

Lietišķi ģeoloģiskie pētījumi, jaunas tehnoloģijas, materiāli un produkti

Zinātnisko rakstu krājums

Rīga, 2016

Lietišķi ģeoloģiskie pētījumi, jaunas tehnoloģijas, materiāli un produkti. Atbildīgais redaktors V. Segliņš. Rīga: Latvijas Universitāte, 2016, 112 lpp.

Kolektīvā monogrāfija – zinātnisko rakstu krājums veidots, plašākā kontekstā apskatot Latvijas zemes dzīles un to noderīgās īpašības, pētījumu metodes un racionālas izmantošanas iespējas, izceļot sasniegumus jaunu tehnoloģiju un produktu izstrādē. Krājumā ievietotie raksti atspoguļo Latvijas Universitātes 74. zinātniskajā konferencē diskutēto jautājumu loku un ir rakstu autoru skatījums uz pētītajām problēmām un risinājumiem, kas var kalpot par pamatu turpmākajiem pētījumiem.

Izdevuma redakcijas padome:

Valdis Segliņš (atbildīgais redaktors, Latvijas Universitāte), **Vitālijs Zelčs** (Latvijas Universitāte), **Aija Dēliņa** (Latvijas Universitāte), **Alberts Bitins** (*Albertas Bitinas*, Klaipēdas Universitāte), **Ilze Vircava** (Tartu Universitāte), **Normunds Stivriņš** (Helsinki Universitāte), **Viktorija Krupskaja** (Krievijas Zinātņu akadēmija)

Recenzenti:

Dr. habil. chem. **Māris Kļaviņš** (Latvijas Universitāte)

Dr. habil. biol. **Indriķis Muižnieks** (Latvijas Universitāte)

Dr. sc. ing. **Ingunda Šperberga** (Rīgas Tehniskā universitāte)

Dr. geol. **Juris Soms** (Daugavpils Universitāte)

Dr. geol. **Gražina Skridlaite** (*Gražina Skridlaitē*, Kauņas Tehnoloģiju universitāte)

Izdots ar Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūta Zinātniskās padomes 2016. gada 15. marta lēmumu Nr. 3/2016.



RESPROD

Izdevums sagatavots un izdots par Valsts pētījumu programmas 2014.10-4/VPP-6/6 “Meža un zemes dziļu resursu izpēte, ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas” ResProd 4. projekta ZEME līdzekļiem.

Korektore, maketētāja **Ieva Zarāne**

Vāka dizains **Baiba Lazdiņa**

© Valdis Segliņš, 2016

© Autoru kolektīvs, 2016

ISBN 978-9934-556-07-4

Saturs

Priekšvārds	5
Pazemes ūdens un tā īpašības	6
Aivars SPALVIŅŠ, Kaspars KRAUKLIS Latvijas hidroģeoloģiskais modelis LAMO4 kā rīks dabas procesu pētīšanai. Iecavas upes pazemes pieteces avoti	6
Jānis BIKŠE, Konrāds POPOVS, Aija DĒLIŅA, Andis KALVĀNS Lauka infiltrācijas testu automatizēšana	12
Alise BABRE, Andis KALVĀNS, Aija DĒLIŅA, Konrāds POPOVS, Jānis BIKŠE Investigation of Surface Water-Groundwater Interactions in the Salaca Headwaters Using Water Stable Isotopes	18
Zemes dziļi un derīgo izrakteņu pētījumi	25
Edgars KLIEVĒNS, Ģirts STINKULIS Devona Pļaviņu svītas karbonātiem un to veidošanās apstākļi Ziemeļlatvijā un Igaunijas dienvidos	25
Valērijs ŅIKUĻINS Lietišķās seismoloģijas iespējas zemas seismiskās aktivitātes urbānās teritorijās ar zemu seismisko aktivitāti, Rīgas pilsētas piemērs	37
Līvija ZARIŅA Effect of Saproel Fertilizer Application on Soil Agrochemical Properties Within Three Years Period	43
Līvija ZARINA, Līga ZARINA Long-Term Effect of Mineral Fertilizers on Soil Potassium Dynamics in a Soddy-Podzolic Soil	48
Jaunās tehnoloģijas, materiāli un produkti	55
Valdis SEGLIŅŠ Zemes dziļi un to noderīgo īpašību pētījumi Valsts pētījumu programmas otrajā posmā	55
Inga DUŠENKOVA, Olita MEDNE, Andrejs ŠIŠKINS, Agnese STUNDA-ZUJEVA, Līga BĒRZIŅA-CIMDIŅA Mālu īpašību izpēte izmantošanai kosmētisko produktu, biodegradablu kompozītmateriālu un jauna granulveida sorbenta iegūšanai	60

Agnese STUNDA-ZUJEVA, Inga DUŠENKOVA, Valentīna STEPANOVA, Līga BĒRZIŅA-CIMDIŅA	
Mālu suspensijas sastāva ietekme uz izžāvētu granulu morfoloģiju un spēju atkārtoti disperģēties ūdenī	70
Māli un keramika arheoloģiskos pētījumos	78
Vanda VIŠOCKA	
Dekoratīvie elementi vēlā bronzas laikmeta keramikā Latvijas teritorijā	78
Baiba DUMPE	
Iespiedumi uz trauku malām kuršu keramikā – izplatības un hronoloģijas jautājumi	90
Alise ŠULTE	
Agrās ripas keramikas izgatavošanas sākums Latvijas teritorijā (11.–13. gs.)	101

PRIEKŠVārds

Kolektīvā monogrāfija “Lietiškie ģeoloģiskie pētījumi, jaunas tehnoloģijas, materiāli un produkti” aptver tās nosaukumā norādīto visai plašo skarto jautājumu loku un atspoguļo daudzu autoru pēdējo gadu laikā veikto pētījumu rezultātus, kā arī uzsāktos pētījumus, ieceres un mēģinājumus, kas savu attīstību vēl gūs nākotnē. Monogrāfija atspoguļo daudzveidīgu skatījumu uz jomām, kas izriet no Latvijas zemes dziļu pētījumiem plašākā kontekstā un aptver ne tikai ģeoloģijas, ģeogrāfijas un vides zinātnes tradicionālo pētījumu jomu, bet arī lietišķās ķīmijas, materiālzinātnes, mikrobioloģijas un biotehnoloģiju, kā arī ģeofizikas, ģeoarheoloģijas un lauksaimniecības zinātņu jomas.

