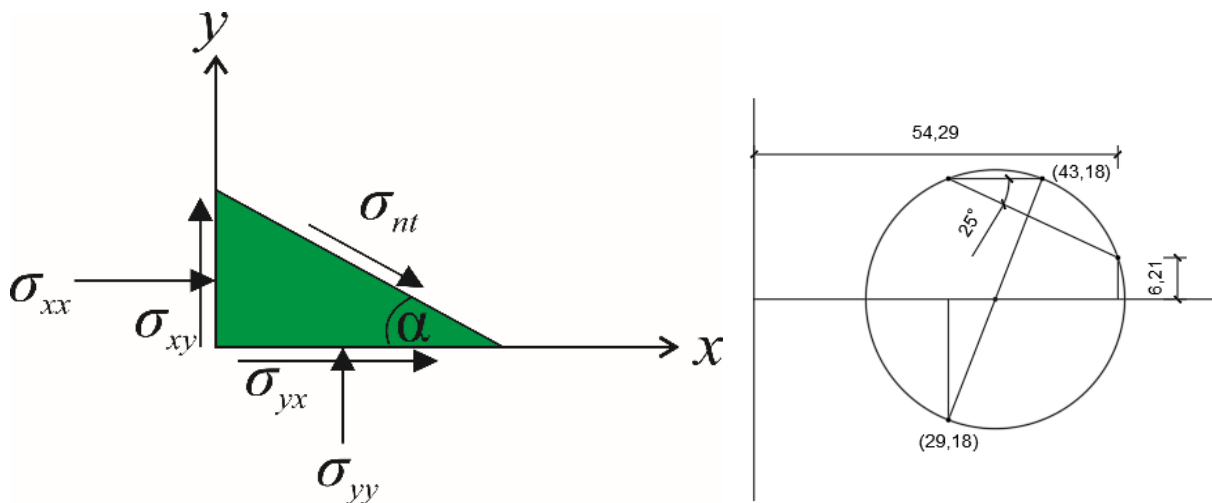
$$\sigma_{xy} = 18 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{yx} = 18 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{yy} = 43 \text{ kPa}$$

Izračunajte strižno napetost na ravnini  $\sigma_{nt}$ , ki je odklonjena za  $\alpha$  od x osi.

$$\alpha = 25^\circ$$



Slika 19: Napetosti na poljubni ravnini.



$$\begin{aligned} \sigma_{xx} &= -29 \text{ kPa} \cdot (\sin 25^\circ) \cdot (\sin 25^\circ) - 18 \text{ kPa} \cdot (\cos 25^\circ) \cdot (\cos 25^\circ) + 43 \text{ kPa} \cdot (\cos 25^\circ) \cdot (\sin 25^\circ) \\ \sigma_{yy} &= 29 \text{ kPa} \cdot (\sin 25^\circ) \cdot (\sin 25^\circ) + 18 \text{ kPa} \cdot (\cos 25^\circ) \cdot (\cos 25^\circ) - 43 \text{ kPa} \cdot (\cos 25^\circ) \cdot (\sin 25^\circ) \\ \sigma_{xy} &= 18 \text{ kPa} \cdot (\sin 25^\circ) \cdot (\cos 25^\circ) - 43 \text{ kPa} \cdot (\cos 25^\circ) \cdot (\sin 25^\circ) \end{aligned}$$

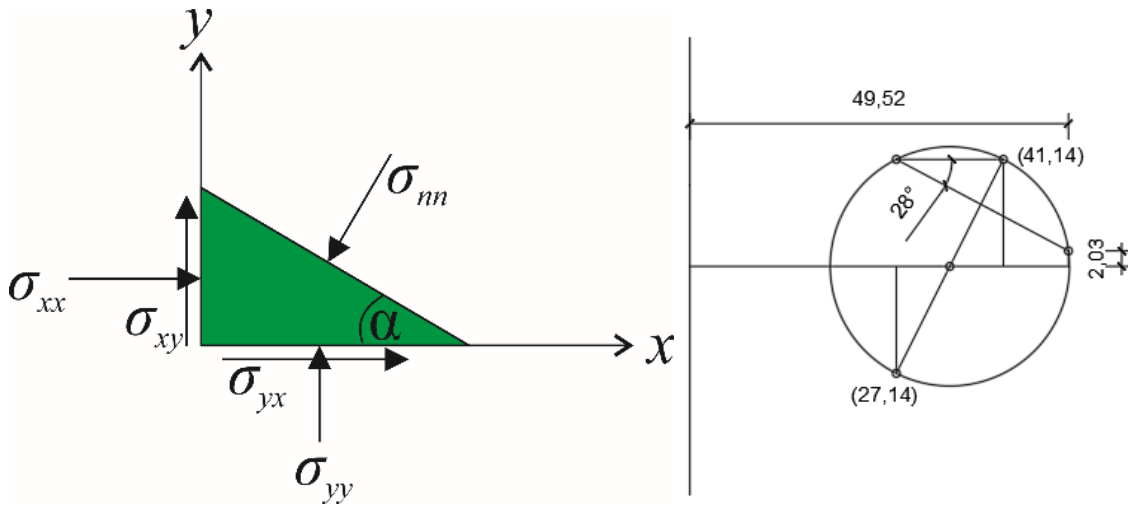
**Naloga 13.2:** Napetosti na poljubni ravnini.

V določeni točki ravnine so napetosti:

$$\begin{aligned} \sigma_{xx} &= 27 \text{ kPa} \\ \sigma_{xy} &= 14 \text{ kPa} \\ \sigma_{yx} &= 14 \text{ kPa} \\ \sigma_{yy} &= 41 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Določite normalno napetost ( $\sigma_{nn}$ ) na ravnini, ki tvori kot  $\alpha$  s smerjo x.

$$\alpha = 28^\circ$$



Slika 20: Napetosti na poljubni ravnini.



$$\begin{aligned}
 -\sigma_{nn} \cdot A + \sigma_{xx} \cdot (A \cdot \sin \alpha) \cdot (A \cdot \sin \alpha) + \sigma_{yx} \cdot (A \cdot \cos \alpha) \cdot (A \cdot \sin \alpha + \sigma_{yy} \cdot (A \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \alpha + \sigma_{xy} \\
 \cdot (A \cdot \sin \alpha) \cdot \cos \alpha = 0 \\
 \sigma_{nn} = \sigma_{xx} \cdot (\sin \alpha) \cdot (\sin \alpha) + \sigma_{yx} \cdot (\cos \alpha) \cdot (\cos \alpha) + \sigma_{yy} \cdot (\cos \alpha) \cdot (\cos \alpha) + \sigma_{xy} \cdot (\sin \alpha) \cdot \cos \alpha \\
 \sigma_{nn} = 27 \text{ kPa} = (\sin 28^\circ) \cdot (\sin 28^\circ) \cdot (41 \text{ kPa}) + (\cos 28^\circ) \cdot (\cos 28^\circ) \cdot (49,52 \text{ kPa}) + 2,03 \cdot (\cos 28^\circ) \\
 \cdot (\sin 28^\circ) \cdot (14 \text{ kPa} + 14 \text{ kPa}) + 2,03 \cdot (\sin 28^\circ) \cdot (\cos 28^\circ) \cdot (14 \text{ kPa} + 14 \text{ kPa}) = 49,521 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

**Naloga 13.3:** Maksimalna glavna napetost.

V neki točki zemljine so podane naslednje napetosti:

