

## Vloga mineralogije v mehaniki zemljin

### Significance of mineralogy in soil mechanics

Bojana DOLINAR

Univerza Maribor, Fakulteta za gradbeništvo, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija

*Ključne besede:* gline, Atterbergove meje, meja židkosti, specifična površina  
*Key words:* clays, Atterberg limits, liquid limit, specific surface

#### Kratka vsebina

Preiskava konsistenčnih mej po Atterbergu je v mehaniki zemljin osnovnega pomena, saj na zelo enostaven način določa posledice interakcije trdne in tekoče faze v zemljinah in s tem daje možnost razvrstitve le teh v skupine s podobnimi mehanskimi lastnostmi. Rezultati teh preiskav nudijo v večini primerov zelo dobro osnovo za napovedovanje ostalih lastnosti kot so deformabilnost, nabrekljivost, hidravlična prepustnost in trdnost zemljin, kar kaže na to, da so osnovni dejavniki, ki vplivajo na vrednosti konsistenčnih mej in ostalih mehanskih lastnosti enaki. Znano je, da so vrednosti konsistenčnih mej primarno odvisne od vrste in količine glinenih mineralov v zemljinah. V prispevku je podana eksperimentalno ugotovljena odvisnost med količino vode na meji židkosti zemljin in vrsto, deležem ter specifično površino glinenih zrn. Preiskusi so bili izvedeni z monomineralnimi zemljinami, njihovimi zmesmi ter sestavljenimi vzorci, ki so vključevali tako glinene- kot neglinene komponente. Ugotovljeno je bilo, da je pri paralelni orientaciji glinastih delcev, količina vode med zrn na meji židkosti linearno odvisna od njihove zunanje specifične površine.

#### Abstract

The research of consistency limits according to Atterberg is of key importance in soil mechanics because it determines, in a simple way, results of interactions between solid and liquid phases in soils, and thus provides possibility to classify them in groups with similar mechanic properties. In most cases, the results of these investigations provide a good basis for predicting other properties such as deformability, expansion, hydraulic conductivity and strength of soils. This proves that basis factors influencing the values of consistency limits and other mechanic properties are the same. It is known that the values of consistency limits primarily depend on the type and quantity of clay minerals in soils. The article focuses on experimental evidence of dependence between the quantity of water at the liquid limit for soils and type, portion and specific surface of clay grains. Experiments were performed with monomineral soils, their mixtures and composed samples of clay- and non-clay components. It was established that in parallel orientation of clay particles the quantity of water between grains at liquid limit is dependent on their external specific surface.

#### Uvod

Inženirske lastnosti zemljin oblikujejo različni dejavniki, ki izhajajo iz mineralne sestave in okolja. Medtem ko vrste in količine posameznih mineralov določajo osnovne lastnosti zemljin, so njihove končne inženirske lastnosti odvisne od okolja, ki določa gostoto, vlažnost in strukturo zemljin. Zelo težko je razmejiti vplive, ki jih imajo posamezni dejavniki pri oblikovanju končnih fizikalnih in mehanskih lastnosti zemljin. Razlog je v zelo zapletenem mehanizmu njihove interakcije. Zato je smiselno preučevati vloge posameznih dejavnikov ločeno.

Pri preiskovanju inženirskih lastnosti zemljin v odvisnosti od mineralne sestave je po-

trebno delež posameznik komponent opredeliti zelo točno. Pomembna je predvsem določitev vrste in količine najmanjših, praktično koloidnih delcev, ki jim pripadajo predvsem glineni minerali. Le ti imajo odločilno vlogo pri oblikovanju lastnosti zemljin in že njihov minimalen delež v sestavi lahko povzroči velike razlike v lastnostih. Razen poznavanja sestave zmesi je potrebno poznati zgradbo in značilnosti posameznih mineralov ter njihovo ponašanje v primeru kemično spremenljive tekoče faze zemljin. Zaradi opisanega je takšnih študij zelo malo. Znane so le posamezne ugotovitve medtem, ko celovitejših raziskav ni.