Tomēr viegli pamanāmi ir, iespējams, paša nozīmīgākā derīgā izrakteņa – ūdens pētījumi, kas līdz šim līdzīgos rakstu krājumos nav pietiekami izcelti. Tos raksturo ne tikai augstā pētniecības kvalitāte, bet arī pētījumu daudzveidība un to attīstības iespējas nākotnē.

Otra raksturīga iezīme ir lietišķo ģeoloģisko pētījumu dažādošanās, tā raksturīga zinātnes apakšnozares kopumā un jau sen pārkāpj formālās un tradicionālās starpnozaru robežas. Pētījumi ir kļuvuši vairāknozaru jeb multidisciplināri, tos vieno zemes dzīlēs un no tām iegūtās minerālizejvielas un to lietderīgās īpašības. Vienlaikus šo pētījumu saistība ar Latviju nosaka to lietišķumu, un tādējādi līdz ar lasītāju loka paplašināšanos paaugstinās to vērtība, un tas ir viens no šī izdevuma galvenajiem mērķiem – iepazīstināt zinātnes sociālos partnerus ar veiktajiem pētījumiem, pasniegt pētījumu rezultātus tādā formā, kas veicina to ieviešanu tautsaimniecībā. Tieši tāpēc arī lielākā daļa zinātnisko rakstu ir sagatavoti latviešu valodā.

Atzīmējami ir izteikti lietišķas ievirzes raksti, kas veltīti kosmētikā izmantojamo mālu īpašību un sorbcijas pētījumiem, jaunu keramikas tehnoloģiju un produktu izstrādei, pētīta no Latvijas māliem iegūta augsti poraina keramika ar aktivētu virsmu, jau tradicionāli ir plašie un daudzveidīgie kūdras, sapropeļa, mālu īpašību un to modifikācijas iespēju pētījumi, kā arī visai perspektīvie pētījumi par minerālu (kūdras, sapropeļa un mālu) nesējmateriālos imobilizētu mikrofloru izmantošanu lauksaimniecībā, lietojot tos kā bioloģiskus mēslošanas līdzekļus augu augšanas veicināšanai. Tomēr šī izdevuma augstākā pievienotā vērtība ir pētījumiem, kas apskata māla un citu minerālizejvielu izmantošanu senatnē, kas tradicionāli tiek apskatīta tikai šauras nozares ietvaros. Mūsu gadījumā arheoloģisko pētījumu rezultāti, arī pazemes ūdeņu modelēšanas pētījumi, kā arī seismisko pētījumu lietderība urbānajās teritorijās, nepārprotami, ir ieguvums.

Šāds plašs skatījums ir daudzsološs jaunu pētījumu problēmu un priekšmetu izvērtēšanai, turpmāko pētniecības prioritāšu noteikšanai un atbilstošāko pētniecības partneru noteikšanai.

Profesors *Dr. geol.* **Valdis Segliņš**
2016. gada 15. janvārī

Pazemes ūdens un tā īpašības

LATVIJAS HIDROĢEOLOĢISKAIS MODELIS LAMO4 KĀ RĪKS DABAS PROCESU PĒTĪŠANAI. IECAVAS UPES PAZEMES PIETECES AVOTI

Aivars SPALVIŅŠ, Kaspars KRAUKLIS

RTU Vides modelēšanas centrs

E-pasts: Aivars.Spalvins@rtu.lv

Īstenojot valsts pētījumu programmu EVIDenT, RTU Vides modelēšanas centra speciālisti 2015. gadā ir izveidojuši Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa (LAMO) ceturto versiju LAMO4. Dati par LAMO versijām apkopoti 1. tabulā.

Versijai LAMO4 ir palielināts hidrogrāfiskā tīkla (upes, ezeri) blīvums, plaknes aproksimācijas solis h samazināts no 500 metriem līdz 250 metriem, upju pazemes pietece modeli ir saskaņota ar upju caurteces mērījumiem, ir precizētas ūdens horizontu filtrācijas koeficientu kartes (Spalviņš, 2015).

LAMO4 ietver reģionālus vidējos ilggadīgos hidroģeoloģiskos datus par Latvijas aktīvo pazemes ūdeņu zonu. Modeļi var lietot Latvijas ūdens resursu izmantošanas un atvaseļošanas plānošanai, lokālu detalizētu modeļu izveidošanai ($h = 10\text{--}20$ metri) un kā līdzekli dabas procesu pētīšanai ar matemātiskās modelēšanas metodēm.

Dabas procesu pētīšana ir iespējama tāpēc, ka LAMO strādā licencētas programmatūras *Groundwater Vistas* (GV) vidē (Environmental Simulations, 2011), kuru veido pasaulē plaši izmantotas pazemes ūdens objektu modelēšanas sistēmas: MODFLOW (LAMO uzturēšana) (Harbaugh, 2005); MODPATH (ūdens daļiņu kustības trasēšana) (Pollock, 2012); MT3D (masas transporta modelēšana) (Zheng, 1999). Izmantojot GV sistēmu, tika meklēti Iecavas upes pazemes pietece avoti (atmosfēras nokrišņi un citi pietece avoti). Visu modeļu slāņu porainības vērtība bija 0,1.

MODPATH aprēķina virtuālās ūdens daļiņas (*particle*) kustības trajektoriju (*pathline*) telpā un laikā (x, y, z, t), izmantojot ar MODFLOW (LAMO4) iegūto pazemes ūdens plūsmu sadalījumu katrai modeļa šūnai ($h \times h \times m$); h ir modeļa režģa plaknes solis (LAMO4 lieto $h = 250$ metri); m ir ģeoloģiskā slāņa mainīgais biežums. LAMO4 režģi ir $61,56 \times 10^6$ šūnas (1. tabula).