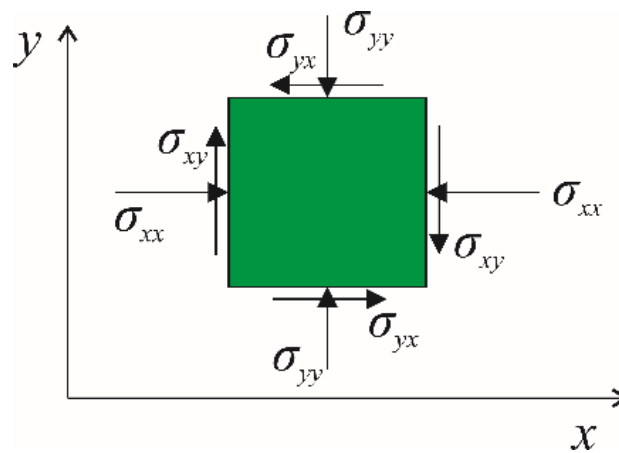
$$\sigma_{xx} = 21 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{xy} = 19 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{yx} = 19 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{yy} = 58 \text{ kPa}$$

Izračunajte največjo glavno napetost (v kPa)



Slika 21: Napetostno stanje v zemljini.



$$C = (\sigma_{xx} + \sigma_{yy})/2 = (21 \text{ kPa} + 58 \text{ kPa})/2 = 39,5 \text{ kPa}$$

$$R = \sqrt{(\sigma_{xy})^2 + (\sigma_{yy} - C)^2} = \sqrt{(19 \text{ kPa})^2 + (58 \text{ kPa} - 39,5 \text{ kPa})^2}$$

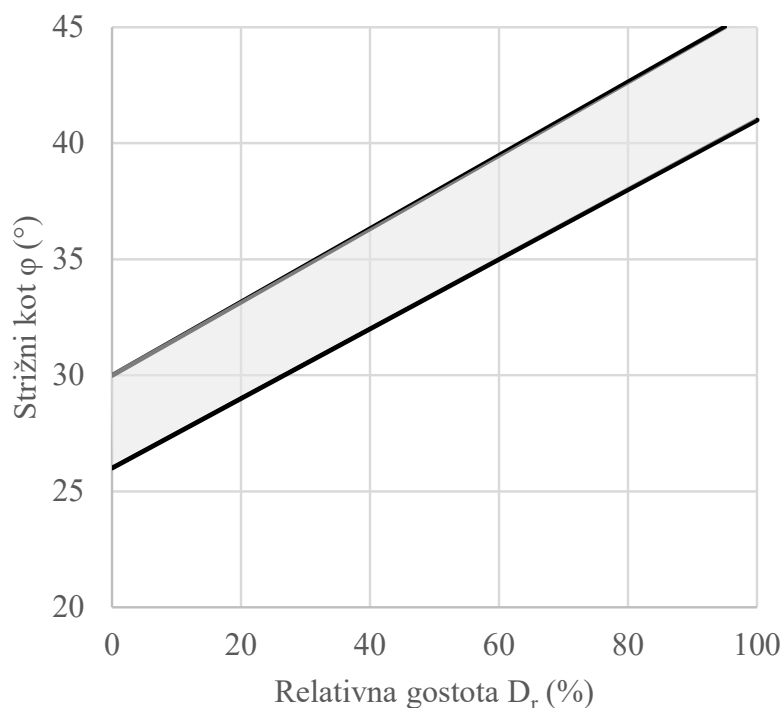
$$= 26,52 \text{ kPa}$$

$$\sigma_1 = C + R = 39,5 \text{ kPa} + 26,52 \text{ kPa} = 66,02 \text{ kPa}$$



## 14 Določitev parametrov strižne trdnosti

Strižni kot zemljine je odvisen od relativne gostote, velikosti zrn, oblike zrn in porazdelitve zrn v določeni masi tal. Če v določeni zemljini povečamo količnik por (tj. zmanjšanje relativne gostote), se bo strižni kot zemljine zmanjšal. Če pa imajo zrna več lomljenih površin, bo strižni kot zemljine večji. Splošno območje strižnega kota peska v odvisnosti od relativne gostote je prikazano na sliki spodaj.



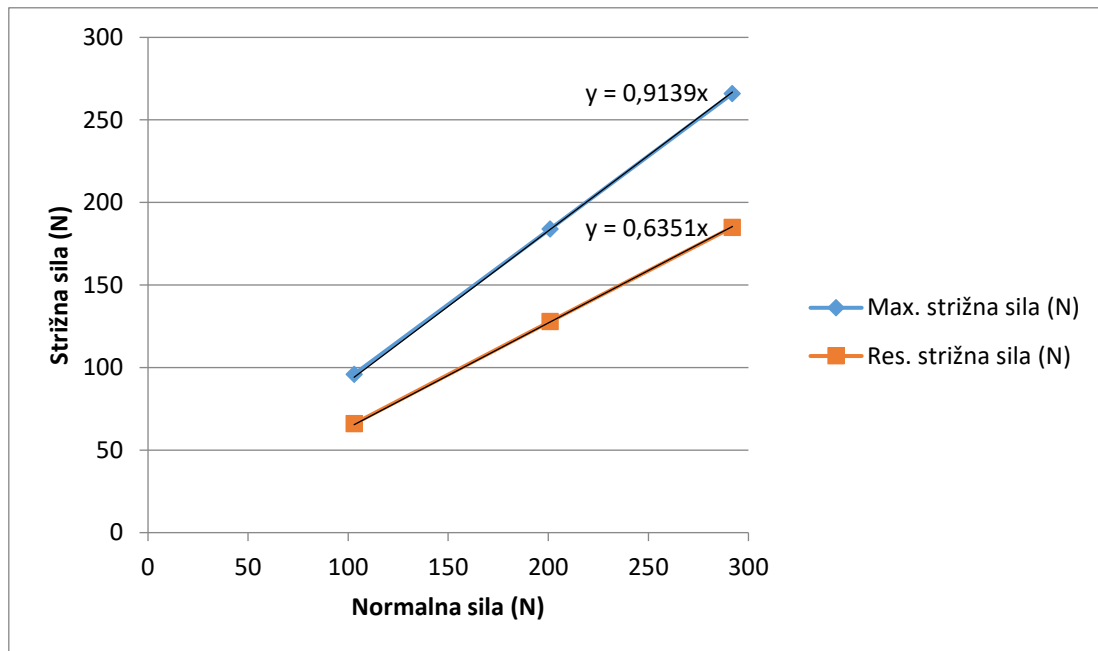
Slika 22: Strižni kot peska v odvisnosti od relativne gostote.

## NALOGE

**Naloga 14.1:** Na podlagi rezultatov (preglednica spodaj) direktne translatorne strižne preiskave določite strižna parametra Mohr-Coulombove premice strižne trdnosti za vrhnje in residualne vrednosti.

Normalna sila (N)	103	201	292
Max. strižna sila (N)	96	184	266
Res. strižna sila (N)	66	128	185



**Rešitev:**

Slika 23: Direktna translatorna strižna preiskava.

Normalna sila (N)	103	201	292	k (-)	$\varphi$ (°)
Max. strižna sila (N)	96	184	266	0.9139	42
Res. strižna sila (N)	66	128	185	0.6351	32

**Naloga 14.2:** Strižni parametri trdnosti peska znašajo  $c' = 0$  kPa in  $\varphi' = 30^\circ$ . Izvedli smo triosni preizkus strižne trdnosti, z tlakom v celici 100 kPa. Premer vzorca je 3,8 cm. Kolikšno osno silo lahko vzorec prevzame tik pred poružitvijo?



**Rešitev:**

$$C = \frac{\sigma_c + \sigma_1}{2}$$

$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_c}{2}$$

$$\sin \varphi' = \frac{R}{C} = \frac{\sigma_1 - \sigma_c}{\sigma_1 + \sigma_c}$$

$$\sigma_1 = \sigma_c \cdot \frac{1 + \sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'} = 100 \text{ kPa} \cdot \frac{1 + \sin 30^\circ}{1 - \sin 30^\circ} = 300 \text{ kPa}$$

$$F_1 = \sigma_1 \cdot A = 300 \text{ kPa} \cdot \frac{\pi \cdot (0,038 \text{ m})^2}{4} = 0,340 \text{ kN} = 340 \text{ N}$$

**Naloga 14.3:** Strižna trdnost – zgled 1

V popolnoma osušenem pesku so podane naslednje napetosti:

$$\sigma_{xx} = 34,5 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{xy} = 11,9 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{yx} = 11,9 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{yy} = 54,5 \text{ kPa}$$

Pesek je v mejnem stanju (v stanju porušitve).