Pri preiskavah, opisanih v prispevku, smo mineraloške lastnosti zemljin povezali z re-

zultati preiskav plastičnosti, ki se v mehaniki tal določa s konsistenčnimi mejami po Atterbergu. Rezultati teh preiskav so osnova za identifikacijo in klasifikacijo vezljivih zemljin in nudijo v večini primerov zelo dobro osnovo za napovedovanje ostalih lastnosti kot so deformabilnost, nabrekljivost, hidravlična prepustnost in trdnost zemljin.

Znano je, da so vrednosti konsistenčnih mej primarno odvisne od vrste in količine glinenih mineralov v zemljinah. Vendar pa se znotraj ene mineralne vrste lahko pojavljajo zelo različne vrednosti Atterbergovih mej, kar dokazujejo že zgodnejše študije, ki so se vršile na monomineralnih vzorcih. Tako je White (1949) ugotovil, da so meje židkosti kaolinitov obratno sorazmerne z velikostjo zrn. Seed et al. (1964) so s preiskavami zmesi glinenih mineralov in peskov dokazali linearno odvisnost med vrednostmi mej židkosti in količinami glinenih mineralov v vzorcih.

Farrar in Coleman (1967) sta na osnovi rezultatov preiskav Atterbergovih mej na 19 vzorcih naravnih zemljin določila linearno odvisnost med mejo židkosti in celotno specifično površino zrn v obliki izraza:

$$w_L = 19 + 0.56A_{St} \quad (1)$$

kjer  $w_L$  pomeni mejo židkosti,  $A_{St}$  pa celotno specifično površino glinenih zrn.

Muhunthan (1991) je vrednosti mej židkosti naravnih glin izrazil kot funkcijo specifičnih površin na naslednji način:

$$\frac{1}{w_L} = \lambda \frac{1}{A_{St}} + \beta;$$

$$0.752 \leq \lambda \leq 1.127; 0.006 \leq \beta \leq 0.0085 \quad (2)$$

Pri vseh navedenih preiskavah je količina vode v zemljini na meji židkosti podana v odvisnosti od količine glinene frakcije v vzorcu, velikosti glinenih zrn ali specifične površine. Ugotovljena razmerja se med seboj zelo razlikujejo, kažejo le približne odvisnosti in veljajo samo za preiskovane zemljine. Ta pomankljivost je bil glavni razlog, da smo opisani problem poskušali razrešiti na ustrežnejši način, ki bi dal uporabnejše rezultate. Podobno kot v predhodnih študijah, smo količino vezane vode v območju meje židkosti povezali s količino in specifično površino glinenih zrn medtem, ko smo rezultate inter-

pretirali na način, pri katerem so bile upoštevane mineraloške lastnosti zemljin. Tako smo poiskali zelo točne odvisnosti med količino medzrnske vode in zunanjo specifično površino glinenih zrn, kar nam je omogočilo izdelavo enotnega kriterija določanja mej židkosti nenabrekljivih mineralov in opredelitev količine medzrnske ter medpaketne vode pri nabrekljivih mineralih.

### **Teoretična osnova uporabljenega postopka določitve odvisnosti meje židkosti od specifične površine glinenih zrn**

Minerali glin kot tudi voda niso kemično inertni, zato med njimi prihaja do interakcije. Možnih mehanizmov vezanja vode je več, pri tem pa odločilno vlogo predstavlja vrsta glinenih mineralov in vrsta ter število izmenjalnih ionov. Predpostavlja se, da je vsa voda v zemljinah vezana na glinena zrna (Mitchell, 1993).

