

PAVIRŠIAUS AKTYVIŲJŲ MEDŽIAGŲ ĮTAKA MOLINIŲ GRUNTŲ
KERPAMAJAM STIPRIUI

Saulius Malūnavičius

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas
El. paštas smalunavicius@gmail.com*

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjama paviršiaus aktyviųjų medžiagų (PAM) įtaka molinio grunto kerpamojo stiprio rodikliams, kurie naudojami apskaičiuojant pastatų pagrindo stiprį ir pastovumą, grunto slėgį į atrامينius paviršius bei šlaitų pastovumą. Iš nustatytos mineralinės sudėties molinio grunto buvo iš dalies pašalinti kalcio junginiai ir jis užterštas skirtingos koncentracijos teršalais (PAM). Gauti rezultatai sulyginami su foninėmis reikšmėmis ir apžvelgiamos jų priežastys.

Reikšminiai žodžiai: paviršiaus aktyviosios medžiagos, PAM, kerpamojo stiprio rodikliai, mineralinė sudėtis, tarša, gruntas.

Įvadas

Didėjant inžinerinės ir ūkinės žmogaus veiklos intensyvumui ir tikimybei užteršti tiek natūralios, tiek suardytos sandaros gruntuos įvairiais technologiniais tirpalais, cheminės taršos poveikio įvertinimas gruntuos statybinėms savybėms tampa būtina sąlyga (Račkauskas 2003). Sunaudojant daug paviršiaus aktyviųjų medžiagų (PAM), esant nestabiliam kanalizacijos tinklui (gausu avarinių situacijų), PAM poveikis irgi svarbus gruntams, slūgsantiems urbanizuotose vietovėse, ypač miestuose, jų pramoniniuose rajonuose.

Cheminę taršą grunto masyve sukeliančios medžiagos skirstomos pagal tų medžiagų paviršiaus aktyvumą, t. y. neorganinius elektrolitus, kurių paviršius inaktyvus, ir organinius junginius, kurių paviršius aktyvus (Нифонтов, Блинов 2002). Organinių junginių grupėje išskiriami angliavandeniai kaip dažniausiai cheminę taršą sukeliančios medžiagos. Paviršiaus aktyviųjų medžiagų grupės tyrimai Lietuvoje, modeliuojant jų įtaką gruntuos stiprumui, tik pradėti (Račkauskas 2003).

Daugelis paviršiaus aktyviųjų medžiagų taršos tema publikuotų darbų skirti geologinės aplinkos požeminio vandens cheminės taršos klausimams. Kur kas mažiau tiriama gruntuos ir uolienų fiziniai bei mechaniniai pokyčiai, veikiant įvairiai cheminei taršai, nors tokio pobūdžio pokyčiai geologinėje aplinkoje yra ilgalaikiai ir dažnai negrįžtami.

Geologinės aplinkos cheminės taršos klausimais Lietuvoje yra daug darbų (Jurkonis 1998; Kadūnas, Štriupekuvienė 1997; Radzevičius 1994; Taraškevičius 1993 ir kt.), tačiau daugiausia nagrinėjamos geriamojo vandens kokybės ir taršos, hidrogeocheminės bei dirvožemio taršos problemos. Žinomi ir geologinės aplinkos, kaip gruntuos masyvo, cheminės taršos klausimais atlikti darbai (Lomtadzė

1984; Dundulis, Ignatavičius, 1999), bet dauguma jų yra teorinio pobūdžio ir tik maža dalis nagrinėja cheminės taršos įtaką gruntuos stiprumo parametrui.

Struktūriniai molio mineralų kristalinės
gardelės ypatumai

Molis – plačiai paplitęs nuosėdinės kilmės gruntas, susidedantis iš dalelių, kurių dydis yra mažiau kaip 0,005 μm. Kaolinito žvyneliai yra 0,3–4 μm didumo, 0,01–0,02 μm storio. Montmorilonito žvyneliai dar plonesni – tik 0,001–0,002 μm storio. Susidarę iš molio dalelių gruntai yra sankabūs, plastiški, beveik nelaidūs vandeniui.

Egzistuoja gana daug molinių mineralų, kurie klasifikuojami arba pagal cheminę sudėtį, arba pagal kristalinės gardelės ypatumus (Šimkus 1984).