Izračunajte strižni kot peska.



**Rešitev:**

$$C = \frac{\sigma_{xx} + \sigma_{yy}}{2} = \frac{34,5 \text{ kPa} + 54,5 \text{ kPa}}{2} = 44,5 \text{ kPa}$$

$$R = \sqrt{\sigma_{xy}^2 + (\sigma_{yy} - C)^2} = \sqrt{(11,9 \text{ kPa})^2 + (54,5 \text{ kPa} - 44,5 \text{ kPa})^2} = 15,54 \text{ kPa}$$

$$\sin \varphi' = \frac{R}{C}$$

$$\varphi' = \arcsin \frac{R}{C} = \arcsin \frac{15,54 \text{ kPa}}{44,5 \text{ kPa}} = 20,4^\circ$$

**Naloga 14.4:** Strižna trdnost – triosni preskus 1.

V triosni celici smo preskušali popolnoma suh pesek. Začetna triosna (sferna) napetost je znašala:

$$\sigma_c = 47,6 \text{ kPa}$$

Premer vzorca znaša:

$$D = 38 \text{ mm}$$

Vzorec se poruši pri dodani maksimalni osni sili:

$$F = 62,5 \text{ N}$$

Izračunaj strižni kot peska.



**Rešitev:**

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0,038 \text{ m})^2}{4} = 0,001134 \text{ m}^2$$

$$\sigma_d = \frac{F}{A} = \frac{62,5 \text{ N}}{0,001134 \text{ m}^2} = 55114,6 \text{ Pa} = 55,11 \text{ kPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_c + \sigma_d = 47,6 \text{ kPa} + 55,11 \text{ kPa} = 102,71 \text{ kPa}$$

$$C = \frac{\sigma_c + \sigma_1}{2} = \frac{47,6 \text{ kPa} + 102,71 \text{ kPa}}{2} = 75,16 \text{ kPa}$$

$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_c}{2} = \frac{102,71 \text{ kPa} - 47,6 \text{ kPa}}{2} = 27,56 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = \text{asin} \frac{R}{C} = \text{asin} \frac{27,56 \text{ kPa}}{75,16 \text{ kPa}} = 21,5^\circ$$

**Naloga 14.5:** Strižna trdnost – triosni preskus 2.


Na vzorcu gline smo izvedli konsolidiran nedreniran preskus. Začetna sferna napetost v celici je:

$$\sigma_c = 30 \text{ kPa}$$

Opazimo da se vzorec poruši ko dodamo dodatno vertikalno obremenitev:

$$\sigma_d = 138 \text{ kPa}$$

Določite nedrenirano strižno trdnost tal v kPa.



$$\sigma_1 = \sigma_c + \sigma_d = 30 \text{ kPa} + 138 \text{ kPa} = 168 \text{ kPa}$$

$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_c}{2} = \frac{168 \text{ kPa} - 30 \text{ kPa}}{2} = 69 \text{ kPa}$$

$$c_u = R = 69 \text{ kPa}$$

**Naloga 14.6:** Strižna trdnost – triosni preskus 3

Pri nedreniranem triosnem testu na popolnoma zasičenem vzorcu gline je bil najprej tlak v celici povečan za:

$$\sigma_c = 40 \text{ kPa}$$

Nato je bila dodatno povečana vertikalna komponenta napetosti:

$$\sigma_d = 27,3 \text{ kPa}$$

Kolikšen je porni tlak?




Porni tlak vode zaradi obodne napetosti:  
 $u_1 = \sigma_c = 40 \text{ kPa}$   
 Dodatni porni tlak vode zaradi vertikalne napetosti  $\sigma_d$ :  
 $u_2 = \frac{\sigma_d}{3} = 9,1 \text{ kPa}$   
 Skupni porni tlak vode znaša:  
 $u_3 = u_1 + u_2 = 49,1 \text{ kPa}$

**Naloga 14.7:** Strižna trdnost – triosni preskus 3

Na dveh enakih vzorcih gline opravimo triosna testa. Premer vzorcev je:

$$D = 3,8 \text{ cm}$$

V prvem preizkusu je tlak v celici:

$$\sigma_{cI} = 20 \text{ kPa}$$

Porušitev se zgodi pri sili:

$$F_I = 151,2 \text{ N}$$

V tem trenutku je porni tlak:

$$u_I = 14,7 \text{ kPa}$$

V drugem preizkusu je tlak v celici:

$$\sigma_{cII} = 60 \text{ kPa}$$

Porušitev se zgodi pri sili:

$$F_{II} = 249,7 \text{ N}$$

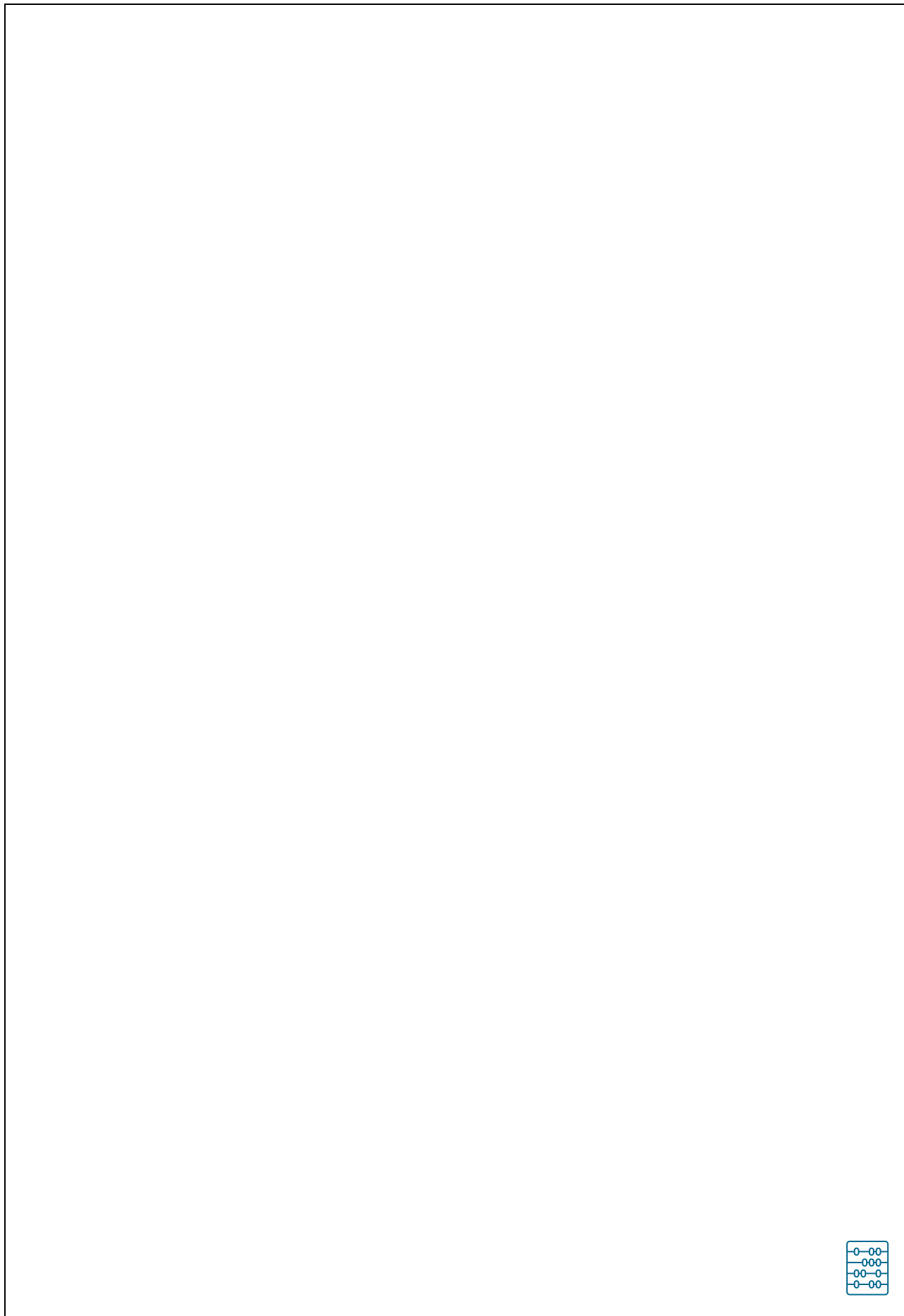
V tem trenutku je porni tlak:

