

Smilšaino nogulumu granulometriskā sastāva, filtrācijas koeficienta un mitruma sakarības

Correlation of Grain Size, Permeability and Moisture Content of Sandy Sediments

Eleonora Pērkone, Baiba Raga, Aija Dēliņa

Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte,
Alberta iela 10, Rīga, LV-1010

E-pasts: *el.perkone@inbox.lv, baibaraga@inbox.lv, aija.delina@lu.lv*

Rakstā pētīta smilšaino nogulumu filtrācijas koeficienta un dabiskā mitruma atkarība no nogulumu granulometriskā sastāva. Abi pētītie parametri ir nozīmīgi smilšaino nogulumu raksturlielumi gan hidroģeoloģiskajos, gan inženierģeoloģiskajos pētījumos. Pētījumā galvenā uzmanība pievērsta aleirīta un māla daļiņu (<0,006 mm) piejaukuma ietekmei uz filtrācijas koeficienta un dabiskā mitruma izmaiņām. Analizējot iegūtos rezultātus, trīs nogulumu veidiem – aleirītam, smalkgraudainai un vidējgraudainai smiltij – izdalītas sakarības starp nogulumu granulometrisko sastāvu, filtrācijas koeficientu un mitrumu.

Raksturvārdi: dielektriskās caurlaidības konstante, filtrācijas iekārta, granulometriskais sastāvs, kvartāra nogulumi.

Ievads

Smilšaino nogulumu fizikālās īpašības ir svarīgi zināt veicot hidroģeoloģiska un inženierģeoloģiska rakstura pētījumus, kā arī būvniecībā un citās lietišķās jomās. Nogulumu granulometriskais sastāvs ir nozīmīgs faktors. Tas ietekmē tādas nogulumu fizikālās īpašības kā porainība, filtrācijas koeficients, mitrums, ūdens ietilpība un ūdens atdeve. Pētījumā ir apskatīti divi smilšaino nogulumu parametri – filtrācijas koeficients un mitrums, analizējot, kā māla un aleirīta daļiņu piejaukums dažāda granulometriskā sastāva nogulumos ietekmē šo parametru vērtības. Ir zināms, ka mālaino daļiņu piejaukums smilšainajos nogulumos samazina nogulumu filtrācijas koeficienta vērtības, palielina porainību un dabiskā mitruma saturu (Todd and Mays 2005, Aysen 2005). Tomēr nav detalizētu pētījumu par to, kāds ir kritiskais māla un aleirīta daļiņu īpatsvars nogulumos, lai būtiski mainītos nogulumu filtrācijas koeficienta un dabiskā mitruma

vērtības. Filtrācijas koeficienta vērtības analizētas gan netraucētas, gan traucētas struktūras paraugiem, lai fiksētu arī citu faktoru ietekmi.

Pētījumu gaitu var iedalīt divās daļās. Pirmajā no tām tika pētītas likumsakarības starp nogulumu granulometrisko sastāvu un filtrācijas koeficientu, apskatot arī nogulumu blīvuma ietekmi. Pirmajā pētījuma daļā tika izmantotas smilts – grants atradnes „Mazie Kangari”, „Ezeri”, „Pāvuli” un māla atradne „Progress”. Pētījuma otrajā daļā tika izziņāta nogulumu granulometriskā sastāva un mitruma kopsakarības smilts – grants atradnēs „Mazie Kangari”, „Ezeri”, „Kurzemnieki” un māla atradnē „Progress”. Ņemot vērā, ka trīs karjeros „Mazie Kangari”, „Ezeri” un „Progress” pētījumos izmantotie nogulumu slāņi, attiecīgajā vietā, bija vieni un tie paši, tika veikts kopīgs šo trīs parametru salīdzinājums.

Pētījuma mērķis ir noteikt, kā un cik būtiski mainās, nogulumu ar atšķirīgu aleirīta un māla īpatsvaru, filtrācijas koeficients un dabiskais mitrums, un raksturot to izmaiņas noteiktā laika periodā.

Agrākie pētījumi

Jau citi, agrāk veikti pētījumi apraksta saistību starp smilšaino nogulumu daļiņu izmēriem, filtrācijas koeficientu un mitruma saturu. Tā, piemēram, L. M. Arya un J. F. Paris savā fiziski – empīriskajā metodē (Frenlund et al. 2002), kas ļāva novērtēt nogulumu mitruma satura un graudu izmēra savstarpējo raksturlīkni, pieņēma, ka poru izmēri un granulometriskais sadalījums iezos ir savstarpēji cieši saistāmi, jo lielāka izmēra daļiņas savā starpā veido lielākus tukšumus nekā mazāka. Taču jāņem vērā arī fakts, ka lielākos tukšumus aizpilda mazāka izmēra daļiņas, kas rezultātā samazina rupjāko daļiņu īpatsvaru uz nogulumu žūšanas raksturlīkni. Tāpat ir veikti arī pētījumi, kur, izmantojot nogulumu porainās vides un tajos esošā ūdens attiecību mijiedarbību jeb nogulumu mitruma saglabāšanas līkni, kas ciešā veidā saistīts ar nogulumu granulometrisko sastāvu, mēģina aprēķināt nogulumu filtrācijas koeficientu (Vogel and Cislerova 1988). Lai šādi aprēķini būtu veiksmīgi nepieciešams, diezgan precīzi, zināt kādas likumsakarības pastāv starp nogulumu poraino vidi un tajā esošo ūdeni.