Molį kaip uolieną daugiausia sudaro hidrosilikatiniai mineralai. Pagrindiniai jų cheminės sudėties komponentai – silicio (IV) oksidas (SiO₂) ir aliuminio oksidas (Al₂O₃). Neretai molis susidaro iš kitų uolienų kaip jų cheminio dūlėjimo produktas. Išskiriama daugiau kaip 30 įvairių molio, skirstomų į grupes:

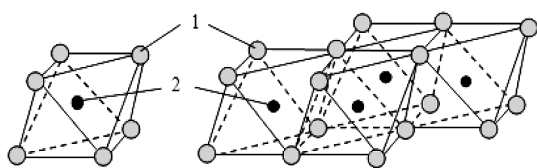
- kaolinitinis molis – sudarytas iš kaolinito, Al₂Si₂O₅(OH)₄;
- ilitinis molis – sudarytas iš ilito, (K, H₃O)(Al, Mg, Fe)₂(Si, Al)₄O₁₀[(OH)₂·(H₂O)];
- smektitinis molis – sudarytas iš montmorilonito, (Na, Ca)_{0,33}(Al, Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂·nH₂O;
- chloritinis molis – įvairios cheminės sandaros su daug cheminių priemaišų.

Paprastai moliai sudaryti iš kelių molinių mineralų. Tokiu atveju jie pavadinami pagal dominuojantį molinį mi-

neralą. Išimčių sudaro bentonitiniai moliai, kurių pagrindinis mineralas – montmorilonitas.

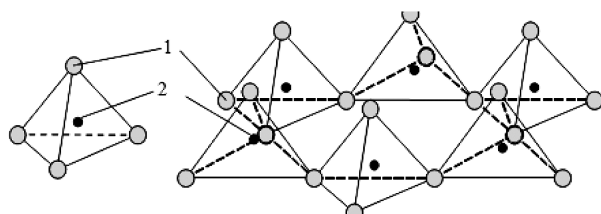
Molyje taip pat yra įvairūs kiekiai geležies oksidų, šarminių ir žemės šarminių metalų. Metalų oksidai ir moliniai mineralai susiję skirtingai. Dalis jų gali įeiti į molio mineralų sudėtį pakeisdami aliuminio oksidą, kita dalis susijusi silpnais ryšiais (Осипов *et al.* 1989).

Kristalinės molio mineralų gardelės daugiausia sudarytos iš dviejų struktūrinių vienetų – molžemio (aliuminio oksido) ir titnagžemio (silicio dioksido hidrato). Molžemis susideda iš dviejų glaudžiai įpakuotų deguonies arba hidroksidų atomų sluoksnių, tarp kurių oktaedrinėje gardelėje išdėstyti aliuminio atomai, vienodai nutolę nuo šešių kaimyninių (oktaedrinės gardelės) deguonies ar hidroksidų atomų (1 pav.).



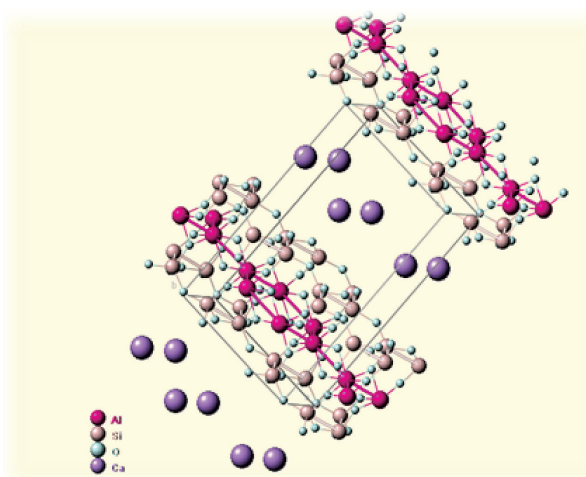
1 pav. Scheminis molžemio struktūros oktaedrų ir oktaedrinės gardelės vaizdas: 1 – hidroksidai; 2 – aliuminio (magnio, geležies) atomai
Fig. 1. Conceptual structure of alumina octahedron and octahedral array representation: 1 – hydroxides; 2 – aluminum (magnesium, iron) atoms

Aliuminio atomų pakeitimas geležies arba magnio atomais pakeičia ir šių mineralų savybes. Titnagžemio hidratas sudarytas iš silicio ir deguonies tetraedrų, sudarančių begalinę pasikartojančią heksagonalinių gardelių tinklą (2 pav.). Tetraedre silicio atomai išdėstyti vienodais atstumais nuo keturių deguonies arba hidroksidų atomų.