$$u_{II} = 24,2 \text{ kPa}$$

Določite efektivni strižni kot v stopinjah.







**Rešitev:**

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0,038 \text{ m})^2}{4} = 0,001134 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{d,I} = \frac{F}{A} = \frac{151,2 \text{ N}}{0,001134 \text{ m}^2} = 133,33 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{1,I} = \sigma_{c,I} + \sigma_{d,I} = 20 \text{ kPa} + 133,33 \text{ kPa} = 153,33 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{1,I} = \sigma_{1,I} - u_I = 153,33 \text{ kPa} - 14,7 \text{ kPa} = 138,63 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{3,I} = \sigma_{3,I} - u_I = 20 \text{ kPa} - 14,7 \text{ kPa} = 5,3 \text{ kPa}$$

$$C'_I = \frac{\sigma'_{3,I} + \sigma'_{1,I}}{2} = \frac{5,3 \text{ kPa} + 138,63 \text{ kPa}}{2} = 71,97 \text{ kPa}$$

$$R'_I = \frac{\sigma'_{1,I} - \sigma'_{3,I}}{2} = \frac{138,63 \text{ kPa} - 5,3 \text{ kPa}}{2} = 66,67 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{d,II} = \frac{F}{A} = \frac{249,7 \text{ N}}{0,001134 \text{ m}^2} = 220,19 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{1,II} = \sigma_{c,II} + \sigma_{d,II} = 60 \text{ kPa} + 220,19 \text{ kPa} = 280,19 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{1,II} = \sigma_{1,II} - u_{II} = 280,19 \text{ kPa} - 24,2 \text{ kPa} = 255,99 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{3,II} = \sigma_{3,II} - u_{II} = 60 \text{ kPa} - 24,2 \text{ kPa} = 35,8 \text{ kPa}$$

$$C'_{II} = \frac{\sigma'_{3,II} + \sigma'_{1,II}}{2} = \frac{35,8 \text{ kPa} + 255,99 \text{ kPa}}{2} = 145,90 \text{ kPa}$$

$$R'_{II} = \frac{\sigma'_{1,II} - \sigma'_{3,II}}{2} = \frac{255,99 \text{ kPa} - 35,8 \text{ kPa}}{2} = 110,10 \text{ kPa}$$

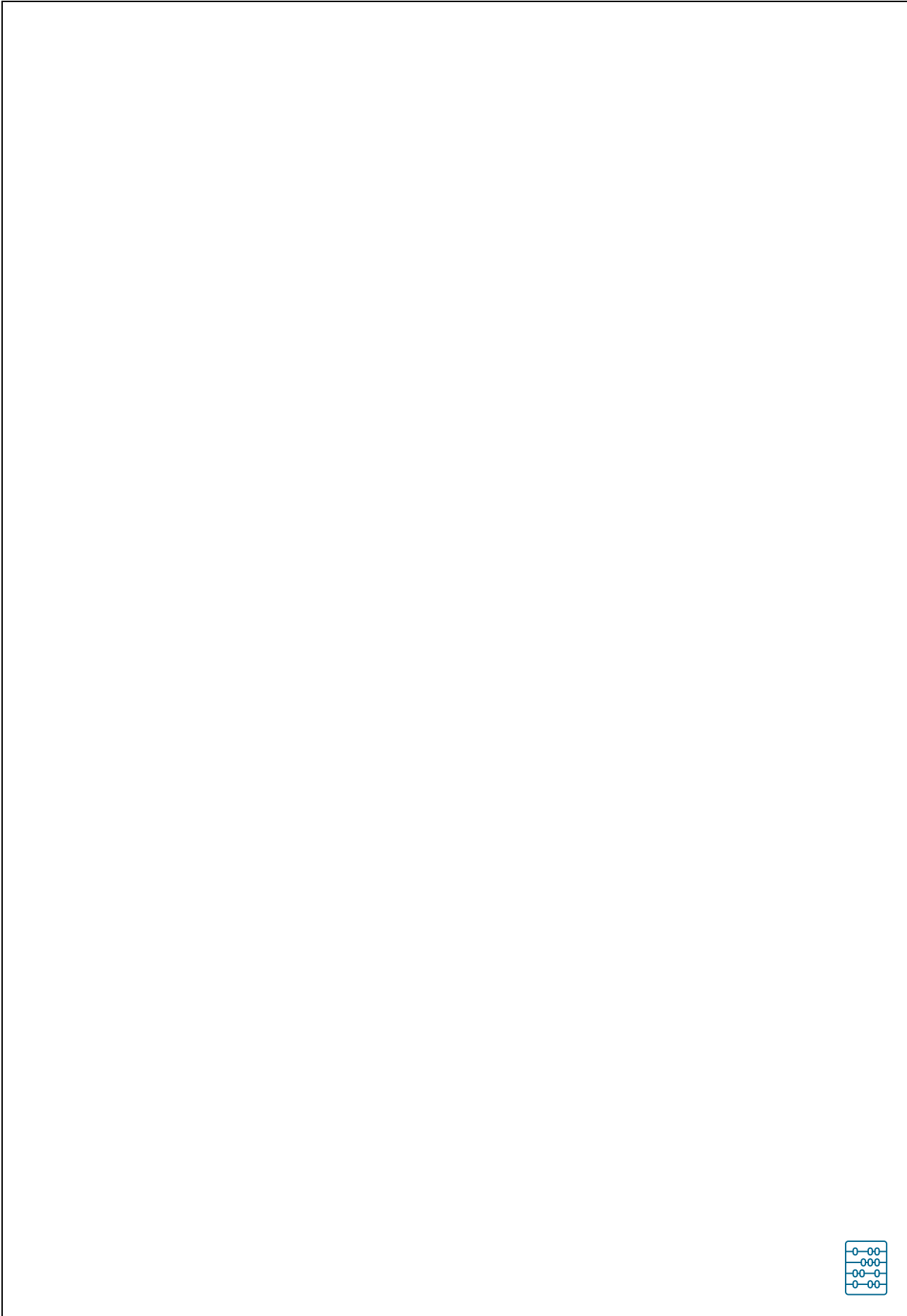
$$\sin \varphi' = \tan \beta'$$

$$\beta' = \text{atan} \left( \frac{R'_{II} - R'_I}{C'_{II} - C'_I} \right) = \text{atan} \left( \frac{110,10 - 66,67}{145,90 - 71,97} \right) = 30,4^\circ$$

$$\varphi' = \text{asin}(\tan \beta') = \text{asin}(\tan 30,4^\circ) = 36^\circ$$