Meja židkosti predstavlja vsebnost tiste količine vode, pri kateri imajo različne zemljine enak strižni odpor, pritisk vpijanja porne vode in hidravlično prepustnost. To pomeni, da je enaka tudi povprečna efektivna velikost por in količina adsorbirane vode na enoto površine glinenih zrn. Na osnovi teh dejstev je mogoče sklepati, da je na meji židkosti količina vode med zrn linearno odvisna od specifične površine glinenih zrn v zemljini. Pri nenabrekljivih mineralih, ki imajo samo zunanjo površino, je delež medzrnske vode enak meji židkosti. Pri nabrekljivih mineralih predstavlja meja židkosti skupno količino vode, ki se veže tako na notranje kot zunanje površine zrn. Delež medpaketne vode v tem primeru ni odvisen od velikosti notranje površine temveč ga določajo predvsem vrsta in količina medpaketnih kationov ter kemična sestava porne vode. Voda med paketi, razen v primeru popolne cepitve delcev, ne more vplivati na velikost nedrenirane strižne trdnosti glin, lahko pa zelo poveča mejo židkosti. To pomeni, da primerjava med količinami vode na meji židkosti in zunanjo, notranjo ali skupno specifično površino zrn ni mogoča, saj ta meja dejansko ne odraža tiste količine vode, ki določa strižno trdnost glin. Odvisnost lahko poiščemo samo med količinami medzrnske vode in zunanjimi specifičnimi površinami glinenih delcev, pri čemer je potrebno pri vseh preiskovanih vzorcih zagotoviti paralelno lego zrn. Rezultati

preiskav so navedene predpostavke v celoti potrdili.

### Podatki o preiskovanih vzorcih in metodah preiskav

Pri določanju odvisnosti med količino vode na meji židkosti in specifično površino glinenih zrn so bili uporabljeni trije monomineralni vzorci (vzorec 1, 2, 3 v preglednici 1), njihove zmesi (vzorci 5, 6, 7) ter sestavljeni vzorci, ki so vsebovali 10 % in 50 % neglidenih primesi (vzorci 8, 9, 10, 11). Preiskane gline pripadajo dobro in slabo kristaliziranemu kaolinitu ter montmorillonitu s Ca izmenljivim kationom. Izhajajo iz nahajališč v ZDA. Njihovo pridobivanje in pripravo vodi združenje Clay Mineral Society v okviru projekta Source Clays, dostopne pa so vsem raziskovalcem. Ker se sestava naravnih glin na različnih delih nahajališč nekoliko spreminja, so gline za raziskovalne namene pripravljene tako, da se velike količine materiala predhodno homogenizirajo in shranijo. Tak način omogoča dolgoletne različne raziskave popolnoma enakega materiala in s tem primerjanje in dopolnjevanje rezultatov predhodnih študij. Podatki o kemični sestavi, mineralni sestavi, strukturni zgradbi, kationski izmenjalni kapaciteti, specifični površini in drugih lastnostih so za omenjene gline znani in skupaj s podatki o uporabljenih metodah preiskav objavljeni v literaturi avtorjev Constanzo et al. (2001) in Van Olphen et al. (1979). Iz že obstoječih podatkov o mineralni sestavi in mehanskih lastnostih, podanih v delu avtorja

Sudhakar et al. (1985) je bil za primerjavo izbran še vzorec kaolinita, označen s številko 4.

Meje židkosti zemljin smo določili skladno z ASTM standardom D4318-00 (1995) s Casagrandevim aparatom in specifične teže zemljin z ASTM standardom D854-00 (1995).

Podatki o mineralni sestavi vzorcev, sestavi zmesi, merjenih zunanjih specifičnih površinah zrn  $A_{Se}$ , izračunani notranji specifični površini zrn Ca-montmorillonita  $A_{Si}$ , vrednostih specifičnih tež  $\gamma_S$  in mejah židkosti  $w_L$  so prikazani v preglednici 1.

### Rezultati preiskav

Odvisnost med količino vode med zrnji pri meji židkosti in zunanjo specifično površino glinenih delcev zemljin smo določili na dva načina. V prvem primeru smo delež vode izrazili kot merjeno vrednost meje židkosti  $w_L$  in pri nabreklijem mineralu kot korigirano vrednost meje židkosti  $w_e$ . V drugem primeru smo vrednosti zunanjih specifičnih površin glinenih mineralov primerjali z razdaljami  $b$  med zrnji pri količini vode na meji židkosti.