2 pav. Scheminis silicio ir deguonies tetraedras bei jų pagal heksagonalinį motyvą sukurtas tinklas: 1 – deguonies atomai; 2 – silicio atomai
Fig. 2. Schematic silicon-oxygen tetrahedron and under hexagonal motive created network: 1 – oxygen atoms; 2 – silicon atoms

Montmorilonito (3 pav.) ir hidrožeručio kristalinė gardelė susideda iš trijų sluoksnių, o kaolinito gardelė – iš dviejų sluoksnių. Trisluoksnė montmorilonito gardelė jungiasi į paketą su vandens tarpsluoksniu, kurio kiekis gali didėti arba mažėti, dėl to trisluoksnio paketo storis su vandens tarpsluoksniu nėra pastovus. Todėl ir montmorilonito gardelė turi savybę plėstis ir trauktis (Sharma, Sangeeta 1994).



3 pav. Montmorilonito kristalinė gardelė
Fig. 3. Montmorillonite crystal lattice

Hidrožerutyje dalis silicio atomų pakeisti aliuminio atomais, atsilaisvinantis valentingumas naudojamas kalio atomams prijungti. Tai sutvirtina ryšius su kaimyniniais paketais ir daro kristalus tvirtesnius.

Neturėdamas vieno iš dviejų sluoksnių (Si-O) kaolinitas praranda sluoksniuoto paketo simetriją, o tai tarp-paketinius ryšius sąlygiškai sutvirtina. Dėl šio kaolinitinių molio dispergavimas vyksta blogiau negu montmorilonitinių (Осипов *et al.* 1989).

Mainų imlumas ir elektrinė įkrova

Įeinantys į molio mineralų kristalinę gardelę silicio ir aliuminio atomai gali būti pakeisti kitais atomais, taip pat ir skirtingo valentingumo. Šiuo atveju molio dalelės, kompensuojant trūkstamą valentingumą, katijonus absorbuoja iš vandens tirpalų. Tarp molio ir tirpalo vyksta katijonų mainai. Svarbu, kad tai vyksta bemaž žaibiškai.

Kiekvienas molis turi tam tikrą mainų jonų kiekį, t. y. tam tikrą mainų imlumą. Mainų imlumas išreiškiamas mainų katijonų molio kiekiu 1 kg sauso molio. Mainų imlumas sudaro montmorilonite – 0,8–1,5, hidrožerutyje – 0,1–0,4, palygoksite (kalnų odoje) – 0,2–0,3, kaolinite – 0,03–0,15.

Mainų katijonais molio mineraluose yra Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , NH_4^{2+} . Gamtiniuose moluose pagrindiniai mainų katijonai – natrijs arba kalcis, molis gauna atitinkamai natrio arba kalcio molio pavadinimą. Grynų natrio arba kalcio molio gamtoje beveik neegzistuoja. Dažniausiai moliai būna mišrūs, bet vieno iš katijonų įtaka dominuoja. Pagal šį jie ir gauna savo pavadinimą.

Papildant dispersinę terpę (porų tirpalus) tirpiomis kalcio druskomis, pavyzdžiui, kalcio chlorido CaCl_2 , jis disocijuoja į du vienvalenčio chloro anijonus ir vieną divalentį kalcio katijoną. Būdami stipresni kalcio katijonai

iš molio išstumia mainų natrio katijonus ir užima jų vietą. Buvęs natrio molis virsta kalcio moliu, o porų tirpaluose atsiranda disocijuoti natrio chloridai. Ši mainų reakcija nėra grįžtamoji, nes natrio katijonas nepajėgus „išstumti“ iš molio išvirtinusių jame kalcio mainų katijonų. Tokia reakcija gali vykti tik tai tuo atveju, jeigu įterpiamoje į porų tirpalus natrio druskoje yra anijonas, su kuriuo kalcis sudaro blogai tirpią vandenyje druską. Dažniausiai toks kalcio molio perkėlimas į natrio molį įvykdomas naudojant kalcinuotąją sodą – susidaro labai blogai tirpus vandenyje kalcio karbonatas CaCO_3 .

Molio hidrofiliškumas ir brinkimas

Visi moliai yra mažiau ar daugiau hidrofiliški. Hidrofiliškumo charakteristika priklauso nuo jų tipo ir sudėties ir stipriai apibrėžia molio gruntų savybes. Mirkant molį vandenyje, vandens molekulės apgaubia molio mineralų kristalų paviršių, prasiskverbia tarp kristalų paketų ir praskėčia juos. Sakoma, kad molis brinksta. Jeigu vandens būtų daugiau nei molio dalelių, galbūt prasidėtų molio peptizacija. Yra du brinkimo etapai: pirmas – kapiliarinis vandens įsiurbimas, antras – brinkimo vystymasis.