Salīdzinoši vairāk ir pētīta tieši filtrācijas koeficienta un nogulumu granulometriskā sastāva saistība. Ir izdalītas aptuvenās filtrācijas koeficienta vērtības, kas atbilst noteiktam nogulumu tipam (Brassington 1988, Shvartsev 1996, Maslov i Komov 1871),

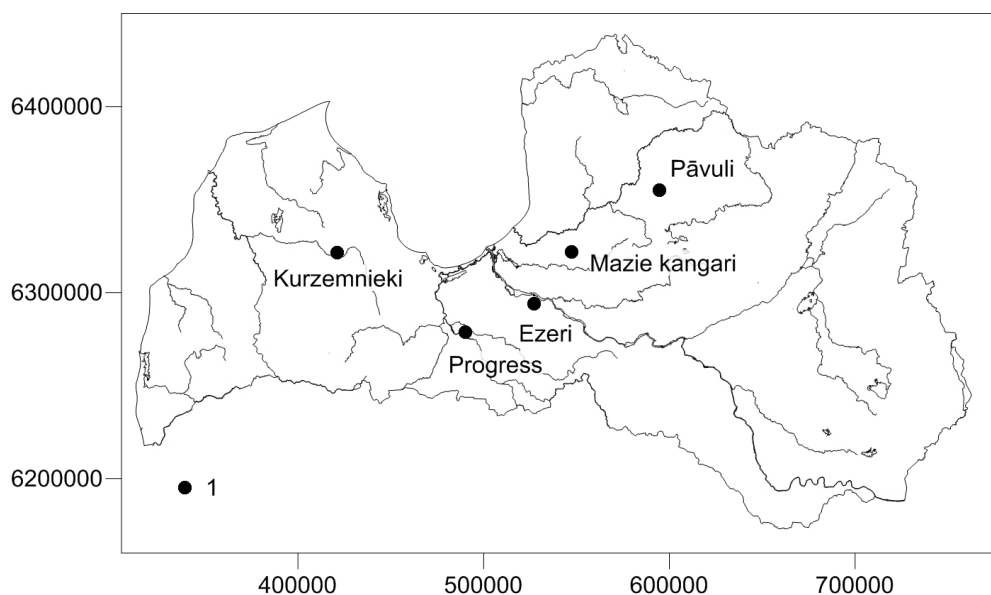
bet pētījumi, kur precīzi būtu noskaidrots, kāds attiecīgā nogulumu tipa smalko daļiņu daudzums būtiski spēj ietekmēt filtrācijas koeficienta vērtības, nav pieejami.

Materiāli un metodes

Pētījums tika veikts vairākos etapos – lauka darbi, kamerālie darbi un datu apstrāde un interpretācija. Lauka darbi tika veikti no 2009. gada vasarā četros smilts – grants karjeros „Mazie Kangari” Siguldas novada Allažu pagastā, „Ezeri” Ķekavas novada, Daugmales pagastā, „Kurzemnieki” Kandavas novada Kandavā, „Pāvuli” Raunas novada Raunas pagastā un vienā māla atradnē „Progress” Ozolnieku novada Cenu pagasta Ānē (1. attēls).

Lauka darbos tika veikta karjera apsekošana un paraugošanas vietas izvēlēšanās, tā lai tajās griezumā būtu iespējami lielāka nogulumu dažādība. Pēc atseguma attīrīšanas, tas tika uzmērīts un uzzīmēts lauka grāmatiņā, kā arī veikta tā uzbūves foto fiksācija. Atseguma dokumentēšanas laikā tika aprakstīts arī atsegto nogulumu sastāvs un izvērtēts, no kura slāņa tiks ņemti paraugi tālāko analīžu veikšanai. Parasti tika attīrīta atseguma siena ~ 1,5×2 m lielā laukumā un paraugojamā slāņa virsma. Atkarībā no pētāmā parametra, izvēlētajos slāņos tika noņemti paraugi nogulumu granulometriskā sastāva un filtrācijas koeficienta noteikšanai, un veikti nogulumu dabiskā mitruma mērījumi. Granulometriskā sastāva analīzēm visā slāņa izplatības posmā atsegumā tika ievākts traucētas struktūras paraugs. Filtrācijas koeficienta noteikšanai tika ievākti netraucētas struktūras paraugi, izmantojot paraugu gredzenus (diametrs 5 cm, augstums 5 cm), tos vienmērīgi iespiežot nogulumu slānī. No katra paraugojamā slāņa vidēji tika noņemti četri paraugi – divi perpendikulāri (no augšas) un divi paralēli slāņa virsmai (no atseguma plaknes). Kopumā lauka darbos filtrācijas koeficienta noteikšanai tika ievākti vairāk nekā 65 paraugi no 17 dažādu nogulumu slāņiem. Mitruma daudzums tika mērīts 12 dažāda sastāva nogulumu slāņos, kopumā veicot vairāk kā 2000 mērījumus. Kopīgai parametru analīzei tika ņemti dati par 6 dažādu nogulumu slāņiem, kas ir savstarpēji nesaistīti un paraugoti smilts grants atradnēs „Mazie Kangari”, „Ezeri” un mālu karjerā „Progress”, un kuros kopumā noņemti 24 paraugi filtrācijas koeficienta noteikšanai un izdarīti vairāk kā 1000 mitruma mērījumi. Pētījumā izmantotie nogulumu smilts – grants atradnēs, pamatā, ir glaciofluviālas (fQ3ltv) un, iespējams, glaciolimniskas (lgQ3ltv) izcelsmes dažāda

rupjuma smiltis (Bernāns 1999, Ābolts 2004), bet māla atradnē paraugotie nogulumi pārstāvēti ar glaciolimniskiem slokšņu māliem (Vasil'eva 1959).



1. att. Pētījumu vietu novietojums (sastādījusi A. Dēliņa)

Apzīmējumi: 1 – pētījumu vieta, tās nosaukums

Fig. 1. Location of Investigation Sites (compiled by A. Delina)

Legend: 1 – investigation site, its name

Nogulumu mitruma mērīšanas process ietvēra virkni procedūru. Pēc atseguma attīrīšanas tika izvēlēts paraugošanai piemērotais slānis. Tas tika atsegts, lai uz tā horizontālās virsmas izveidotu 1×1 m lielu laukumu. Tika izvēlēti viendabīgi slāņi, kuru biezums ir vismaz 20 cm. Nogulumu biezums bija svarīgs, tāpēc, ka mitruma mērītāja sensoru adatu garums ir 5 cm, un pēc slāņa horizontālās atsegšanas un virsmas nolīdzināšanas, slāņa biezums nedrīkst būt mazāks. Tāpat tika novērtēts vai slāņi nav pārāk blīvi, kā arī nesatur lielu daudzumu grantainā un oļainā materiāla, kas aprgrūtinātu sensoru adatu ievadīšanu slānī.