Če prikazujemo količino vode, ki se na meji židkosti pojavlja med glinenimi zrnji, v odvisnosti od zunanje specifične površine  $A_{Se}$ , potem je potrebno, v primeru prisotnosti nabreklih mineralov, količino celotne vode  $w_L$  zmanjšati za delež medpaketne vode  $w_i$ . V preiskovanem primeru je bil to vzorec montmorillonita s Ca izmenljivim kationom in mejo židkosti  $w_L = 129.0$  %. Pri dani skupni

Preglednica 1. Podatki o mineralni sestavi, merjenih zunanjih specifičnih površinah zrn  $A_{Se}$ , izračunani notranji specifični površini  $A_{Si}$ , vrednostih specifičnih tež  $\gamma_S$  in mejah židkosti  $w_L$ . Table 1. Data on mineral composition, measured external specific grain surfaces  $A_{Se}$ , computed internal specific surface  $A_{Si}$ , values of specific gravity  $\gamma_S$ , liquid limits  $w_L$ .

Vz.	Mineralna sestava	$A_{Se}$ m <sup>2</sup> /g	$A_{Si}$ m <sup>2</sup> /g	$\gamma_S$	$w_L$ (%)
1	kaolinit 10.05	...	2.58	40.1	
2	kaolinit 23.50	...	2.50	51.0	
3	Ca-montmorillonit	97.42	626.80	2.27	129.0
4	kaolinit* 21.24	...	2.59	49.0	
5	62.3 % kaolinit (1) + 37.7 % Ca-mont. (3)	42.99	...	2.46	73.6
6	51.9 % kaolinit (1) + 48.1 % Ca-mont. (3)	52.07	...	2.43	82.8
7	43.5 % kaolinit (1) + 56.5 % Ca-mont. (3)	59.41	...	2.40	90.3
8	90.0 % Ca-montmor. (3) + 10.0 % pesek**	87.68	...	2.30	116.1
9	50.0 % Ca-montmor. (3) + 50.0 % pesek**	48.71	...	2.43	64.5
10	90.0 % kaolinit (1) + 10.0 % pesek**	9.00	...	2.58	36.1
11	50.0 % kaolinit (1) + 50.0 % pesek**	5.02	...	2.59	20.0

Opombe: \*Podatek iz literature Sudhakar et al. (1985); \*\* kremenov pesek (komercialni vzorec), zrna velikosti 0.08–0.40 mm

količini vode je pričakovati, da se je njena adsorbpcija med pakete izvršila v celoti. To pomeni, da je prvotna razdalja med paketi, ki je za popolnoma suh material  $d_{M1} = 0.96$  nm narastla pri povsem nabreklijenem na razdaljo  $d_{M2} = 1.54$  nm (teoretični vrednosti v primeru prisotnosti pretežno Ca izmenjalnega kationa po Grim-u, 1962). Volumen vode med paketi smo izračunali z enačbo (Fink, 1972):

$$V_i = \frac{A_{SIM} \cdot (d_{M2} - d_{M1})}{2} \quad [\text{cm}^3/\text{g}] \quad (3)$$

kjer so:

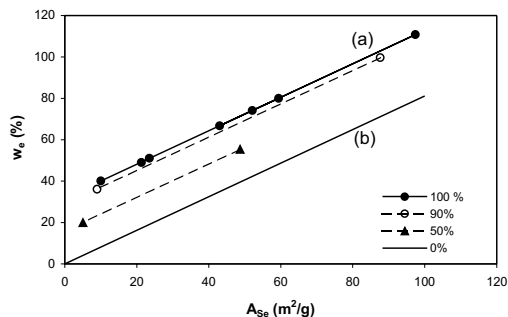
$V_i = 0.1817 \text{ cm}^3/\text{g}$  = volumen vode med paketi  
 $d_{M1} = 0.96 \text{ nm}$  = razdalja med paketi pri popolnoma suhem Ca-montmorillonitu  
 $d_{M2} = 1.54 \text{ nm}$  = razdalja med paketi pri vlažnosti na meji židkosti Ca-montm.  
 $A_{SIM} = 626.80 \text{ m}^2/\text{g}$  = notranja specifična površina zrn Ca-montmorillonita