Įsiurbimas – tipinis kapiliarinis procesas. Vidutinės kokybės moliuose jis trunka 20–30 s, smarkiai hidrofiliškuose – ilgiau. Brinkimo procesas priklauso nuo molio tipo: mineraluose su neslenkančia kristaline gardele (pavyzdžiui, kaolinite) brinkimas vyksta dėl vandens prasišverbimo į tarpkristalinę erdvę, montmorilonite svertinę reikšmę turi vandens skverbimasis į tarpkristalinius tarpus. Todėl mažai hidrofiliškų molijų brinkimas, pavyzdžiui, kaolino, faktiškai pasibaigia per 30–40 s. Bentonitiniuose moliuose brinkimas užtrunka 2–4 savaites, be to, molio apimtis gali padidėti iki 20 kartų (Sharma, Sangeeta 1994).

Esant vandens pertekliui, brinkimas lydymas molio kaip uolienos irimu. Vandens dipoliai savo neigiamai įkrautais galais prisitraukia prie teigiamųjų metalų jonų arba vandenilio. Kuo jonų įkrova mažesnė ir jų spindulys didesnis, **t. y. juo mažesni jų jonų potencialai (pavyzdžiui, vienvalenčiai Na ir ypač K)**, tuo greičiau arba lengviau vandens dipoliais jie atplėšiami nuo elementarių molio mineralų kristalų paviršiaus. Ryšys tarp molio mineralų lapelių paketuose sutrinka ir molis „pasileidžia“ vandenyje, **t. y. praranda savo mechanines savybes**. Neigiamą įtaką brinkimui turi pH kritimas ir druskų agresija (Осипов *et al.* 1989).

Tiriamo grunto mineralinė sudėtis

Bandymui naudotas molinis gruntas buvo ištirtas rentgeno spindulių difraktometru **D8** (Bruker AXS, Vokietija,

2003 m.), skirtu polikristalinių medžiagų rentgenostruktūriniais tyrimams. Iš gautų rezultatų duomenų matyti, kad bandinį daugiausia sudaro ilitas ir montmorilonitas. Taip pat jame yra nemažai silicio oksido ir kalcio turinčių junginių (4 pav.).

Šifras duomenų bazėje	Mineralinė fazė	Fazės kiekis, %
00-046-1045	SiO_2 Kvarcas	25,5
01-080-0743	$(\text{K}_{0,82}\text{Na}_{0,18})(\text{Fe}_{0,03}\text{Al}_{1,97})(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ Muskovitas 2 ITM RG1	6,4
00-005-0586	CaCO_3 Kalcitas	10,0
00-026-0911	$(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ Iilitas ITM RG1 [NR]	13,5
00-029-1499	$\text{Na}_{0,3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ Montmorilonitas-22A	27,6
00-033-0311	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Gipsas	0,6
00-036-0426	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ Dolomitas	15,8
00-014-0164	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ Kaolinitas-1 ITA RG	0,6

4 pav. Rentgeno fazinės analizės rezultatai

Fig. 4. X-ray phase analysis results

Bandymo eiga

Pagal vyraujančius mineralus bandinio gruntas yra montmorilonitinis-ilitinis molis. Šie moliai yra hidrofiliškesni, tačiau jame esančios kalcio junginių priemaišos slopina brinkimą, todėl netirpūs kalcio junginiai buvo ištirpinti druskos rūgštimi (HCl) ir pašalinti kartu su tirpalo pertekliumi.

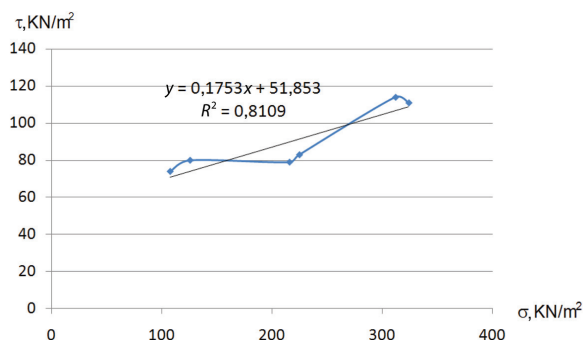
Grunto kerpamojo stiprio reikšmių nustatymas

Molinio grunto bandiniai buvo konsoliduoti 300 kN/m² apkrova ir kirpti nedrenuotuoju būdu 1 mm/min greičiu.