**Naloga 14.8:** Skemptonova koeficienta: Z nedreniranim triosnim preskusom so testirali vzorec gline. Tlak v celici je znašal  $\sigma_c = 100 \text{ kPa}$ , izmerjeni porni tlak pa je bil  $55 \text{ kPa}$ . Nato smo aplicirali deviatorično napetost v dveh stopnjah po  $200 \text{ kPa}$  in izmerili porne tlake. Podatki so povzeti v tabeli. Izračunajte Skemptonova koeficienta:

	1	2
$\Delta\sigma_d$ (kPa)	200	400
$\Delta u_d$ (kPa)	95	120



**Rešitev:**

$$\Delta u_1 = \Delta \sigma_{d,1} + \Delta \sigma_c = 95 \text{ kPa} + 55 \text{ kPa} = 150 \text{ kPa}$$

$$\Delta u_2 = \Delta \sigma_{d,2} + \Delta \sigma_c = 120 \text{ kPa} + 55 \text{ kPa} = 175 \text{ kPa}$$

$$B = \frac{\Delta u_c}{\Delta \sigma_c} = \frac{55 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} = 0,55$$

$$\bar{A}_1 = \frac{\Delta u_d}{\Delta \sigma_d} = \frac{95 \text{ kPa}}{200 \text{ kPa}} = 0,475$$

$$\bar{A}_2 = \frac{\Delta u_d}{\Delta \sigma_d} = \frac{120 \text{ kPa}}{400 \text{ kPa}} = 0,3$$

$$A_1 = \frac{\bar{A}_1}{B} = \frac{0,475}{0,55} = 0,864$$

$$A_2 = \frac{\bar{A}_2}{B} = \frac{0,3}{0,55} = 0,545$$

	1	2
$\bar{A}$	0,475	0,3
$A$	0,864	0,545

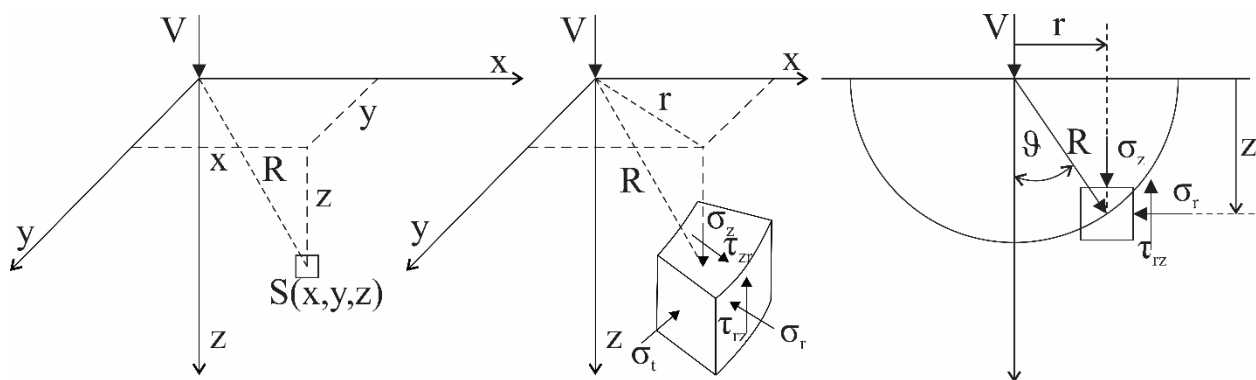
## 15 Napetosti – teorija elastičnosti

### Naloga 15.1: Točkovna obtežba

$$V \text{ (kN)} = 150$$

$$\nu = 0.3$$

$r$ (m)	$z$ (m)	$\vartheta$ (°)	$R$ (m)	$\sigma_z$ (kPa)	$\sigma_r$ (kPa)	$\sigma_t$ (kPa)	$\tau_{rz}$ (kPa)
1	1	45,00	1,41	12,66	9,86	-0,58	12,66
1	2	26,57	2,24	10,25	1,55	-0,70	5,12
1	3	18,43	3,16	6,11	0,19	-0,42	2,04



Slika 24: Točkovna obtežba.



**Rešitev:**

$$R = \sqrt{z^2 + r^2} = \sqrt{(1\text{ m})^2 + (1\text{ m})^2} = 1,4142\text{ m}$$

$$\vartheta = \tan^{-1}(r/z) = \tan^{-1}(1\text{ m}/1\text{ m}) = 45^\circ$$

$$\sigma_z = \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot (3 \cdot \cos^3 \vartheta) = \frac{150\text{ kN}}{2 \cdot \pi \cdot (1,4142\text{ m})^2} \cdot (3 \cdot \cos^3(45^\circ)) = 12,66\text{ kPa}$$

$$\sigma_r = \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot \left[ 3 \cdot \cos \vartheta \cdot \sin^2 \vartheta - \frac{(1 - 2\nu)}{1 + \cos \vartheta} \right]$$

$$\sigma_r = \frac{150\text{ kN}}{2 \cdot \pi \cdot (1,4142\text{ m})^2} \cdot \left[ 3 \cdot \cos(45^\circ) \cdot \sin^2(45^\circ) - \frac{(1 - 2 \cdot 0,3)}{1 + \cos(45^\circ)} \right] = 9,86\text{ kPa}$$

$$\sigma_t = \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot (1 - 2\nu) \cdot \left[ \frac{1}{1 + \cos \vartheta} - \cos \vartheta \right]$$

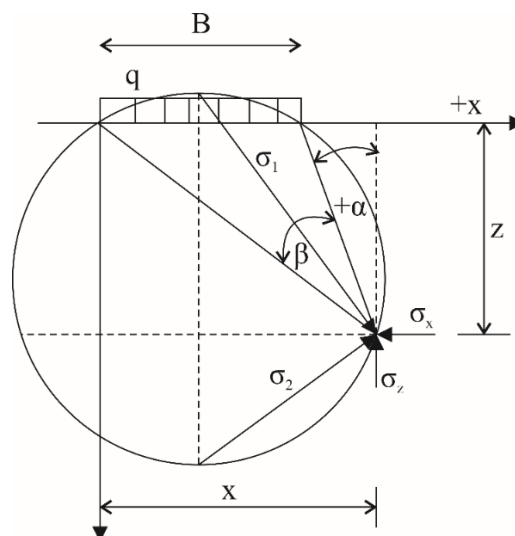
$$\sigma_t = \frac{150\text{ kN}}{2 \cdot \pi \cdot (1,4142\text{ m})^2} \cdot (1 - 2 \cdot 0,3) \cdot \left[ \frac{1}{1 + \cos(45^\circ)} - \cos(45^\circ) \right] = -0,58\text{ kPa}$$

$$\tau_{rz} = \frac{3 \cdot V}{2 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot \cos^2 \vartheta \cdot \sin \vartheta$$

$$\tau_{rz} = \frac{3 \cdot 150\text{ kN}}{2 \cdot \pi \cdot (1,4142\text{ m})^2} \cdot \cos^2(45^\circ) \cdot \sin(45^\circ) = 12,66\text{ kPa}$$

**Naloga 15.2:** Enakomerna brezkraina pasovna obtežba

Polprostor je na površini obremenjen z enakomerno brezkraino pasovno obtežbo 100 kPa širine 2,0 m. Določi napetosti v točkah polprostora, ki se nahajata na globini 2,0 m in sta od desnega roba obtežbe, oddaljeni za 1,0 m, 3,0 m ter 4,0 m.



Slika 25: Enakomerna brezkraina pasovna obtežba.