Lai modelētu ūdens daļiņas kustības trajektoriju, ir jāizvēlas daļiņas sākuma stāvoklis. Iecavas upei daļiņas ievietojām ar upi saistīto režģu šūnu centros (kopā 1027 šūnas, no tām 987 un 42 pieder attiecīgi kvartāra Q un pamatiežu Daugavas D2dg# ūdens horizontiem). Eksperimenta vienkāršošanas nolūkā daļiņas netika piešķirtas Iecavas pietekām Misai, Smakupei un Ģirupei.

1. tabula

Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa versijas

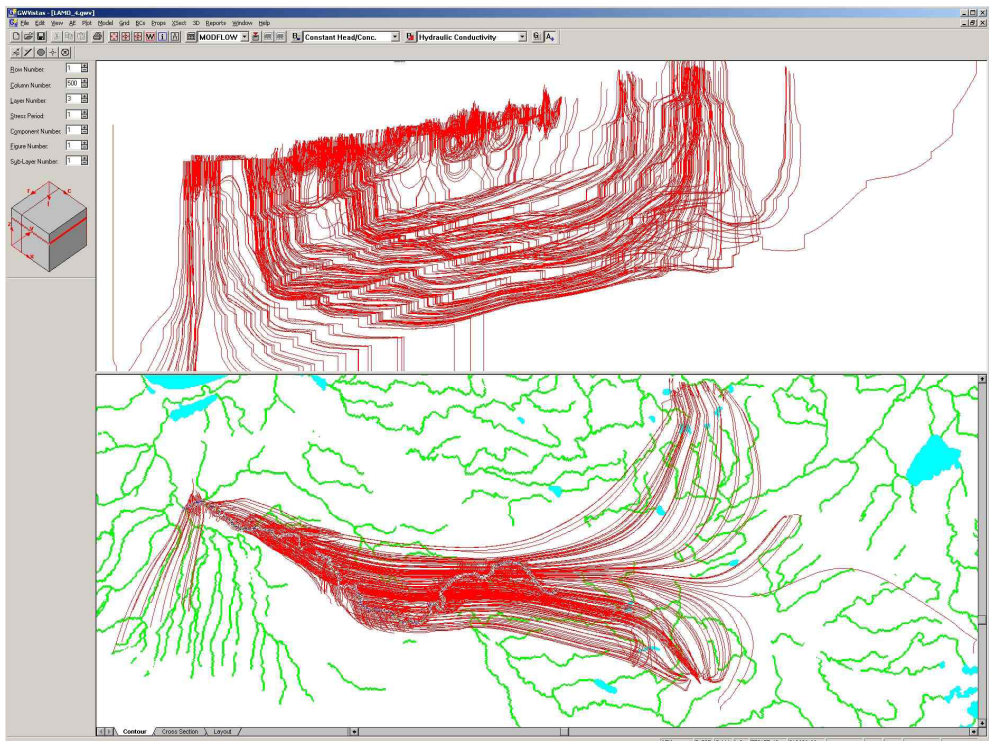
Versija	Gads	Aproksimācijas režģis			Modeļa upes			Ezeri
		Plaknes solis [metrs]	Režģa plakņu skaits	Režģa šūnu skaits	Skaits	Ieleju iegrauzumi	Izmantoti caurteces dati	Skaits
LAMO1	2012	500	25	14,25 × 106	199	nav	nē	67
LAMO2	2013	500	27	15,43 × 106	199	ir	nē	67
LAMO3	2014	500	27	15,43 × 106	469	ir	nē	127
LAMO4	2015	250	27	61,56 × 106	469	ir	jā	127

Ūdens daļiņas trajektorijas aprēķinam var lietot divus tās kustības virzienus:

- 1) pazemes ūdens plūsmas gradienta virzienu (atbilst ūdens kustībai dabā);
- 2) virzienu pretim gradientam (*reverse*).

Reversais režīms ir matemātiska abstrakcija (negatīva laika t vērtība), kuru izmanto daļiņas avota atrašanai.

Skaitliskajā eksperimentā Iecavas upei lietojām reverso režīmu bez daļiņu kustības laika ierobežošanas. Visas daļiņas sāk savu avotu meklēšanu vienlaicīgi ($t = 0$). Ja daļiņa sasniedz avotu, tās kustība apstājas un ceļā pavadītais laiks atbilst daļiņas vecumam. Daļiņas apstājas LAMO4 pirmajā slānī (reljefs), ja avots ir atmosfēras nokrišņi. Neliels daļiņu skaits (43 no 1027) tika apturēts LAMO4 27-tajā slānī (Pērnavas D2prn horizonts).

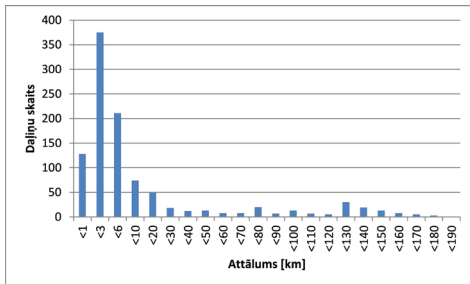


1. att. Traseru līniju (1027) projekcijas uz xy un xz plaknēm (GV grafika)

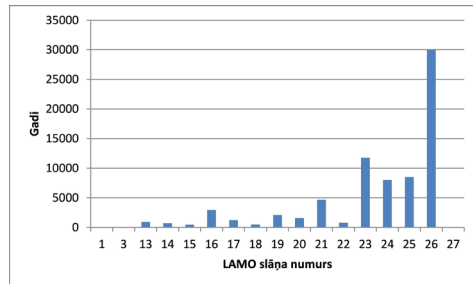
Eksperimenta nolūks bija apstiprināt upju sateces apgabala principa pareizību, t. i., “upes pazemes pieteces avots ir atmosfēras nokrišņi šajā apgabalā”. Iecavas upe ir tipiska līdzenu- ma upe ar vienkāršu piesaisti ģeoloģiskajai videi 1027 modeļa šūnās. Tomēr ar MODPATH iegūtais rezultāts (skat. 1. att.) bija negaidīts šādu iemeslu dēļ:

- ūdens daļiņu trajektoriju xy un xz projekcijas veido šķietami haotisku ainu;
- daudzu daļiņu avoti kā atmosfēras nokrišņu avoti atrodas ļoti tālu (Vidzemes un Latgales augstienes) no upes sateces apgabala;
- no daļiņu trajektoriju xz projekciju rakstura var secināt, ka tās uz Iecavas upi pār- vietojas visos Latvijas aktīvās pazemes ūdens zonas ģeoloģiskajos slāņos.