Pēc slāņa atsegšanas vairākās vietās, izmantojot līmeņrādi, tika pārbaudīts, vai virsma ir līdzena, lai varētu veikt papildus ūdens pievadīšanu, un tas vienmērīgi noklātu visu laukumu, radot vienlīdzīgu mitruma sadalījumu slānī un ļaujot izvairīties no kļūdainiem rezultātiem. Tad uz slāņa virsmas tika uzzīmēts 1×1 m liels kvadrāts, kas tika vēl sadalīts 20×20 cm lielos laukumos, lai pēc laistīšanas robežas neizzustu līniju krustpunkti tika atzīmēti ar spilgtas krāsas mietīņiem (2. attēls). Parauglaukumos notika slāņu papildus mitrināšana ar 10 l ūdens. Izņēmums bija „Mazo Kangaru” 1. laukums, kas tika laistīts ar 1 l ūdens. Tas bija eksperimentālais laukums, lai precizētu un veiktu nepieciešamos uzlabojumus tālākā metodes izmantošanā.



2. att. 2. parauglaukums smilts–grants karjerā „Ezeri” (fotografējusi B. Raga)
Fig. 2. Sampling Plot in Sand–Gravel Pit „Ezeri” (photo by B. Raga)

Pēc tam, izmantojot ΔT mitruma mērītāju HH2, kas papildināts ar datu uzkrāšanas bloku un sensoru SM-200 (adatu garums 51 mm, mērīšanas diapazons 0-50%, precizitāte $\pm 3\%$), tika noteikti mitruma tilpuma procenti pirms laistīšanas. Ar šo mēraparātu nosaka mitruma saturu gruntī, izmantojot dielektriskās caurlaidības konstantes metodi, kurā tiek mērīta nogulumu, ko uzskata par nevadītāju, kapacitāte, raidot augstas frekvences elektromagnētiskos viļņus vai impulsus, kad sensors ir ievadīts gruntī. Impulsa izplatības ātrums ir atkarīgs no caurlaidības starp iezi un sensoru adatām. Iegūtajiem rezultātiem, veicot to kalibrāciju, nosaka mitruma saturu nogulumos. Metodes pamatā ir fakts, ka sausiem nogulumiem dielektriskās caurlaidības vērtības ir robežās no 2 līdz 5, bet ūdenim 80, mērījumus izdarot frekvencēs starp 30 MHz un 1 GHz (Prichard T. L. [S.a.], Smith and Mullins 2000).

Katrā 20×20 cm lielajā laukumā pa diagonāli tika veikti trīs instrumentāli mērījumi. Kopā laukumā tika veikti 75 mērījumi, lai vēlāk tos statistiski apstrādānot, noteiktu mitruma daudzumu slānī pirms laistīšanas.

Pēc tam, kad tika noteikts slāņa mitrums pirms laistīšanas, atsegtais laukums tika lēnām laistīts ar 10 l ūdens no lejkannas ar sietiņu, pēc iespējas vienmērīgi nosedzot visu laukumu. Pirms laistīšanas tika noteikts laiks, cikos tā tiek uzsākta.

Pēc laukuma laistīšanas tika uzsākta mitruma satura mērīšana, izmantojot to pašu mitruma mērītāju, tikai šoreiz katrā mazajā laukumā veicot pa vienam mērījumam, kopumā vienā mērījuma reizē tika veikti 25 mērījumi. Laika intervāls starp mērījuma reizēm bija 3 un 5 minūtes „Mazo Kangaru” 1. laukumā, 15 minūtes „Mazo Kangaru” 3. laukumā un „Ezeru” 2. laukumā. „Mazo Kangaru” 1. laukumā, kurā pirmoreiz veikti

mērījumu, un, lai noskaidrotu optimālāko laika intervālu, tika veikti atkārtoti mērījumi sākumā ik pēc 3, bet vēlāk pēc 5 minūtēm. Pēc šī laukuma paraugošanas tika izvēlēts laika intervāls – 15 minūtes, kādu pielietot nākamajiem paraugiem. Lai raksturotu meteoroloģiskos apstākļus, kādi bija veicot lauka darbu veikšana laikā, tika izmantoti dati par faktiskā gaisa temperatūru, maksimālo un minimālo gaisa temperatūru, vēja ātrumu un relatīvo mitrumu no tuvākajām meteoroloģiskajām stacijām.

Laboratorijā tika veikta paraugu granulometriskā sastāva analīze un filtrācijas koeficienta noteikšana filtrācijas iekārtā, kā arī tika veidoti jauktas struktūras paraugi, lai fiksētu blīvuma ietekmi uz filtrācijas koeficientu, un noteikts nogulumu blīvums traucētas un netraucētas struktūras paraugiem.

Jauktas struktūras paraugi tika izveidoti, lai fiksētu, kā mainoties paraugu blīvumam, mainās to filtrācijas koeficienti, un, lai noskaidrotu, kā blīvuma izmaiņas saistītas ar nogulumu mituma izmaiņām laikā. Jauktas struktūras paraugi tika izveidoti blīvēšanas iekārtā, kas sastāv no 1,05 m garas caurules ar 7 cm diametru un 2 kg smaga metāla cilindra, kas iesiets 1,5 m garā auklā. Paraugi ar blīvēšanas cilindru tika blīvēti 20 reizes un paraugu blīvums tika aprēķināts. Blīvums noteikts gan traucētas, gan netraucētas struktūras paraugiem „Ezeri 2 jeb 2.3.”, „Ezeri 3 jeb 1.2” un „Pāvuli 1.2., 2.6., 3.8., 3.1.”. Paraugi pirms blīvēšanas papildus netika apstrādāti.