**Rešitev:**

Napetosti v zemeljskem pol-prostoru zaradi enakomerne brezkrajne pasovne obtežbe izračunamo kot:

$$\sigma_z = \frac{q}{\pi} \cdot [\beta + \sin \beta \cdot \cos(2\alpha + \beta)]$$

$$\sigma_x = \frac{q}{\pi} \cdot [\beta - \sin \beta \cdot \cos(2\alpha + \beta)]$$

$$\tau_{xz} = \frac{q}{\pi} \cdot [\sin \beta \cdot \sin(2\alpha + \beta)]$$

Glavne napetosti izrazimo kot:

$$\sigma_{1,2} = \frac{q}{\pi} \cdot [\beta \pm \sin(\beta)]$$

Enakomerna brezkrajna pasovna obtežba

$$q \text{ (kPa)} = 100$$

$$B \text{ (m)} = 2$$

x (m)	z (m)	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	$\sigma_z$ (kPa)	$\sigma_x$ (kPa)	$\tau_{xz}$ (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	$\sigma_2$ (kPa)
3	2	26.57	29.74	18.48	14.57	15.67	32.32	0.73
5	2	56.31	11.89	2.89	10.32	5.40	13.16	0.05
6	2	63.43	8.13	1.33	7.70	3.18	9.02	0.02

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{x - B}{z} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{3 \text{ m} - 2 \text{ m}}{2 \text{ m}} \right) = 26,57^\circ = 0,4636 \text{ rad}$$

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{x}{z} \right) - \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{3 \text{ m}}{2 \text{ m}} \right) - 26,57^\circ = 29,74^\circ = 0,5191 \text{ rad}$$

$$\sigma_z = \frac{q}{\pi} \cdot [\beta + \sin \beta \cdot \cos(2\alpha + \beta)] =$$

$$\sigma_z = \frac{100 \text{ kPa}}{\pi} \cdot [0,5191 \text{ rad} + \sin(29,74^\circ) \cdot \cos(2 \cdot 26,57^\circ + 29,74^\circ)] = 18,48 \text{ kPa}$$

$$\sigma_x = \frac{q}{\pi} \cdot [\beta - \sin \beta \cdot \cos(2\alpha + \beta)] =$$

$$\sigma_x = \frac{100 \text{ kPa}}{\pi} \cdot [0,5191 \text{ rad} - \sin(29,74^\circ) \cdot \cos(2 \cdot 26,57^\circ + 29,74^\circ)] = 14,57 \text{ kPa}$$

$$\tau_{xz} = \frac{q}{\pi} \cdot [\sin \beta \cdot \sin(2\alpha + \beta)]$$

$$\tau_{xz} = \frac{100 \text{ kPa}}{\pi} \cdot [\sin(29,74^\circ) \cdot \sin(2 \cdot 26,57^\circ + 29,74^\circ)] = 15,67 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{q}{\pi} \cdot [\beta \pm \sin(\beta)]$$

$$\sigma_1 = \frac{100 \text{ kPa}}{\pi} \cdot [0,5191 \text{ rad} + \sin(29,74^\circ)] = 32,32 \text{ kPa}$$

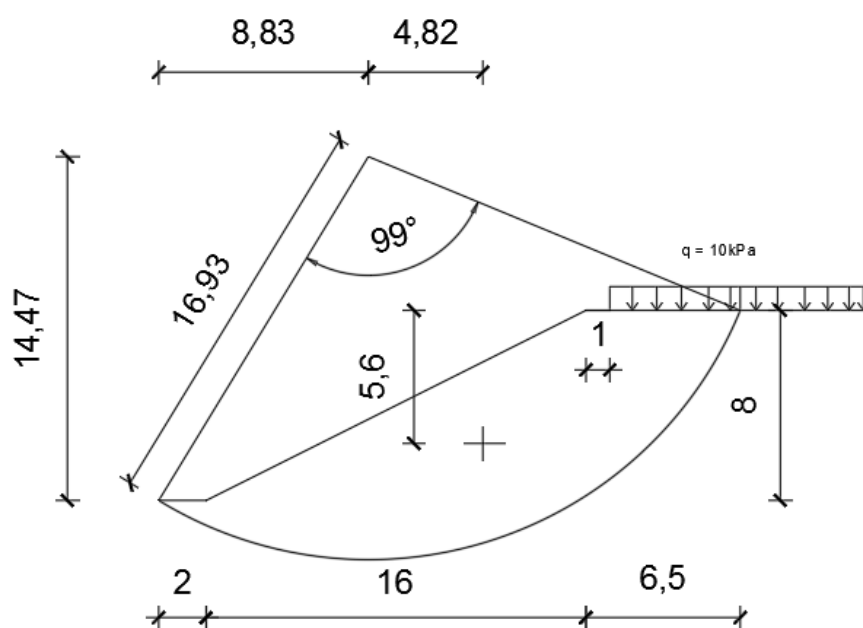
$$\sigma_2 = \frac{100 \text{ kPa}}{\pi} \cdot [0,5191 \text{ rad} - \sin(29,74^\circ)] = 0,73 \text{ kPa}$$



## 16 Stabilnostna analiza

**Naloga 16.1:** Princip totalnih napetosti: Momentno ravnotežje – geometrijska metoda  
( $\varphi_u = 0$ )

Stabilnost pobočja analiziramo s pomočjo krožne porušnice. Geometrija pobočja in krožne porušnice je podana spodaj na sliki. Prostorninska teža zemljine znaša  $\gamma = 18,5$  kN/m<sup>3</sup>, nedrenirana strižna trdnost zemljine pa  $c_u = 20$  kPa. Površina telesa, ki ga obdaja pobočje in krožna porušnica znaša  $A = 124,44$  m<sup>2</sup>. Preverite, ali je pobočje stabilno.



Slika 26: Krožna porušnica.





**Rešitev:**

Najprej izračunamo dolžino krožne porušnice:

$$L = \frac{\pi \cdot \theta \cdot R}{180^\circ} = \frac{\pi \cdot 99^\circ \cdot 16,93 \text{ m}}{180^\circ} = 29,25 \text{ m}$$

Nato določimo površino telesa, ki ga obdaja površina pobočja in krožna porušnica. To površino lahko določimo s pomočjo računalniških programov, kot npr. AutoCAD. Na podlagi površine  $A$  lahko izračunamo težo drsine z naslednjo enačbo:

$$G = A \cdot \gamma = 124,44 \text{ m}^2 \cdot 18 \text{ kN/m}^3 = 2302,14 \text{ kN/m}$$

Izračunamo tudi silo zaradi obtežbe na površini:

$$Q = q \cdot l_q = 10 \text{ kPa} \cdot 5,5 \text{ m} = 55 \text{ kN/m}$$

Nato odčitamo horizontalno oddaljenost od središča krožne porušnice in teže  $G$  oziroma sile  $Q$ . Torej potrebni sta razdalji  $x_G$  in  $x_Q$ . Izračunamo destabilizacijski moment:

$$M_a = G \cdot x_G + Q \cdot x_Q$$

$$M_a = 2302,14 \text{ kN/m} \cdot 4,82 \text{ m} + 55 \text{ kN/m} \cdot 12,92 \text{ m} = 11806,9 \text{ kNm/m}$$

Odpornostni moment, ki ga nudi zemljina zaradi nedrenirane strižne trdnosti znaša:

$$M_R = L \cdot c_u \cdot R = 29,25 \text{ m} \cdot 20 \text{ kN/m}^2 \cdot 16,93 \text{ m} = 9904,05 \text{ kNm/m}$$

Količnik varnosti izračunamo kot:

$$F_s = \frac{M_R}{M_a} = \frac{9904,05 \text{ kNm/m}}{11806,9 \text{ kNm/m}} = 0,839$$

Pobočje je nestabilno, ker je količnik varnosti  $F_s$  manjši od 1. Povzetek izračuna je podan v preglednici spodaj.