Ūdens daļiņu trajektoriju statistisku novērtējumu dod 2. un 3. attēla grafiki.



2. att. Ūdens daļiņu skaits un veiktais attālums



3. att. Maksimālais ūdens daļiņu kustības laiks LAMO slāņos

No 2. attēla var secināt, ka visvairāk (375) ir daļiņu, kuru trajektorijas garums nepārsniedz 3 km. Kopīgais daļiņu skaits grupās ar trajektoriju garumu 1 km, 3 km, 6 km, 10 km, 20 km ir 830. Kā redzams 3. attēlā, pat 30 000 gadus daļiņas var atrasties LAMO 26-tajā slānī (sprostslānis D2nr). Ilgi ūdens daļiņas uzturas LAMO slāņos Nr. 21, 23, 24, 25 (D3gj1, D2brt, D2arz, D2ar).

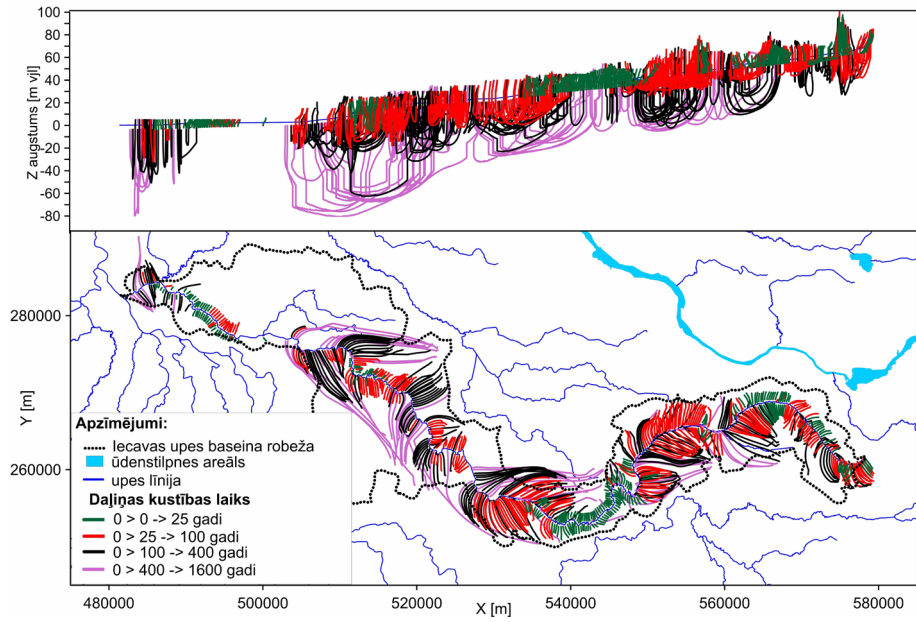
Lai sistematizētu 1. attēlā parādīto ūdens daļiņu trajektorijas, tās tika sakārtotas septiņās grupās, ievērojot tām atbilstošo ūdens vecumu (skat. 2. tabulu).

2. tabula

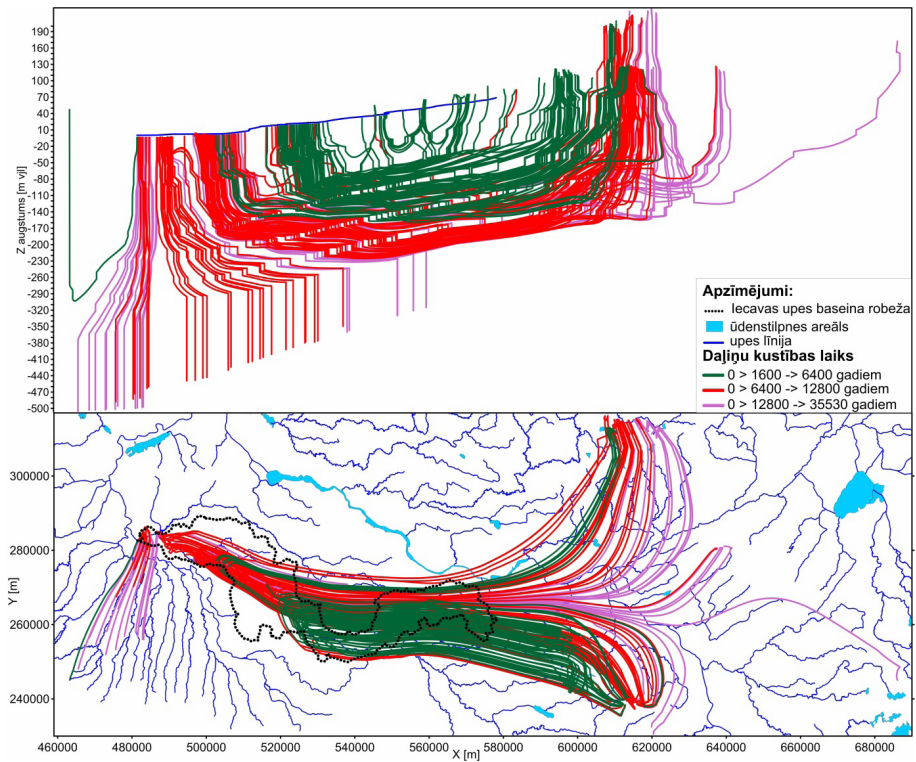
Ūdens daļiņu trajektoriju grupas

Grupās Nr.	Laiks (gadi)	Trajektoriju skaits
1	0–25	259
2	0 > 25 → 100	295
3	0 > 100 → 400	198
4	0 > 400 → 1600	68
5	0 > 1600 → 6400	84
6	0 > 6400 → 128000	86
7	0 > 128 000 → 35 530	37
		Kopā 1027