1. tabula

Smilšaino nogulumu granulometriskais sastāvs (frakciju robežas un nosaukumi pēc Aysen, 2005)
Grain Size of Sandy Sediments (Margins of Groups and Name after Aysen, 2005)

Paraugi	Frakciju (mm) sadalījums, %						
	Smilts frakcija			Aleirītu frakcija			Māls
	Rupja	Vidēji rupja	Smalka	Rupja	Vidēji rupja	Smalka	
	2 – 0,6	0,6 – 0,2	0,2 – 0,06	0,06 – 0,02	0,02 – 0,006	0,006 – 0,002	<0,002
"Mazie Kangari" 1. laukums	9,37	86,04	4,49	0,1			
"Mazie Kangari" 2. laukums	1,1	68	29,61	1,29			
"Mazie Kangari" 3. laukums	15,19	79,78	4,89	0,14			
"Ezeri" 2. laukums	0,01	7,15	90,67	2,15			
"Ezeri" 3. laukums		1,73	70,82	24,35	1,63	1,43	
„Progress” 1. laukums			7,49	38,41	31,5	4,8	18,52

Granulometriskā sastāva analīze tika veikta, izmantojot sietu metodi (Aysen 2005) un sietu metodi kopā ar hidrometra metodi (Aysen 2005) paraugiem, kur daļiņas, kas

mazākas par 0,05 mm, bija vairāk kā 10% no parauga kopējās masas. Granulometriskā sastāva klasifikācijai tika izmantota autora Aysen A. grāmatā „Soil mechanics: basic concepts and engineering applications” esošais sadalījums (1. tabula).

Nogulumu filtrācijas koeficienta noteikšana tika veikta, izmantojot laboratorijas filtrācijas iekārtu Eijkelkamp ar gredzenu diametru 5 cm, kurā caur paraugiem tika filtrēts ūdens, izmantojot patstāvīgā un mainīgā līmeņa metodes (Eijkelkamp agrisearch equipment 2008). Laboratorijas filtrācijas iekārtā filtrācijas koeficientus iespējams noteikt praktiski visiem irdenajiem nogulumiežiem, sākot ar ļoti rupjgraudainu materiālu, piemēram, granti un, beidzot ar ūdens vāji caurlaidīgiem nogulumiem, tādiem kā aleirīts un māls. Lai filtrācijas iekārtā varētu apstrādāt tik daudzveidīgus nogulumus, pastāv divas tās darbības metodes - ūdeni labi filtrējošiem nogulumiem (grants, smiltis) izmanto pastāvīgā ūdens līmeņa metodi (mērījuma precizitāte ± 1 mm), kur tiek fiksēts noteikts ūdens daudzums, kas izfiltrējas caur paraugu laika vienībā (mērījuma precizitāte ± 1 ml, ± 1 s), bet ūdeni vāji filtrējošajiem nogulumiem (aleirīts, māls) pielieto mainīgā ūdens līmeņa metodi, kur fiksē parauga piesātināšanos ar ūdeni un ūdens līmeņa izmaiņas filtrācijas gredzena ietvarā (Eijkelkamp agrisearch equipment 2008). Kamerālo darbu posmā tika veikta visu iegūto datu apstrādāšana un analizēšana. Datu apstrādāšanai tika izmantota Microsoft Excel datorprogramma. Nogulumu filtrācijas koeficienti tika aprēķināti, izmantojot Darsī vienādojumu (Todd and Mays 2005). Darbā izmantotais kartogrāfiskais materiāls tika sastādīts, izmantojot datorprogrammu ArcMap9. Paraugošanas vietu atsegumi uzzīmēti, izmantojot programmu CorelDrawX3.

Rezultāti un interpretācija

Granulometriskais sastāvs un filtrācijas koeficients

Analizējot lauka darbu laikā iegūtos aleirītiski smilšaino nogulumu paraugus, pēc granulometriskā sastāva tie bija iedalāmi četrās grupās: aleirīts, smalkgraudaina smiltis, vidējgraudaina smiltis un rupjgraudaina smiltis. Nogulumu filtrācijas koeficientu un granulometriskā sastāva sakarības tika analizētas pa nogulumu grupām pēc dominējošās granulometriskās frakcijas (2. tabula).

Analizētie aleirītisko nogulumu paraugi pēc granulometriskā sastāva ir ļoti līdzīgi un viendabīguma koeficients nepārsniedz 3 (Indāns et al. 1986), aleirīta frakcijas saturs ir 74-77% un māla frakcijas saturs ir 18,5-21%. Filtrācijas koeficienta vērtības kopumā

ir līdzīgas ($n \times 10^{-3}$ m/dnn), tomēr novērojams, ka palielinoties māla frakcijas īpatsvaram tikai par 2-3%, filtrācijas koeficienta vērtības mainās 2-3 reizes.

Pētot kopsakarības starp analizēto smalkgraudainās smilts paraugu filtrācijas koeficientu vērtībām un to granulometrisko sastāvu, konstatēts, ka šim nogulumu tipam vislielāko ietekmi uz filtrācijas koeficienta vērtībām rada aleirīta frakcijas daļiņu piejaukums. Izmainoties aleirīta rupjo daļiņu daudzumam, ievērojami mainās arī filtrācijas koeficientu vērtības. Skaitliski visizteiktākā šī sakarība ir paraugiem „Ezeri” 3.3. un „Pāvuli” 3.8., kur pieaugot aleirīta rupjajai frakcijai par aptuveni 6%, filtrācijas koeficients samazinās vairāk kā par 2 m/dnn. Salīdzinot aleirīta frakcijas īpatsvara un filtrācijas koeficienta vērtību sakarības pārējos paraugos, var secināt, ka aleirīta daļiņu daudzuma palielināšanās virs 8% no kopējās parauga masas smalkgraudainas smilts materiālā būtiski samazina filtrācijas koeficienta vērtības.