Nukirpus po du to paties grunto bandinius (esant 100 kN/m², 200 kN/m², 300 kN/m² normaliniams įtempimams), braižomas kirpimo grafikas. Kirpimo grafike per eksperimentinius taškus brėžiama tiesė, nes Kulono dėsnis $\tau_u = \sigma - \text{tg } \varphi + c$ išreiškiamas tiesine lygtimi. Jos parametrai apskaičiuojami mažiausiųjų kvadratų būdu pagal standartinę metodiką. Taip rasti lygties parametrai yra grunto sankabumo ir vidinės trinties kampo rodikliai. Kirpimo grafike sankabumą rodo atkarpa, kurią tiesė atkerta τ ašyje, vidinės trinties kampas lygus tiesės posvyrio kampui (Amšiejus *et al.* 2002).

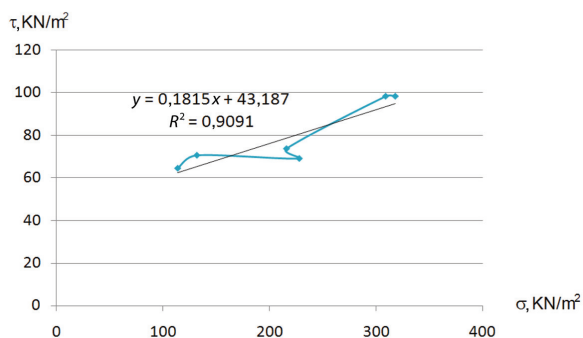
Grunto kirpimo bandymai atlikti su keturiais grunto tipais:

- nekeičiant molinio grunto sudėties (foninis bandymas);
- molinis gruntas, iš dalies pašalinus kalcio junginius (5 pav.);
- molinis gruntas, iš dalies pašalinus kalcio junginius, užterštas 2 % PAM (6 pav.);
- molinis gruntas, iš dalies pašalinus kalcio junginius, užterštas 0,5 % PAM (7 pav.).



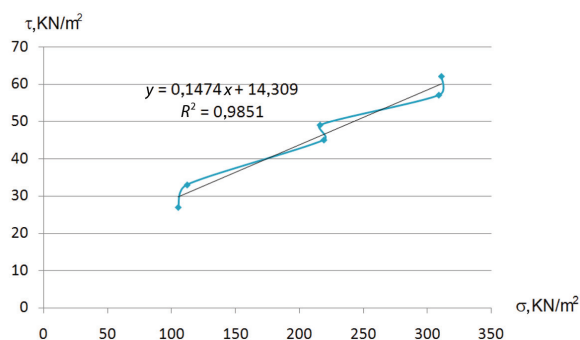
5 pav. Molinio grunto kirpimo grafikas, foninės reikšmės

Fig. 5. Clay soil cutting schedule, background values



6 pav. Molinio grunto kirpimo grafikas, iš dalies pašalinus kalcio junginius ir užteršus 0,5% katijoniniu PAM tirpalu

Fig. 6. Clay soil cutting schedule, partial removal of calcium compounds, and contamination of 0.5% cationic surfactant solution