$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) =	18.5
$c_u$ (kPa) =	20
$\theta$ (°) =	99
$R$ (m) =	16.93
$L$ (m) =	29.25





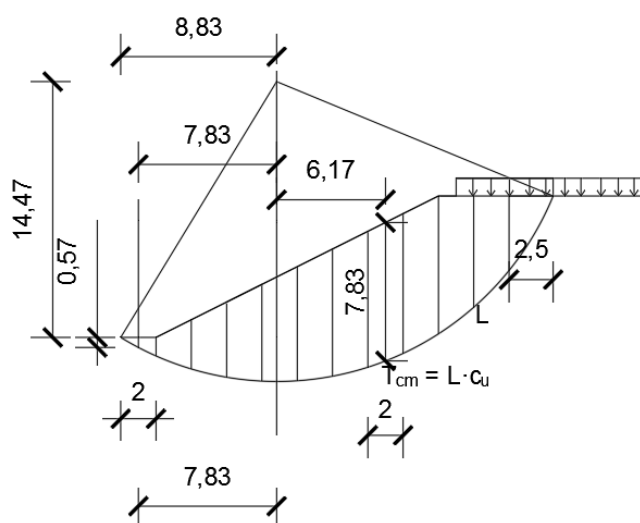




Najprej izračunamo dolžino krožne porušnice:

$$L = \frac{\pi \cdot \theta \cdot R}{180^\circ} = \frac{\pi \cdot 99^\circ \cdot 16,93 \text{ m}}{180^\circ} = 29,25 \text{ m}$$

Nato določimo površino telesa, ki ga obdajata površina pobočja in krožna porušnica. To površino lahko določimo tako, da razdelimo drsno telo na lamele, kot je prikazano na sliki spodaj. Iz slike je razvidno da ima lamela 1 višino  $h_1 = 0,57 \text{ m}$ , širino  $b = 2 \text{ m}$  in oddaljenost od  $x_1 = -7,83 \text{ m}$ . Lamela 8 pa ima sledeče vrednosti:  $h_8 = 7,83 \text{ m}$ , širino  $b = 2 \text{ m}$  in oddaljenost od  $x_8 = 6,17 \text{ m}$ .



Slika 29: Rešitev naloge 16.2.

Težo lamele 1 izračunamo kot:

$$G_1 = h_i \cdot b_i \cdot \gamma = 0,57 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot 18 \text{ kN/m}^3 = 21,09 \text{ kN/m}$$

Na enak način izračunamo teže vseh lamel. Tabela spodaj prikazuje izračune tež vseh lamel.

$\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)} =$	18.5
$c_u \text{ (kPa)} =$	20
$\theta \text{ (}^\circ\text{)} =$	99
$R \text{ (m)} =$	16.93
$L \text{ (m)} =$	29.25

	h(m)	b(m)	A(m <sup>2</sup> )	G(kN/m)	r(m)	M(kNm/m)
1	<b>0.57</b>	<b>2</b>	1.14	<b>21.09</b>	<b>-7.83</b>	-165.1
2	2	2	4	74	-5.83	-431.4
3	3.55	2	7.1	131.35	-3.83	-503.1
4	4.9	2	9.8	181.3	-1.83	-331.8
5	6	2	12	222	0.17	37.7
6	6.85	2	13.7	253.45	2.17	550.0
7	7.5	2	15	277.5	4.17	1157.2
8	7.83	2	15.66	289.71	6.17	1787.5
9	7.9	2	15.8	292.3	8.17	2388.1
10	7.1	2	14.2	262.7	10.17	2671.7
11	5.34	2	10.68	197.58	12.17	2404.5
12	2.45	2.5	6.125	113.3125	14.42	1634.0
OBT		5.5		10	12.92	710.6
					Skupaj M <sub>a</sub>	11909.9

$$T_{cm} \text{ (kN/m)} = 585.0588$$

$$M_R \text{ (kNm/m)}$$

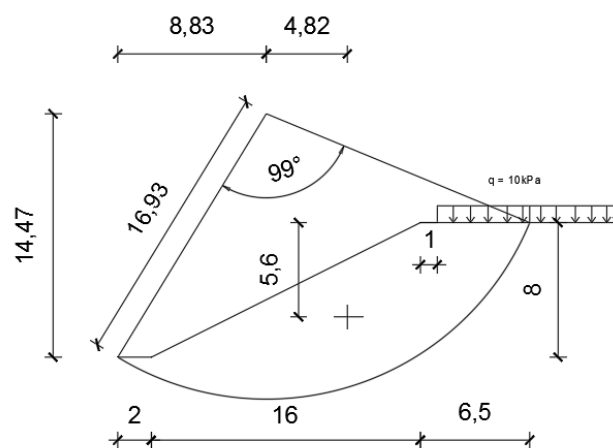
$$= 9905.045$$

$$F_s \text{ (-)} = 0.832$$

**Naloga 16.3:** Princip totalnih napetosti: Momentno ravnotežje – radialna metoda

( $\varphi_u = 0$ )

Stabilnost pobočja analiziramo s pomočjo krožne porušnice. Geometrija pobočja in krožne porušnice je podana na sliki spodaj. Prostorninska teža zemljine znaša  $\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$ , nedrenirana strižna trdnost zemljine pa  $c_u = 20 \text{ kPa}$ . Preverite, ali je pobočje stabilno.



Slika 30: Naloga 16.3.















**Rešitev:**

Radialni postopek lahko uporabimo tudi pri delno nasičenih tleh, v primeru, da ni potrebno upoštevati pornega tlaka vode (Nekonsolidirani nedrenirani preizkus - UU). Zaradi strižnega kota  $\varphi_u$  je treba sedaj upoštevati tudi normalno komponento teže lamele  $N$  in tangencialno komponento  $T$ . Za prvo lamelo velja:

$$N_i = G_i \cdot \cos \psi_1 = 21,09 \text{ kN/m} \cdot \cos(-28^\circ) = 18,62 \text{ kN/m}$$

$$T_1 = G_1 \cdot \sin \psi_1 = 21,09 \text{ kN/m} \cdot \sin(-28^\circ) = -9,90 \text{ kN/m}$$

**Silo trenja izračunamo kot:**

$$F_1 = N_i \cdot \tan \varphi_u = 18,62 \text{ kN/m} \cdot \tan 25^\circ = 8,68 \text{ kN/m}$$

S pomočjo spodnje preglednice izračunamo posamezne komponente sile in silo trenja:

$c_u$ (kPa) =	15
$\varphi_u$ (°) =	25
$\theta$ (°) =	99
R (m) =	16.93
L (m) =	29.25

	h(m)	b(m)	A(m <sup>2</sup> )	G(kN/m)	$\psi$ (°)	$T = G \cdot \sin \psi$	$N = G \cdot \cos \psi$	$F = N \cdot \tan \varphi_u$
1	0.57	2	1.14	21.09	-28	-9.9	18.6	8.7
2	2	2	4	74	-20	-25.3	69.5	32.4
3	3.55	2	7.1	131.35	-13	-29.5	128.0	59.7
4	4.9	2	9.8	181.3	-6	-19.0	180.3	84.1
5	6	2	12	222	1	3.9	222.0	103.5
6	6.85	2	13.7	253.45	7	30.9	251.6	117.3
7	7.5	2	15	277.5	14	67.1	269.3	125.6
8	7.83	2	15.66	289.71	21	103.8	270.5	126.1
9	7.9	2	15.8	292.3	29	141.7	255.7	119.2
10	7.1	2	14.2	262.7	37	158.1	209.8	97.8
11	5.34	2	10.68	197.58	46	142.1	137.3	64.0
12	2.45	2.5	6.125	113.3125	58	96.1	60.0	28.0
OBT		5.5		55	50	42.1	35.4	16.5
						702.2		982.9

F (kN/m) =	982.9
$T_{cm}$ (kN/m) =	438.8
$M_R$ (kNm/m) =	24069.03
$M_a$ (kNm/m) =	11887.74
$F_s$ (-) =	2.025