Notranjo specifično površino zrn Ca-montmorillonita  $A_{SIM}$  smo določili iz celotne specifične površine enega grama montmorillonitne gline  $A_{StM}$ , zmanjšane za vrednost merjene zunanje specifične površine  $A_{SeM}$ . Celotna specifična površina  $A_{StM}$  je bila izračunana na osnovi znane strukturne zgradbe po postopku, podanem v knjigi Van Olphen-a (1977).

Če prikažemo merjene in za Ca-montmorillonit izračunane količine vode med zrnji kot funkcijo njihove zunanje specifične površine, dobimo linearno odvisnost, ki jo je mogoče predstaviti z zapisom:

$$w_L = w_e = p \alpha + \beta A_{Se} [\%] \quad (4)$$

kjer  $w_L$  pomeni mejo židkosti pri nenabreklijivih mineralih,  $w_e$  relativno količino vode med zrnji na meji židkosti pri nabreklijivih mineralih,  $p$  utežni delež glinenih mineralov in  $A_{Se}$  zunanjo specifično površino zrn v  $\text{m}^2/\text{g}$ . Parametra  $\alpha = 31.990$  in  $\beta = 0.81$  sta bila določena z metodo najmanjših kvadratov. Podana odvisnost je prikazana z zgornjo polno črto (a) na sliki 1. Prekinjene linije označujejo vrednosti mej židkosti v primerih, ko so prisotne neglinene primesi. Spodnja polna linija (b) predstavlja najnižje možne vrednosti in z zgornjo polno linijo omejuje področje, kjer se lahko pojavijo merjene vrednosti.



Slika 1. Relativna količina medzrnske vode  $w_e$  v odvisnosti od zunanje specifične površine glinenih zrn  $A_{Se}$ .

Fig. 1. Relative quantity of intergrain water  $w_e$  in dependency of external specific surface of clay grains  $A_{Se}$ .

Poznavanje mineralne in kemične sestave glinenih vzorcev zemljin nam je omogočilo, da smo vrednosti zunanjih specifičnih površin glinenih mineralov lahko primerjali še z razdaljami med zrnji pri količini vode na meji židkosti. Pri tem smo zemljino obravnavali kot koloidno suspenzijo z znano koncentracijo  $c$ . Ta je opredeljena kot masa suhe snovi na  $100 \text{ cm}^3$  suspenzije. Izračun razdalj med zrnji smo izvedli po naslednjem postopku (Van Olphen, 1977).

1. Vsak delec gline v suspenziji je sestavljen iz  $n$  paketov, ki so naloženi drug na drugega v smeri  $c$  osi. Oddaljenost med centroma dveh paketov je  $d_K = 0.715 \text{ nm}$  pri kaolinitu in  $d_{M1} = 0.96 \text{ nm}$  pri suhem Ca-montmorillonitu. Pri slednjem se lahko razdalja med paketi pri popolnem nasičenju z vodo poveča do vrednosti  $d_{M2} = 1.54 \text{ nm}$ . Celotna debelina delca kaolinita je  $n_K d_K$  in Ca-montmorillonita  $(n_M - 1) d_{M2} + d_{M1}$ . Število paketov  $n$  znotraj posameznega delca glinenih mineralov smo izračunali iz celotne površine  $A_{St}$  enega grama gline, deljene z njeno merjeno zunanjo specifično površino  $A_{Se}$ . Če s simbolom  $b$  označimo razdaljo med dvema delcema gline je razdalja med njunima središčema pri kaolinitu  $r_K = b_K + n_K d_K$  in Ca-montmorillonitu  $r_M = b_M + (n_M - 1) d_{M2} + d_{M1}$ .