2. tabula

Smilšaino nogulumu granulometriskā sastāva, vidējo filtrācijas koeficientu un blīvumu dati (sastādījusi E. Pērkone)
Grain Size Distribution, Average Values of Hydraulic Conductivity

Parauga nr. / Nr. kopīgajā analizē	Dominējošā granulometriskā frakcija (Aysen 2005)	Aleirīta saturs paraugā, %	Māla saturs paraugā, %	Filtrācijas koeficients, m/dnn	Nogulumu blīvums, kg/m ³
"Ezeri" 1.2./3	Smilts smalkgr.	27,41	0,00	1,62	1430,2
"Ezeri" 1.1.	Smilts vidēji gr.	0,04	0,00	34,57	1395
"Ezeri".2.3./2	Smilts vidēji gr.	0,40	0,00	34,07	1380,2
"Ezeri" 3.3.	Smilts smalkgr.	2,15	0,00	5,17	1576,8
"Mazie Kangari" 1.2./3	Smilts vidēji gr.	0,10	0,00	31,48	
"Mazie Kangari" 1.1./1	Smilts vidēji gr.	0,14	0,00	50,82	
"Mazie Kangari" 2.2.	Smilts smalkgr.	18,34	1,40	2,38	
"Mazie Kangari" 2.1./2	Smilts vidēji gr.	1,29	0,00	16,38	
"Mazie Kangari" 3.7.	Smilts smalkgr.	22,91	3,00	1,92	
"Mazie Kangari" 3.6.	Smilts vidēji gr.	0,44	0,00	14,80	
"Pāvuli" 1.2.	Smilts rupjgr.	0,09	0,00	236,69	1483,5
"Pāvuli" 2.6.	Smilts rupjgr.	0,30	0,00	131,31	1558,9
"Pāvuli" 3.8.	Smilts smalkgr.	8,34	0,00	2,51	1521,8
"Pāvuli" 3.1.	Smilts vidēji gr.	0,75	0,00	44,13	1478,8
"Progress" 1.7./1	Aleirīts	74,71	18,52	0,0037	
"Progress" 1.5.	Aleirīts	74,08	21,12	0,0013	
"Progress" 1.3.	Aleirīts	76,73	20,15	0,0020	

Vidējgraudainas smilts grupas paraugiem pēc filtrācijas koeficienta vērtību un granulometriskā sastāva sadalījuma, ir iespējams izdalīt divas likumsakarības:

- 1) ja smiltī ir ļoti līdzīgs aleirīta un māla daļiņu procentuālais sadalījums, bet atšķirīgs rupjo daļiņu sadalījums, filtrācijas koeficienta vērtības būtiski ietekmē rupjo daļiņu daudzuma izmaiņas. Piemēram, paraugiem „Mazie Kangari” 1.1. un 1.2. aleirīta un māla daļiņu īpatsvars ir niecīgs (attiecīgi 0,14% un 0,1%), bet rupjgraudainās smilts frakcijas īpatsvars atšķiras par 6%, kā rezultātā paraugam ar lielāko rupjgraudaino daļiņu saturu (Mazie Kangari 1.1.) filtrācijas koeficienta vērtības ir 1,6 reizes augstākas nekā otram paraugam (Mazie Kangari 1.2.);
- 2) ja smiltī rupjgraudainās smilts frakcijas veido niecīgu procentu no kopējās masas (1-2%), filtrācijas koeficientu būtiski spēj ietekmēt smalkgraudainās smilts frakcijas masas pieaugums par 15-20%. Piemēram, paraugiem „Mazie Kangari” 2.1., 3.6. un „Ezeri” 1.1. smalkgraudainās smilts frakcijas īpatsvars ir 30-46% „Mazo Kangaru” paraugiem 2.1. un 3.6., bet tikai 6,5% „Ezeru” paraugam 1.1., bet filtrācijas koeficienta vērtība šim „Ezeru” paraugam ir divas reizes augstāka nekā abiem „Mazo Kangaru” paraugiem.

Rupjgraudaino smilšu grupā kopumā tika analizēti tikai divi paraugi, kas ņemti smilts – grants atradnē „Pāvuli”. Neskatoties uz to, ka abi paraugi ir viendabīgas rupjgraudainas smiltis, pēc granulometriskā sastāva tie tomēr ir visai atšķirīgi, kas ietekmē arī to lielo filtrācijas koeficientu vērtību starpību, aptuveni, 100 m/dnn (2. tabula). Šādi filtrācijas koeficientu lielumi un to starpības rupjgraudainas smilts paraugiem ir dabiskas, jo šādas frakcijas nogulumiem filtrācijas koeficients var svārstīties robežās no 20 – 200 m/dnn (Brassington 1988, Shvartsev 1996). Šajā gadījumā, analizējot doto rupjgraudainās smilts paraugu filtrācijas koeficientus un granulometriskā sastāva sakarības, faktu, ka šīs frakcijas nogulumu filtrācijas koeficientus spēj būtiski ietekmēt vidēji rupjas smilts daļiņu daudzuma izmaiņas par 30%, var pieņemt tikai kā hipotēzi, jo uzskatāmiem un drošiem rezultātiem, vajadzīgs apstrādāt un iegūt datus no krietni vairāk nekā diviem paraugiem.

Mitrums un granulometriskais sastāvs

Saistība starp mitruma daudzumu nogulumos un to granulometrisko sastāvu tika novērtēta divreiz: gan pirms, gan pēc nogulumu papildu mitrināšanas, lai labāk

raksturotu smalko daļiņu (<0,05 mm) ietekmi uz nogulumu mitruma daudzuma izmaiņām.

Nosakot visiem paraugotajiem slāņiem dabisko mitruma saturu (3. tabula), konstatēts, ka dažāda rupjuma un šķirotības smilts nogulumiem tas robežās no 9 līdz 15%, bet aleirīta nogulumos tas palielinās līdz 33-51%, turklāt šis mitruma satura pieaugums aleirīta nogulumiem ir cieši saistīts ar māla daļiņu daudzuma palielināšanos. Analizējot dabiskā mitruma satura sakarības katras pētījumu vietas (karjera) ietvaros, var secināt, ka nav novērojama stabila saistība starp dominējošo nogulumu frakciju, māla frakcijas īpatsvaru un dabisko mitrumu. Acīmredzot šīs vērtības ietekmē vēl citi faktori, piemēram, paraugotā slāņa ieguluma dziļums.