Ūdens daļiņu grupu Nr. 1, 2, 3, 4 avoti un trajektorijas atrodas Iecavas upes sateces apgabalā (skat. 4. att.). Kopīgais ūdens daļiņu skaits šajās grupās ir 820, t. i., no 2. attēla un 2. tabulas iegūtie daļiņu skaita novērtējumi ir tuvi (830~820). Grupu Nr. 5, 6, 7 ūdens daļiņu avoti neatrodas Iecavas upes sateces apgabalā (skat. 5. att.).



4. att. Īsās trajektorijas



5. att. Garās trajektorijas

MODPATH rezultātu daļēji skaidro Iecavas upes sateces apgabala lokālā pazemes plūsmu bilance (3. tabula) (Spalviņš, 2015):

- caur sateces apgabala robežu ieplūst $q_{boundary} = 9$ tūkst. m^3 /dienn, galvenokārt pamatiežos (10 tūkst. m^3 /dienn); šo plūsmu varētu izsaukt grupām Nr. 5, 6, 7 atbilstošā ūdens plūsma;
- plūsmas q_{botin} un q_{botout} caur Q2 horizonta pamatnes virsmu ir praktiski vienādas (± 93 tūkst. m^3 /dienn); šādu parādību varētu izsaukt grupu Nr. 2, 3, 4 trajektorijām atbilstošās vertikālās plūsmas, kuras divas reizes pretējos virzienos šķērso šo pamatni (skat. 4. att.)

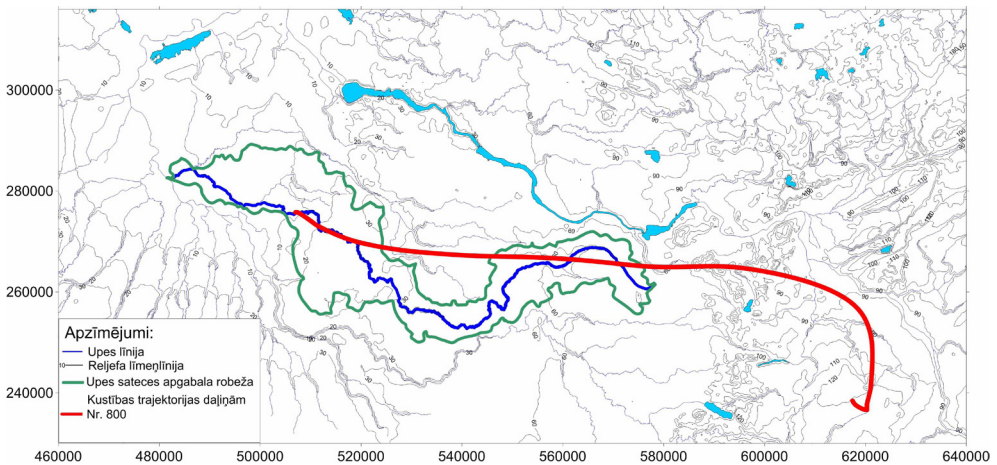
3. tabula

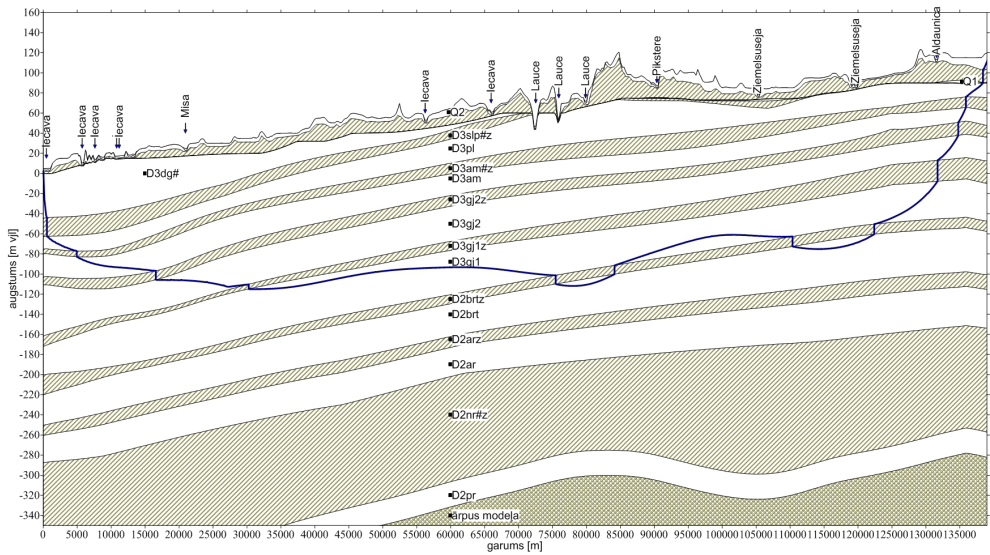
Pazemes plūsmu bilance Iecavas upes sateces apgabalam

Objekta nosaukums	q_{topin}	q_{topout}	q_{botin}	q_{botout}	q_{inflow}	q_{river}	q_{lake}	$q_{boundary}$	q_{well}
Apgabals	172	-31			141	-147	0	9	-3
Q2	167	-31	93	-93	136	-135	0	-1	0
Pamatieži	5				5	-12	0	10	-3

Daļiņas Nr. 800 trajektorijas xy un lz projekcijas dotas 6. un 7. attēlā. Daļiņa nāk no Latgales, un tās kustības laiks ir 8015 gadi. Daļiņas Nr. 800 xy projekcija ir izliekta līnija. Sākumā daļiņa virzās uz ziemeļiem, un vēlāk tās trajektorija iet zem Iecavas upes sateces apgabala. No daļiņas lz projekcijas var secināt, ka tās sākuma posmā tā relatīvi ātri sasniedz D2brt ūdens horizontu, divreiz šķērso D2brtz sprostslāni un augšupejošās plūsmas ietekmē sasniedz Iecavas upi tās ietekas rajonā.