2. Enostransko površino zrn  $A_M$  v enem gramu Ca-montmorillonita lahko izrazimo na dva načina:

a) kot volumen  $V_M$  enega grama gline, deljen z razdaljo med središčema dveh glinenih delcev  $r_M$ :

$$A_M = \frac{V_M}{b_M + (n_M - 1) d_{M2} + d_{M1}} \quad [\text{nm}^2/\text{g}] \quad (5)$$

b) kot polovično vrednost celotne površine paketov  $A_{StM}$  ( $m^2/g$ ) v enem gramu

Ca-montmorillonita deljeno s številom paketov znotraj zrn:

$$A_M = \frac{A_{StM} 10^{18}}{2 n_M} \quad [nm^2/g] \quad (6)$$

Iz enačb (5) in (6) sledi:

$$\frac{A_{StM} 10^{18}}{2 n_M} = \frac{V_M}{b_M + (n_M - 1)d_{M2} + d_{M1}} = [nm^2/g] \quad (7)$$

1.S preureditvijo izraza (7) v obliko (8) dobimo razmerje med koncentracijo suspenzije  $c_M$  ( $g/100 \text{ cm}^3$ ) in razdaljo med zrn  $b_M$  (nm), kar nam omogoča izračun oddaljenosti zrn pri koncentracijah suspenzije na mejah židkosti zemljin.

$$c_M = \frac{100}{V_M 10^{-21}} = \frac{2}{A_{StM} 10^{-5}} \frac{n}{b_M + (n_M - 1)d_{M2} + d_{M1}} \quad [g/100 \text{ cm}^3] \quad (8)$$

2. Enačba (8) velja za preiskovani primer Ca-montmorillonita. Na podoben način izpeljemo enačbo (9) za kaolinit. Pri tem je potrebno upoštevati razdaljo med zrn  $r_K = b_K + n_K d_K$ .

$$c_K = \frac{2}{A_{SK} 10^{-5}} \frac{n_K}{b_K + n_K \cdot d_K} \quad [g/100 \text{ cm}^3] \quad (9)$$

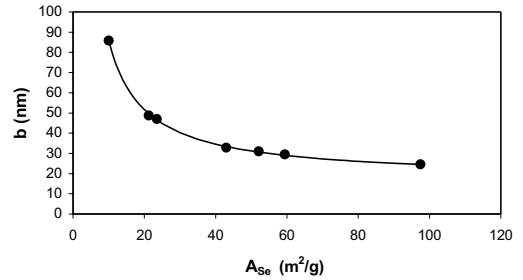
5. Pri računanju povprečne razdalje med zrn v zmesih različnih mineralov, so upoštevane debeline zrn v razmerju deležev posameznih sestavin.

Oddaljenost glinenih delcev  $b$  smo za čiste minerale in njihove zmesi izračunali z izrazi (8) in (9) in jih v odvisnosti od zunanjih specifičnih površin zrn  $A_{Se}$  [ $m^2/g$ ] narisali na sliki 2. Predpostavili smo, da je izračunane vrednosti mogoče aproksimirati s funkcijo oblike:

$$b = \frac{\varphi}{A_{Se}} + \gamma \quad [nm] \quad (10)$$

Parametra  $\varphi = 681.409$  in  $\gamma = 17.555$  sta bila izračunana s pomočjo diferenčne evolucije. Funkcija (10) se z izračunanimi rezultati ujema tako dobro, da je vsota kvadratov odstopkov manjša od 0.01637.

Izračuni celotnih specifičnih površin  $A_{St}$  enega grama glin, koncentracije suspenzije  $c$



Slika 2. Razdalja med zrn  $b$  kot funkcija zunanje specifične površine zrn  $A_{Se}$ .