## Literatura

- [1] Aysen, A., (2002). Soil Mechanics Basic Concepts and Engineering Applications, CRC Press.
- [2] Budhu, M., (2010). Soil Mechanics and Foundations. 3rd Edition. John Wiley & Sons, Incorporated.
- [3] Das, B.M., (2019). Advanced Soil Mechanics, Advanced Soil Mechanics. CRC Press, 5th Edition <https://doi.org/10.1201/9781351215183>.
- [4] Knappett, J.A., Craig, R.F., (2012). Craig's Soil Mechanics. Eighth Edition, Craig's Soil Mechanics, Eighth Edition. <https://doi.org/10.1201/b12841>.
- [5] SIST EN ISO 14688-1:2018, (2018). Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Prepoznavanje in razvrščanje zemljin - 1. del: Prepoznavanje in opisovanje (ISO 14688-1:2017).
- [6] SIST EN ISO 14688-1:2004/A1:2013, (2013). Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Prepoznavanje in razvrščanje zemljin - 1. del: Prepoznavanje in opisovanje (ISO 14688-1:2002/A1:2013).
- [7] SIST EN ISO 17892-2:2015, (2015). Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 2. del: Ugotavljanje prostorninske gostote (ISO 17892-2:2014).
- [8] SIST EN ISO 17892-3:2016, (2016). Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 3. del: Ugotavljanje gostote zrn (ISO 17892-3:2015).
- [9] SIST EN ISO 17892-4:2017, (2017). Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 4. del: Ugotavljanje zrnave sestave (ISO 17892-4:2016).
- [10] SIST EN ISO 17892-5:2017, (2017). Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 5. del: Edometriški preskus s postopnim obremenjevanjem (ISO 17892-5:2017).
- [11] SIST EN ISO 17892-6:2017, (2017). Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 6. del: Preskus s konusom (ISO 17892-6:2017).
- [12] SIST EN ISO 17892-7:2018, (2018). Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 7. del: Enoosni tlačni preskus (ISO 17892-7:2017).
- [13] SIST EN ISO 17892-8:2018, (2018). Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 8. del: Nekonsolidirani nedrenirani triosni preskus (ISO 17892-8:2018).
- [14] SIST EN ISO 17892-9:2018, (2018). Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 9. del: Konsolidiran triosni tlačni preskus na z vodo zasičenih zemljinah (ISO 17892-9:2018).
- [15] SIST EN ISO 17892-10:2019, (2019). Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 10. del: Neposredni strižni preskus (ISO 17892-10:2018).
- [16] SIST EN ISO 17892-11:2019, (2019). Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 11. del: Ugotavljanje prepustnosti (ISO 17892-11:2019).
- [17] SIST EN ISO 17892-12:2018, (2018). Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Laboratorijsko preskušanje zemljin - 12. del: Ugotavljanje meje tekočine in plastičnosti (ISO 17892-12:2018).



# REŠEVANJE PROBLEMOV

## MEHANIKE TAL

PRIMOŽ JELUŠIČ

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, Maribor, Slovenija. E-pošta: primoz.jelusic@um.si

**Povzetek** Namen učbenika je aplicirati zakonitosti mehanike tal na praktičnih primerih. Prikazani so osnovni postopki za ovrednotenje fizikalnih in mehanskih lastnosti zemljin, ki so osnova za učinkovito reševanje problemov v geotehnikih. Glede na obstoječo literaturo s področja mehanike tal je vsebina učbenika razdeljena na 16 poglavij: Uvod, Klasifikacija zemljin, Tri-fazni sestav zemljine, Napetosti v zemljini, Napetosti v sloju tal, Darcyjev zakon, Prepustnost zemljin, Precejanje podzemne vode, Napetosti in deformacije, Eno-dimenzionalni tlak, Konsolidacija, Lezenje, Strižna trdnost, Določitev parametrov strižne trdnosti, Napetosti-teorija elastičnosti in Stabilnostna analiza.

**Ključne besede:**

mehnika  
tal,  
lastnosti  
zemljin,  
napetosti v  
sloju  
tal,  
konsolidacija,  
strižna  
trdnost,  
stabilnostna  
analiza

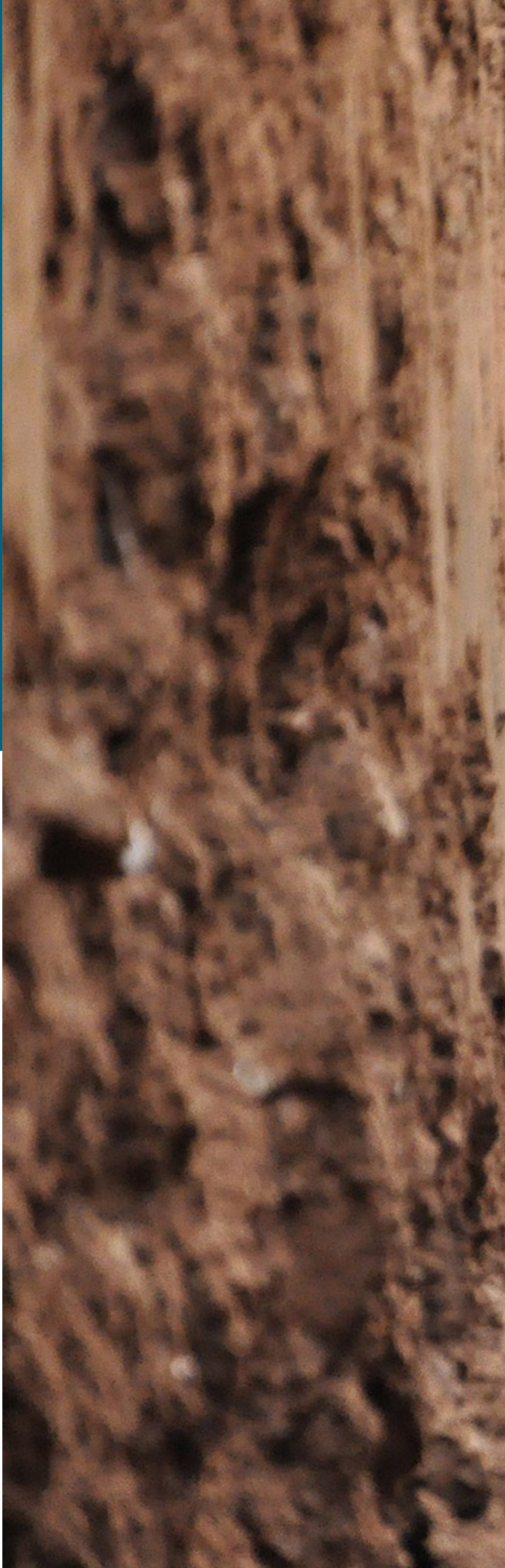
# SOLVING PROBLEMS IN SOIL MECHANIC

PRIMOŽ JELUŠIČ

University of Maribor, Faculty of Civil Engineering, Transportation Engineering and  
Architecture, Maribor, Slovenia. E-mail: primoz.jelusic@um.si

**Abstract** The objective of the book is to apply the laws of soil mechanics to practical examples. The objective of the book is to apply the laws of soil mechanics to practical examples. It presents the basic procedures for evaluating the physical and mechanical properties of soils, which are the basis for solving problems in geotechnical engineering. According to the existing literature in the field of soil mechanics, the contents of the book are divided into 16 chapters: Introduction, Soil Classification, Three-Components of Soil, Stresses in Soil, Stresses in Soil Layer, Darcy's Law, Soil Permeability, Groundwater Seepage, Stresses and Strains, One-Dimensional Compression, Consolidation, Creep, Shear Strength, Determination of Shear Strength Parameters, Elastic Stresses and Deformations, and Stability Analysis.

**Keywords:**  
soil  
mechanics,  
soil  
properties,  
stresses in  
soil  
layer,  
consolidation,  
shear  
strength,  
stability  
analysis





Univerza v Mariboru

---

Fakulteta za gradbeništvo,  
prometno inženirstvo in arhitekturo