Lai izprastu negaidīto skaitliskā eksperimenta rezultātu, ir nepieciešami papildu pētījumi (kā daļiņu trajektorijas ietekmē to sākuma novietojums attiecībā pret režģa šūnas augšu un apakšu, kas notiks, ja šūnā ievietosim daļiņu kopu, u. c.). Turpināsim izmantot LAMO4 kā instrumentu dabas procesu izziņai. Kā liecina lietuviešu kolēģu pieredze (Mokrik, 2014), ar reģionālu hidroģeoloģisko modeli GV sistēmas vidē var iegūt nozīmīgus rezultātus ģeoķīmisko procesu pētīšanā.

6. att. Daļiņas Nr. 800 kustības trajektorijas xy projekcija



7. att. Daļiņas Nr. 800 trajektorijas *lz* projekcija; *lz* projekcija ir ūdens daļiņas kustība gar tās trajektorijas vertikālo griezumu

Literatūra

Environmental Simulations, Inc. 2011. *Groundwater Vistas. Version 6, Guide to using*, 2011.

Harbaugh, W., 2005. *MODFLOW-2005, U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model: the ground-water flow process*, chap 16, book 6, US Geological Survey Techniques and Methods 6-A16, USGS, Reston, VA.

Mokrik, R., V. Juodkakis, A. Stuopis, and J. Mazeika, 2014. Isotope geochemistry and modelling of the multi-aquifer system in the eastern part of Lithuania. In *Hydrogeology journal*, Vol. 22, 2014, pp. 925–941.

Pollock, D. W., 2012. *User Guide for MODPATH Version 6–A Particle-Tracking Model for MODFLOW*, 2012 [Online].

Spalviņš A., 2015, Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa LAM0 pilnveidošanas starprezultāti, Pārskats li-gumam 2014/15 starp LVĢMC un RTU, Rīga, 2015. g. novembris. Pieejams: <http://www.emc.rtu.lv/>

Zheng, C., 1999. MT3D99 A modular three dimensional transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems. USEPA report, USEPA, Washington, DC.

LAUKA INFILTRĀCIJAS TESTU AUTOMATIZĒŠANA

Jānis BIKŠE, Konrāds POPOVS, Aija DĒLINA, Andis KALVĀNS

LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte

E-pasts: Janis.Bikse@lu.lv

Infiltrācijas mērījumi lauka apstākļos ir nozīmīgs informācijas avots, pēc kā var novērtēt gan ūdens infiltrācijas ātrumu, gan arī aprēķināt filtrācijas koeficientu ģeoloģiskajai videi *in situ* apstākļos. Šāda veida eksperimenti tiek lietoti ļoti plaši gan lauksaimniecības, gan urbanizētas vides problēmu risināšanā. Parasti infiltrācijas eksperimentu rezultāti tiek iegūti, tos manuāli nolasot, ko veic iekārtas operators, bet šāda pieeja pieļauj potenciālu kļūdas iespējamību, ko var radīt gan operatora iespējas nolasīt precīzu mērījumu, gan operatora pieļauta rupja kļūda, kā arī šāda pieeja neļauj operatoram vienlaicīgi strādāt ar vairākām iekārtām.

Šajā pētījumā tiek prezentēts veids, kā iespējams automatizēt lauka infiltrācijas testu veikšanu dubultā gredzena infiltrācijas testa metodei ar krītošu ūdens līmeņa metodi, izmantojot pētījuma ietvaros uzbūvētu automātisku līmeņa mērīšanas, apstrādes un datu saglabāšanas sistēmu. Uzbūvētā iekārta tiek testēta lauka apstākļos astoņos skatrakumos, kas atrodas divos poligonos, kuri pārstāv divu augšdevona svītu smilšakmens nogulumus – Gaujas un Amatas. Katrā skatrakumā veikti divi eksperimenti – homogēnā smilšakmens virsmā un smilšakmens virsmā ar plaisu. Katrā skatrakumā paņemts smilšakmens paraugs, kam veikta granulometriskā sastāva analīze un efektīvā graudu izmēra noteikšana.

Pētījums pierāda izstrādātās automatizētās sistēmas lietderību dubultā gredzena infiltrācijas testu veikšanā ar krītoša ūdens līmeņa metodi. Ar iekārtu iegūtie rezultāti ļauj novērot infiltrācijas atšķirības starp Gaujas un Amatas svītu smilšakmens nogulumiem, un rezultāti liecina par ūdens ātrāku infiltrācijas ātrumu smilšakmens nogulumos, kuros pārstāvētas plaisas salīdzinājumā ar infiltrācijas ātrumu homogēna smilšakmens nogulumos. Vislielākā plaisu ietekme uz infiltrācijas ātrumu novērota Amatas svītas smilšakmens nogulumos, kuros plaisas klātbūtne var paaugstināt infiltrācijas ātrumu vairāk nekā divas reizes. Pēc granulometrisko analīžu rezultātiem noteiktais graudu efektīvais diametrs d_{10} korelē ar iegūtajām infiltrācijas ātruma vērtībām ($R^2 = 0,8605$), norādot uz granulometriskā sastāva smalkās frakcijas lielu ietekmi uz infiltrācijas īpašībām.

Ievads

Pētījuma darba mērķis ir izstrādāt dubultā gredzena infiltrācijas testa iekārtas, lai veiktu automatizētu sistēmu mērījumus un pārbaudītu iekārtas lietderību, istenojot lauka eksperimentus.