3. tabula

**Dabiskā mitruma daudzums un mitruma daudzuma pieaugums pēc
parauglaukuma papildu laistīšanas (sastādījusi B. Raga)**
*Moisture Content and its Increase after Sampling Plot Sprinkling (Compiled by
B. Raga)*

Paraugs	Nogulumu tips (Aysen 2005)	Mitruma daudzums uzsākot mērījumus, %	Mitruma daudzuma pieaugums pēc laistīšanas, %	Dominējošā frakcija, mm	Frakcija <0,05 mm, %
„Progress” 1. slānis	mālais aleirīts	51			31,9
„Progress” 2. slānis	aleirītiska smalkgraudaina smilts	33			17,4
„Mazie Kangari” 1.laukums	rupjgraudaina smilts, viendabīga	15	9	0,6 – 0,2	0,1
„Mazie Kangari” 2.laukums	smalkgraudaina smilts, viendabīga	10	8	0,2 – 0,006	1,29
„Mazie Kangari” 3.laukums	vidējgraudaina smilts, viendabīga	15	9	0,6 – 0,2	0,14
„Ezeri” 1.laukums	vidējgraudaina smilts, viendabīga	9	10	0,6 – 0,2	2,83
„Ezeri” 2.laukums	smalkgraudaina smilts, viendabīga	10	11	0,2 – 0,006	2,15
„Ezeri” 3.laukums	putekļaina smilts, neviendabīga	15	12	0,2 – 0,006	27,41
„Kurzemnieki” 1.laukums	grantaina smilts, neviendabīga	13			
„Kurzemnieki” 2.laukums	rupjgraudaina smilts, viendabīga	11	6	0,6 – 0,2	0,07
„Kurzemnieki” 3.laukums	grantaina smilts, ļoti neviendabīga	10	10	2,0 – 0,6	0,21
„Kurzemnieki” 4.laukums	smalkgraudaina smilts, viendabīga	26	7	0,2 – 0,006	6,7

Astoņos parauglaukumos tika veikta papildus mitrināšana, un pēc iegūtajiem datiem var novērot, ka starp mitruma saturu un laiku pastāv negatīva lineāra korelācija. Savukārt, ja salīdzina savā starpā parauglaukumu mitruma satura palielināšanos pēc

laistīšanas (3. tabula), tad jāņem vērā arī granulometriskais sastāvs. Tā kā mērījumi tika veikti ar ūdeni nepiesātinātajā zonā, tad, pievadot papildus ūdeni, tas strauji infiltrējas dziļāk slānī, un ūdens daudzums, kas „aizkavējas” aerācijas zonā, ir atkarīgs no iežu daļiņu izmēriem, jo ūdens aerācijas zonā noturas vai nu kapilārā efekta ietekmē, vai tiekot absorbētam uz māla daļiņu virsmas (Brassington 1988). Vislielākais mitruma satura pieaugums (12%) ir novērojams „Ezeru” 3. laukumam, kur frakcija, kas mazāka par 0,05 mm veido 27,41%. Vismazākais mitruma daudzums novērojams „Kurzemnieku” 2. laukumā, kur pēc papildu mitrināšanas ūdens saturs pieauga par 5,7%. Ja aplūko šajā laukumā sastopamo nogulumu granulometrisko sastāvu, tad procentuāli vislielāko daļu veido rupjgraudainas smilts (43,88 %) un grants (5,71 %) frakcijas, savukārt smalkgraudainas smilts frakcijas, kas aizpilda tukšumus starp rupjākām daļiņām, saturs ir tikai 1,1 %.

Diskusija

Ņemot vērā nelielo paraugu skaitu rupjgraudainās smilts nogulumiem, turpmākā analīze veikta trīs nogulumu grupām (pēc dominējošā granulometriskā sastāva): aleirītam, smalkgraudainai smiltij un vidējgraudainai smiltij (1. tabula). Saistība starp filtrācijas koeficienta vērtībām, mitruma saturu un nogulumu granulometrisko sastāvu tika analizēta augstāk minētajām nogulumu grupām, īpašu uzmanību pievēršot tieši smalko daļiņu īpatsvaram. Kopumā izvērtēti rezultāti paraugiem no sešiem nogulumu slāņiem, no kuriem viens ir aleirīta paraugs, ņemts no māla atradnes „Progress”, divi smalkgraudainas smilts paraugi no „Ezeru” smilts – grants atradnes 2. un 3. parauglaukuma un trīs vidējgraudainas smilts paraugi no smilts – grants atradnes „Mazie Kangari” 1., 2., un 3. parauglaukuma.

Analizējot granulometriskā sastāva sakarības ar citiem pētītajiem parametriem visos paraugos, var novērot izteiktu saistību starp filtrācijas koeficienta un nogulumu mitruma satura vērtībām un smalko daļiņu, mazāku par 0,06 mm, īpatsvaru. Smalko daļiņu ietekme uz pētītajiem parametriem visizteiktāk vērojama paraugotajā aleirītu slānī, kurā šo daļiņu īpatsvars sastāda 92,5% no parauga masas. Šiem nogulumiem ir ļoti mazs filtrācijas koeficients – 0,0037 m/dnn, kas pastarpināti ietekmē arī dabisko mitrumu saturu nogulumos, kas ir salīdzinoši augsts – 32,8% (3. tabula), un tā ļoti lēno samazinājumu laikā. Smalkgraudainās smilts paraugiem no „Ezeru” atradnes 2. un 3. parauglaukuma ir būtiskas izmaiņas smalko daļiņu sadalījumā - 2. paraugam smalkās

daļiņas sastāda 2,15% no kopējās masas, bet 3. paraugam 27,41%. Līdz ar to novērojamas arī būtiskas atšķirības filtrācijas koeficientu vērtībās - attiecīgi 5,17 m/dnn un 1,62 m/dnn, un pievadītā mitruma samazinājuma vērtībās - attiecīgi 0,59 un 0,42 (4. tabula).