Fig. 2. Distance between grains  $b$  as function of external specific grain surface  $A_{Se}$ .

na meji židkosti, število paketov  $n$  v delcih glin, razdalje med zrn  $b$  na meji židkosti in debeline vodnega filma  $t$  okoli zrn, izračunane z enačbo (11), so podani v preglednici 2.

Preglednica 2. Celotne specifične površine enega grama glin  $A_{St}$ , koncentracije suspenzije  $c$  na meji židkosti, število paketov  $n$  v delcih glin, razdalje med zrn  $b$  in debeline vodnega filma okoli zrn  $t$  na meji židkosti.

Table 2. Total specific surfaces of one gram of clays  $A_{St}$ , suspension concentration  $c$  at the liquid limit, number of layers in clay grains  $n$ , distances between grains  $b$  and thickness of water film around grains  $t$  at the liquid limit.

Vzorec	$A_{St}$ $m^2/g$	$c$ $g/100 \text{ cm}^3$	$n$	$b$ nm	$t$ nm
1	999.73	126.807	99.47	85.810	39.900
2	1001.55	109.890	42.62	46.979	21.702
3	724.22	57.785	7.43	24.649	11.373
4	1000.00	114.142	47.08	48.749	23.069
5	895.84	92.893	20.84	32.872	15.422
6	867.18	86.466	16.65	31.029	14.232
7	844.06	78.452	14.21	29.457	13.465

Povprečno debelino vodnega filma okoli zrn  $t$  na meji židkosti določimo z enačbo (11) (Mitchell, 1993), pri tem pa upoštevamo le tisto količino vode, ki se nahaja med zrn. Pri nenabreklih mineralih je ta delež vode enak meji židkosti  $w_L$ , pri nabreklih mineralih pa je manjši za delež medpaketne vode ( $w_e = w_L - w_i$ ;  $w_i$  je količina medpaketne vode).

$$t = \frac{w_e}{\rho_w A_{Se}} \quad [nm] \quad (11)$$

Na tak način lahko izvedemo primerjavo med izračunano razdaljo med zrn  $b$  v suspenziji na meji židkosti in povprečno debelino vodnega filma  $t$  pri upoštevanju gostote vode  $\rho_w = 1g/cm^3$ . Vrednosti smo aproksimirali z enačbo premice (12) ki kaže, da je debelina vodnega filma približno enaka polovični vrednosti razdalje med zrn.



$$b = \lambda + \eta t \text{ [nm]} \quad (12)$$

kjer sta  $\lambda = 0.1849$  in  $\eta = 2.138$ .

Povprečno debelino vodnega filma okoli glinenih zrn lahko izrazimo iz enačbe (11) ob upoštevanju enačbe (4) v obliki enačbe (13). Tako izračunana debelina vodnega filma kaže tisto količino vode na meji židkosti posameznih zemljin, ki določa njihovo nedrenirano strižno trdnost.

$$t = \frac{(31.90 + 0.81 A_{Se}) \cdot 10^{-2}}{\rho_w \cdot A_{Se}} \text{ [nm]} \quad (13)$$

### Praktična uporaba rezultatov preiskav

Ugotovljene odvisnosti lahko praktično uporabimo na več načinov:

Mejo židkosti lahko za nenabreklije minerale določimo na osnovi poznavanja specifične površine in deleža glinenih zrn v vzorcu neposredno iz enačbe (4).