Dubultā gredzena lauka infiltrācijas mērījumu veikšana ir izplatīta lauksaimniecības nozarē (Chen un Wuing, 2002; Thanos u. c., 2015; Gregory u. c., 2005), lai noteiktu grunts filtrācijas īpašības. Tests tiek lietots arī urbanizētās vidēs, lai noteiktu grunts kompresijas un grunts tehnogēnā sastāva ietekmi uz lietus ūdens infiltrāciju (Gregory u. c. 2006; Kumar u. c., 2016), kā arī plānotu lietus ūdens infiltrācijas baseinu novietojumu (Bean un Dukes, 2015).

Dubultā gredzena infiltrācijas testa mērījumus parasti nolasa manuāli, un tas prasa nepārtrauktu iekārtas operatora uzmanību un līdz ar to pieļauj operatora kļūdas iespējamību. Testa automatizēšana šāda veida kļūdas var samazināt, tāpēc pēdējā laikā parādās mēģinājumu metodi automatizēt (Arriaga u. c., 2010; Fatehnia u. c., 2016).

Pētījuma ietvaros ir izgatavots dubultā gredzena infiltrometrs un automatizēta sistēma ūdens līmeņa mērījumu veikšanai un ierakstīšanai, kā arī veikti pirmie lauka eksperimenti ar uzbūvētajām iekārtām.

Pētījums parāda automatizētās mērījumu iekārtas lietderīgumu infiltrācijas testu veikšanā, apstiprina iekārtas piemērotību infiltrācijas atšķirību noteikšanai starp dažāda granulometriskā sastāva smilšakmens nogulumiem, kā arī tās spēju noteikt infiltrācijas izmaiņas, ko rada smilšakmeni pārstāvēta plaša.

Materiāli un metodes

Pētījuma ietvaros tika izgatavota dubultā gredzena infiltrācijas iekārta, kā arī šai iekārtai pielāgota automatizēta mērījumu veikšanas sistēma. Pēc iekārtas izstrādāšanas tā pārbaudīta lauka apstākļos skatrakumos atsegtā gruntī.

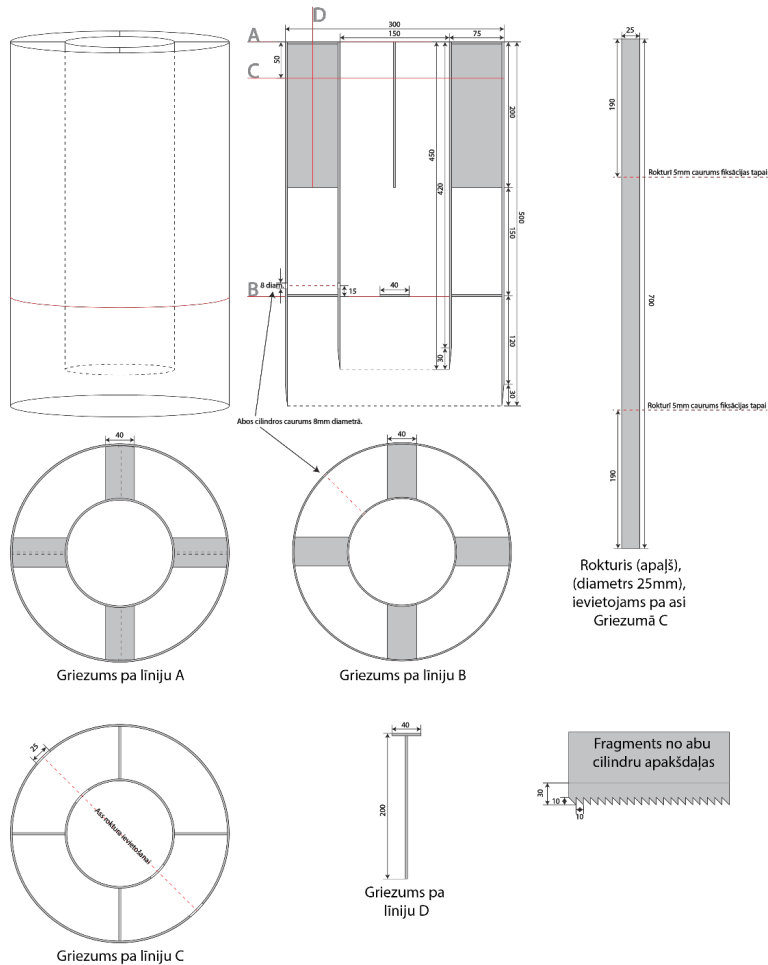
Dubultā gredzena infiltrācijas tests

Dubultā gredzena infiltrācijas tests sastāv no diviem cilindriem, kas ievietoti viens iekš otra, tie ievietoti gruntī dažu centimetru dziļumā, un tajos tiek ieliets ūdens tā, lai abos gredzenos būtu vienāds līmenis. Mērījumi tiek veikti tikai iekšējā cilindrā, jo ārējais cilindrs kalpo kā buferis, kas liedz iekšējā cilindra ūdenim filtrēties uz sāniem, tādējādi nodrošinot pēc iespējas vertikālu plūsmu.

Dubultā gredzena infiltrācijas testam ir divi veidi: krītoša ūdens līmeņa tests un konstanta ūdens līmeņa tests. Abos gadījumos nepieciešams nodrošināt grunts pilnīgu ūdens piesātinājumu, jo tikai tādējādi iespējams noteikt kvazistacionāro infiltrācijas ātrumu. Krītoša ūdens līmeņa tests paredz uzpildīt gan iekšējo, gan ārējo gredzenu ar ūdeni vienādā līmenī, kas parasti ir no 5 līdz 20 cm (Arriaga u. c., 2010), tad seko iekšējā cilindra līmeņa nolasījumi ik pēc noteikta laika. Ja ūdens līmenis ārējā cilindrā nokrītas ātrāk par iekšējo, tad nepieciešams to uzpildīt līdz iekšējā cilindra līmenim, lai ūdens spiediens uz paguļošo grunti būtu vienāds. Konstanta ūdens līmeņa testa izpildē nepieciešams nodrošināt nepārtraukti vienādu līmeni gan iekšējā, gan ārējā cilindrā, tos papildinot ar ūdeni, ko parasti nodrošina ar Mariottes tipa trauku (Gregory u. c., 2005). Testā tiek veikti pieplūstošā ūdens daudzuma mērījumi laika vienībā.