4. tabula

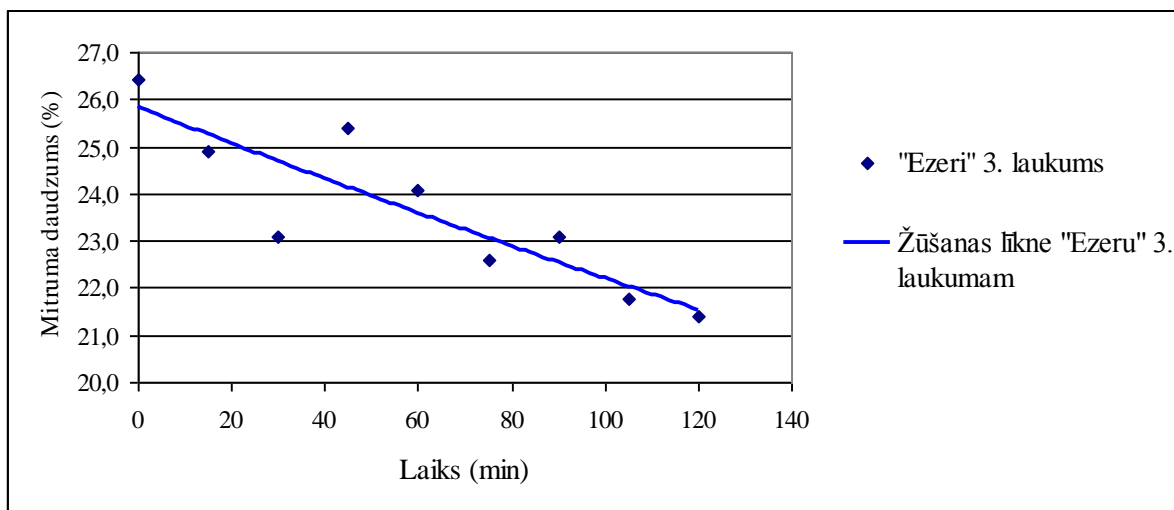
Nogulumu litoloģiskais tips, filtrācijas koeficients un mitruma mērījumu rezultāti

(sastādījusi E. Pērkone, B. Raga)

Type of Sandy Sediments, Results of Hydraulic Conductivity and Moisture Content Measurement (Compiled by E. Perkone, B. Raga)

Pauga	Litoloģiskais tips (Aysen 2005)	Filtrācijas koeficients, m/dnn		Parauga blīvums, kg/m ³		Papildus mitruma samazināšanās mērījumu laikā, %	Mitruma samazinājuma attiecība pret sākotnējo mitrumu, izteikts daļas veidā
		Netrauc. struktūras	Traucētas struktūras	Netrauc. struktūras	Traucētas struktūras		
"Mazie Kangari" 1. laukums	Vidēj-graudaina smilts	31,48	12,61			7	0,64
"Mazie Kangari" 2. laukums	Vidēj-graudaina smilts	16,38	12,03			3	0,34
"Mazie Kangari" 3. laukums	Vidēj-graudaina smilts	50,82	29,31			4	0,43
"Ezeri" 2. laukums	Smalk-graudaina smilts	5,17	6,57	1576,8	1457,3	7	0,59
"Ezeri" 3. laukums	Smalk-graudaina smilts	1,62	0,0142	1430,2	1460	5	0,42
„Progress” 1.laukums	Aleirīts	0,0037	0,0142			0,8	0,02

Mitruma satura izmaiņas laikā analīze liecina, ka pēc papildus mitrināšanas ūdens samazināšanās notiek, iedarbojoties infiltrācijas procesiem, kas sākumā ir primārie, jo nepiesātinātajā zonā rodas apstākļi, kas ir līdzīgi ar ūdeni piesātinātajai zonai. To uzskatāmi ataino līknes, kuru sākumā novērojama strauja mitruma satura samazināšanās, bet tas ir neilgs process, jo pēc tam līkne kļūst lēzena. Piemēram, „Ezeru” 3. laukuma žūšanas līknē (3. att.) redzams, ka eksperimenta sākumā ir lielāka mērījumu vērtību novirze no vidējotās žūšanas līknes nekā mērījumu cikla beigās, kam par iemeslu var būt jau sākumā nevienmērīgais dabiskā mitruma satura sadalījums, kas saglabājies arī pēc laukuma papildus mitrināšanas.



3. att. Nogulumu žūšanas līkne parauglaukumā „Ezeri” 3 (sastādījusi B. Raga)
 Fig. 3. *Drying Curve of Sediments in Sampling Plot „Ezeri” 3 (compiled by B. Raga)*

Līdzīgi izanalizējot pārējo parauglaukumu datus, var redzēt, ka samazinoties daļiņu izmēriem un palielinoties smalko daļiņu īpatsvaram, mitruma saturs samazinās pēc papildus laistīšanas notiek lēnāk. To iespējams izskaidrot šādi: smalkgraudainos iežos ūdens nepiesātinātajā zonā paaugstināts mitruma daudzums pēc laistīšanas galvenokārt veidojas, jo starp maza izmēra daļiņām ir attiecīgi maza izmēra poras, pa kurām ūdens var lēnāk pārvietoties, tādējādi samazinās infiltrācijas procesu intensitāte, kā arī veidojas labvēlīgi apstākļi, lai ūdens noturētos kapilārā efekta ietekmē gan porās, gan daļiņu kontaktzonās. Jo mazāks ir daļiņu izmērs, jo vairāk ir šādu mazu poru un daļiņu kontaktzonu ar kapilāro efektu izpausmēm. Tāpat smalka izmēra daļiņām, sevišķi māla minerālu daļiņām, piemīt lielāka virsmas enerģija, kā rezultātā ūdens tiek noturēts ciešāk nekā tas ir uz rupjāka izmēra daļiņu virsmas (Brassington 2007, Aysen 2005, Shvartsev 1996, Maslov i Komov 1871). Tāpēc parauglaukumos, kur pārstāvēti smalkgraudainākie nogulumi, salīdzinot ar tiem, kur ir rupjāku frakciju nogulumi, ir nepieciešams ilgāks laiks, lai tiktu sasniegts sākotnējais dabiskais mitrums. Šie paši principi ietekmē arī ūdens filtrāciju nogulumos, tātad, filtrācijas koeficienta vērtības.

Apskatot vidējgraudainas smilts paraugus, tik izteiktas sakarības starp šiem parametriem vairs nav vērojamas, proti, paraugam ar lielāku filtrācijas koeficientu novērojams mazāks liekā mitruma procentuālais samazinājums, nekā paraugam ar mazāku filtrācijas koeficientu (4. tabula). Iespējams šādas nesakrītības var skaidrot ar neviendabībām paraugotā slāņa iekšienē. Kā viena no iespējamajām neviendabībām varētu būt nogulumu blīvums, jo laboratorijas apstākļos, veidojot jauktas struktūras

paraugus un nosakot arī tiem filtrācijas koeficientus, bija vērojamas būtiskas to atšķirības (4. tabula).