V primeru prisotnosti nabreklih mineralov lahko na osnovi enačbe (4) določimo količino vode, vezane na zunanje površine zrn in njen delež znotraj paketov. S tem, ko smo razmejili količino notranje in zunanje vode, lahko na razmeroma enostaven način izračunamo tudi količino nabreklih (montmorillonitnih) glin v vzorcu iz relacije (Fink et al., 1968):

$$M = \frac{2 \cdot 10^3 (w_L - w_e)}{A_{Si} (d_2 - d_1)} \text{ [g mont./1 g gline]} \quad (15)$$

kjer so:

$M$  = delež montmorillonita na en gram gline  
 $w_L$  = skupna količina vode v vzorcu na en gram gline

$w_e$  = količina vode, vezana na zunanje površine mineralov na en gram gline

$A_{Si}$  = notranja specifična površina montmorillonita na utežno enoto montmorill. [ $\text{m}^2/\text{g}$ ]

$d_1$  = razdalja med paketi suhega vzorca [nm]

$d_2$  = razdalja med paketi vlažnega vzorca izračunana z enačbo (3) [nm]

V primeru, da vzorec ne vsebuje nabreklih mineralov, izkazuje pa višje vrednosti meje židkosti od podane v enačbi (4), nam to pove, da zrna v suspenziji niso razvrščena paralelno temveč v obliki "hiše iz kart". Takšna struktura nas lahko opozori na gline z veliko občutljivostjo.

### Zaključek

Na osnovi preiskusov, izvedenih z zemljini znanimi kemičnimi in mineralnimi sestavi ter specifične površine glinenih zrn smo ugotovili, da je količina vode med zrnji pri meji židkosti linearno odvisna od njihove zunanje specifične površine. To pomeni da lahko, pri nenabreklih mineralih in paralelni orientaciji zrn, mejo židkosti ali pa specifično površino zrn v vzorcih določimo iz razmerij, ki so podana v prispevku. V primeru nabreklih mineralov, kjer se poleg zunanje pojavlja še medpaketna voda, meja židkosti ni sorazmerna zunanji, notranji ali celotni specifični površini zrn. V tem primeru lahko iz podanih odvisnosti razmejimo delež medzrnske in medpaketne vode ter na tej osnovi določimo količino nabreklih mineralov ter ocenimo volumske deformacije zemljin pri prehodu od suhega do omočenega stanja na meji židkosti.

### Literatura

Constanzo, P.M. & Gugenheim, S. 2001: Clay minerals Society Source Clays. – Clays and Clay minerals, Vol. 49, No. 5, 371-453, Aurora.

Farrar, D.M. & Coleman, J.D. 1967: The correlation of surface area with other properties of nineteen British clay soils. – Journal of soil science, Vol. 18, No. 1, 118-124, Oxford.

Fink, D.H., Rich, C.I. & Thomas, G.W. 1968: Determination of internal surface area, external water, and amount of montmorillonite in clay-water systems. – Soil Science, Vol. 105, No. 2, 71-77, Baltimore.

Fink, D.H. & Nakayama, F.S. 1972: Equation for describing the free swelling of montmorillonite in water. – Soil Science, Vol. 114, No. 5, 355-358, Baltimore.

Grim, R.E. 1962: Applied Clay Mineralogy, McGraw-hill book Company, 422 pp., New York.

Mitchell, J.K. 1993: Fundamentals of Soil Behaviour, 2<sup>nd</sup> ed., Wiley Interscience, 437 pp., New York.

Muhunthan, B. 1991: Liquid limit and surface area of clays. – Geotechnique, Vol. 41, No.1, 135-138, London.

Seed, H.B., Woodward, R.J. & Lundgren, R. 1964: Clay mineralogical aspects of Atterberg limits. – Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, A.S.C.E., Vol. 90, No. SM 4, 107-131, Reston.

Sudhakar, A., Rao, M. & Sridharan, A. 1985: Mechanism controlling the volume change of kaolinite. – Clays and Clay Minerals, Vol. 33, No. 4, 323-328, Aurora.

Van Olphen, H. 1977: An Introduction to Clay Colloid Chemistry. 2<sup>nd</sup> ed., Wiley Interscience, 318 pp., New York.

Van Olphen, H. & Fripiat, J. J. (1979): Data handbook for clay minerals and other non-metallic materials, Pergamon press, 346 pp.

White, W.A. 1949: Atterberg plastic limits of clay minerals. – American Mineral., Vol. 34, 508-512, Washington.