7 pav. Molinio grunto kirpimo grafikas, iš dalies pašalinus kalcio junginius

Fig. 7. Clay soil cutting schedule, partial removal of calcium compounds

Išvados

1. Bandinio grunte pagrindinis molio mineralas yra montmorilonitas (27,6 %) – hidrosilikatas, kurio kristalinę gardelę sudaro trisluoksniai paketai, tarpusavyje surišami į pluoštus vandens molekulėmis.
2. Bandinio molis gana karbonatingas: bendras dolomito ir kalcito kiekis jame viršija 25 %, t. y. molis papildytas Ca ir Mg.
3. Visi moliai hidrofiliški, bet ypač šia savybe pasižymi montmorilonitiniai moliai, kuriuose vanduo gali užimti ne tik jų kapiliarų erdvę, bet ir įsiterpti tarp mineralo paketų. Esant pakankamam vandens kiekiui montmorilonito paketų pluoštai išsiplėčia ir labai (iki 20 kartų) padidina savo bendrąjį tūrį – molis brinksta ir keičia savo fizikines bei mechanines savybes. Kalcio jonų Ca^{2+} įsiterpimas į tarpaketinę erdvę „suspaužia“ mineralo paketų pluoštus, apsunkina vandens įsiterpimą į juos ir labai sumažina molio brinkimą.
4. Dalies kalcio junginių pašalinimas pakeitė grunto kerpamojo stiprio reikšmes:
 - pradinio grunto vidinis trinties kampas $\phi = 9,44^\circ$, sankabumas $c = 51,853$ kPa;
 - grunto su iš dalies pašalintu kalciumu: $\phi = 10,287^\circ$, sankabumas $i = 43,187$ kPa;
 - dalies Ca pašalinimas padidino grunto vidinį trinties kampą 9 % ir sumažino sankabumą 20,1 %.
5. Grunto užteršimas 2 % katijoniniu PAM tirpalu taip smarkiai paveikė jo brinkimo savybes, kad net ir po konsolidacijos gruntas išliko klampios masės konsistencijos, dėl to nustatyti jo kerpamojo stiprio reikšmės buvo neįmanoma.
6. Grunto, užteršto 0,5 % katijoniniu PAM tirpalu, vidinis trinties kampas $\phi = 8,38^\circ$, sankabumas $c = 14,309$ kPa:
 - grunto užteršimas 0,5 % PAM sumažino grunto vidinį trinties kampą 11,2% ir sumažino sankabumą 72,4 %;
 - labai sumažėjo vandens paviršiaus įtempimas, dėl to palengvėjo jo įsiterpimas tarp trisluoksnių montmorilonito paketų, padidėjo grunto hidrofiliškumas, jo brinkimo galimybės ir sutrukdytas vandens pašalinimas konsolidacijos metu.
7. Kalcis molio gruntuose su montmorilonitu veikia kaip jų mechaninių savybių, susijusių su brinkimu, inhibitorius, mažinantis jų hidrofiliškumą.

Literatūra

Amšiejus J.; Mackevičius, R., Medzvieckas, J., Stragys, V. 2002. *Gruntų mechanika: laboratoriniai darbai*. Vilnius: Technika.

- Dundulis, K.; Ignatavičius, V. 1999. *The Contamination of Soils and Changes of Geotechnical Conditions. Geoenvironmental Engineering*. London.
- Jurkonis, A. 1998. Zoknių – buvusio karinio oro uosto – aplinkos hidrogeologiniai tyrimai, *Geologijos akiračiai* 2: 22–31.
- Kadūnas, K.; Štriupkuvienė, N. 1997. Organiniai junginiai Šiaulių miesto požeminiame vandenyje, *Geologijos akiračiai* 2: 42–48.
- Račkauskas, A. 2003. *Cheminės taršos įtaka glacialinių gruntų stiprumo parametrų (Šiaulių regiono pavyzdžiu): daktaro disertacija*. Fiziniai mokslai, geologija (05P). Vilnius.
- Radzevičius, A. 1994. Elementų asociacijos intensyvios taršos zonoje, iš A. Zuzevičius (ats. red.). *Gelmių geologinio tyrimo, naudojimo ir apsaugos problemos Lietuvoje. Straipsnių rinkinys*. Vilnius: Geologijos institutas, 102–104.
- Sharma, H. D.; Lewis, S. P. 1994. *Waste Containment Systems, Waste Stabilization, and Landfills: Design and Evaluation*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Šimkus, J. 1984. *Gruntų mechanika, pagrindai ir pamatai*. Vilnius: Mokslas.
- Taraškevičius, R. 1993. Urbanizuotų teritorijų pedogeocheminiai tyrimai, *Geologijos akiračiai* 2: 19–21.
- Ломтадзе, В. Д. 1984. *Инженерная геология, инженерная петрология*. Л.: Недра.
- Нифонтов, Ю.А.; Блинов, П.А. 2002. *Буровые промывочные жидкости: учеб. пособие*. СПб: Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет).
- Осипов, В.И.; Соколов, В.Н.; Румянцева, Н.А. 1989. *Микроструктура глинистых пород*. М.: Недра.

INFLUENCE OF ACTIVE SURFACE MATERIALS FOR SHEAR STRENGTH OF CLAY SOIL

S. Malūnavičius

Abstract

The article deals with the active surface materials (ASM) on the clay soil shear strength parameters, which are used in calculating the building base strength and stability of soil pressure in to supporting surface and slope stability. From the known mineral composition of clay soil was partially removed calcium compounds and were polluted of different concentration of pollutants and the values were compared. The analysis of active surface material substance influence on clay soil shows that higher concentration of pollutants in solution results in decreased soil cohesion, where the angle of internal friction remains various values.

Keywords: active surface materials, ASM, mineral composition, pollution, shear-strength characteristics, soil.