Analizējot paraugu blīvuma izmaiņu un filtrācijas koeficientu saistību, var secināt, ka ne tikai nogulumu granulometriskajam sastāvam, bet arī to konsolidācijas pakāpei ir liela ietekme uz ūdens filtrācijas intensitāti nogulumos. Vidējgraudainai smiltij jauktas struktūras paraugus filtrācijas koeficienti bija ievērojami mazāki nekā dabiskas struktūras paraugos (4. tabula). Smalkgraudainās smilts jauktas struktūras paraugiem pēc blīvēšanas, rezultāti bija tādi, ka, „Ezeri” 2. Paraugam filtrācijas koeficients bija par 1,4 m/dnn lielāks nekā dabiskas struktūras paraugam, bet paraugam „Ezeri” 3. jauktās struktūras parauga filtrācijas koeficients ir par 1,58 m/dnn mazāks nekā dabiskas struktūras paraugam. Šīs atšķirības izskaidrojamas ar to, ka pirmajā gadījumā blīvāks ir netraucētas struktūras paraugs, bet otrā – paraugs ar traucētu struktūru. Kopumā ir vērojama likumsakarība – jo mazāks parauga blīvums, jo lielāks filtrācijas koeficients un otrādi.

Secinājumi

Analizējot pētījumā iegūtos rezultātus, tika atrastas sakarības starp nogulumu granulometrisko sastāvu, filtrācijas koeficienta un mitruma satura vērtībām:

- smalkgraudainas smilts un aleirīta nogulumiem filtrācijas koeficienta vērtības būtiski ietekmē aleirīta un māla daļiņu piejaukums, pat neliels to daudzums, savukārt vidējgraudainā un rupjgraudainā smiltī māla un aleirīta daļiņu īpatsvaram ir jābūt lielākam, lai būtiski ietekmētu konkrēto nogulumu filtrācijas koeficientu;
- samazinoties smilšaino nogulumu daļiņu izmēriem un palielinoties smalko daļiņu (<0,6 mm) īpatsvaram nogulumos ir novērojama lielāka ūdens aizture aerācijas zonā pēc papildus mitrināšanas, un pēc tam arī lēnāka mitruma satura samazināšanās laikā;
- viziteiktākās sakarības starp filtrācijas koeficienta vērtībām un granulometrisko sastāvu ir novērotas labāk šķirotiem smilšainajiem nogulumiem;
- nogulumu blīvuma izmaiņas visbūtiskāk ietekmē smalkgraudainus un aleirītiskus nogulumus, radot to filtrācijas koeficientiem ievērojami lielākas vērtību amplitūdas, paraugos, pirms un pēc blīvēšanas, nekā vidēji rupjgraudainos un rupjgraudainos nogulumos.

Pateicības

Pētījums veikts ar projekta Nr. ESS2009/81 „Starpnozaru zinātnieku grupas un modeļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem” un AS „Latvijas valsts meži” finansiālo atbalstu.

LITERATŪRA

- Aysen A. 2005. *Soil mechanics: basic concepts and engineering applications*. Taylor & Francis, London, New York. 457 pp.
- Brassington R., 2007. *Field hydrogeology. The geological field guide series*. Hoboken, John Wiley & Sons. 264 pp.
- Brassington R., 1988. *Field Hydrogeology. Geological Society of London Handbook Series*. Open University Press.
- Fredlund M. D, Wilson W. G., Fredlund D. G. 2002. Use the grain – size distribution for estimation of the soil – water characteristic curve. *Can.Geotech.* 39 (5). 1103. – 1117.
- Indāns A., Ošiņa J., Zobena A. 1986. *Inženierģeoloģija*. Zvaigzne, Rīga. 276 lpp.
- Maslov N. N., Komov M. F., 1971. *Inzhenernnaya geologiya*. Moskva, Izdatel'stvo literatury po stroitelstvu, 246. s.
- Shvartsev S. L. 1993. *Obshchaya gidrogeologiya*. Moskva, Izdatel'stvo „Nedra”. 422. s.
- Smith K. A., Mullins C. E. 2000. *Soil and Environmental analysis: Physical Methods*. 2nd edn. Marcel Dekker Incorporated, New York. 650 pp.
- Todd L. M., Mays D. K. 2005. *Groundwater Hydrogeology*. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York. 636 pp.
- Vogel T., Cislerova M., 1988. On the reliability of unsaturated hydraulic conductivity calculated from the moisture retention curve. *Transport in porous media*. Volume 3, Number 1, 1 – 15.

ELEKTRONISKIE RESURSI

- Prichard T. L. [S.a]. *Soil moisture measurement technology*. University of California Davis. Sk. 12. 03. 2010. Pieejams <http://ceeldorado.ucdavis.edu/files/45069.pdf>

NEPUBLICĒTĀ LITERATŪRA

- Ābolts J. 2004. *Pārskats par ģeoloģiskās izpētes darbiem Rīgas rajona, Allažu pagasta smilts – grants atradnē „Mazie Kangari” VI laukums*. Rīga. VĢD fonds, inv. Nr. 14677. 27. lpp.
- Bernāns A. 1999. *Pārskats par ģeoloģiskās izpētes darbiem Ezeru smilts – grants atradnē*. Rīga. VĢD fonds, inv. Nr. 12125. 19. lpp.

Eijkelkamp agriseach equipment, 2008., *Soil water permeability test, operating instructions*. 15 pp.

Vasil`eva A. N. 1959. *Otchet o geologorazvedochnykh rabotakh, proizvedennykh na mestorozhdenii glini „Progress”*. Tom 1. Riga. VGD fonds, inv. Nr. 2125. 90 s.

Summary

The article describes relations between grain size distribution, the values of hydraulic conductivity and moisture content of sandy sediments. The study focuses on the influence of silt and clay particles (<0,006 mm) admixture on hydraulic conductivity values and moisture content of the sediments. Three groups of sediments were analyzed – medium and fine grained sand and silt. Data obtained and their analysis shows that there is closer connection between the amount of silt and clay particles and hydraulic conductivity values and moisture content variations for finer sediments comparing to the coarser sediments.

Key words: dielectric constant, grain size distribution, laboratory permeameter, Quaternary deposits.