Dubultā gredzena infiltrācijas iekārta

Dubultā gredzena infiltrācijas iekārta izgatavota no 3 mm bieza nerūsējošā tērauda, balstoties uz standarta ASTM D3385-09 (ASTM D3385, 2009) norādījumiem, izņemot to, ka iekšējais un ārējais diametrs gredzeniem tika izgatavots attiecīgi 15 cm un 30 cm diametrā, pretstatā standartā norādītajiem izmēriem, kas ir 30 cm iekšējam diametram un 60 cm ārējam diametram, jo tika paredzēta iekārtas izmantošanas grunts heterogenitātes noteikšanai plaisu ietekmē. Iekārta pielāgota sekmīgākai tās iespiešanai gruntī – tās apakšējā daļā izveidoti zāgveida zobīņi, kas ļauj gredzenu iegriezt arī sacementētā gruntī. Abos gredzenos vienā malā izveidots 8 mm liels caurums, kas paredzēts spiediena sensora pievienošanai. Iekārtas stiprību palielina iemetinātas stingrības ribas, kā arī ērtākai darbībai tā aprīkota ar noņemamu rokturi (1. attēls).



1. att. Dubultā gredzena infiltrācijas iekārtas uzbūves shēma

Automatizācijas sistēma dubultā infiltrācijas gredzena metodei

Automatizācijas nolūkos tika izgatavota sistēma, kas automātiski reģistrē ūdens līmeni dubultā gredzena iekšējā cilindrā, attēlo mērījumu ekrānā, kā arī saglabā zibatmiņā mērījumus, mērījumu datumu, laiku un eksperimenta numuru ar konkrētu laika intervālu.

Ūdens līmeņa mērījumu veikšanai izmantots “Honeywell” kompānijas “TruStability®” sērijas spiediena sensors HSCDNAN001PG, kura mērījumu diapazons ir 0–1 psi jeb 0–70,4 cm ūdens staba augstums un kura precizitāte ir 0,25% no nolasiņuma (Honeywell, 2014). Datu ievadei, apstrādei un saglabāšanai izmantots “Raspberry Pi Foundation” izstrādātais vienplates dators *Raspberry Pi*, kas ir bāzēts uz *Linux* operētājsistēmas. Aktuālo datumu un laiku nodrošina “Maxim Integrated” reālā laika modulis DS1307, bet datu attēlošanai izmantots “Hitachi” šķidro kristālu displejs HD44780. Papildus izmantots strāvas pārveidotājs, lai iekārtu varētu ilglaicīgi darbināt ar augstu ampērstundu ietilpības 12 voltu svina skābes akumulatoru.

Pēc vadības bloka izstrādes tika veikta iekārtas kalibrācija laboratorijas apstākļos, lai tās kodā ievietotu spiediena pārrēķinu tā, lai iekārta gan parādītu ekrānā ūdens staba augstumu centimetros, gan ierakstītu to zibatmiņā. Kalibrācijas līkne, izmantojot 10 kalibrācijas punktus starp laboratorijā uzstādīto ūdens līmeni un iekārtas nolasīto līmeni, sasniedza Pīrsona korelāciju vērtību $R^2 = 0,9998$.

Iekārtas izmēģinājuma poligoni

Pētījuma ietvaros uzbūvētā iekārta tika izmēģināta lauka apstākļos divos poligonos: Lodes māla karjerā augšdevona Gaujas svītas (D_{3gj}) smilšakmens nogulumos, kas atrodas Triekātas pacēluma dienvidrietumu malā, kā arī Mazās ellītes apkārtnē, Liepas paliksnī augšdevona Amatas svītas (D_{3am}) smilšakmens nogulumos. Abos poligonos tika izveidoti četri skatrakumi, lai smilšakmens nogulumi būtu pieejami izpētei bez augu sakņu un dzīvnieku bioturbācijas ietekmes. Katrā skatrakumā tika veikti lauka infiltrācijas mērījumi ar izstrādāto dubultā gredzena infiltrometru un automatizēto sistēmu uz netraucētas smilšakmens virsmas, kā arī uz vizuāli identificējamās plaisas smilšakmeni. Šāds eksperimenta raksturs tika izvēlēts, lai pārbaudītu, vai ir iespējams ar izstrādāto iekārtu noteikt infiltrācijas īpašību atšķirības starp divu svītu smilšakmeņiem, gan starp homogēnu smilšakmeni un smilšakmeni ar vizuāli novērojamu plaisu. Papildus katrā skatrakumā tika paņemti smilšakmens paraugi granulometrisko analīžu veikšanai no homogēnas smilšakmens daļas, un analīze tika veikta Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes iežu laboratorijā ar iekārtu *Retsch AS 200*. Pēc granulometriskā sastāva rezultātiem katram paraugam tika noteikts efektīvais graudu diametrs d_{10} atbilstoši *Todd* un *Mays* (2005) norādītajai metodikai.

Rezultāti un diskusija

Lauka darbos tika iegūti piesātinātas grunts infiltrācijas mērījumi divos dažādos poligonos, kopā astoņos skatrakumos, katrā skatrakumā divos dažādos apstākļos – uz homogēna smilšakmens un uz vizuāli identificējamās plaisas. Katram mērījumam tika veikti vismaz pieci atkārtojumi, līdz grunts piesātinājums sasniedza maksimumu un infiltrācijas ātrums kļuva laikā nemainīgs. Par ticamo rezultātu tiek uzskatīts katrā mērījumu sērijā pēdējais veiktais eksperiments.

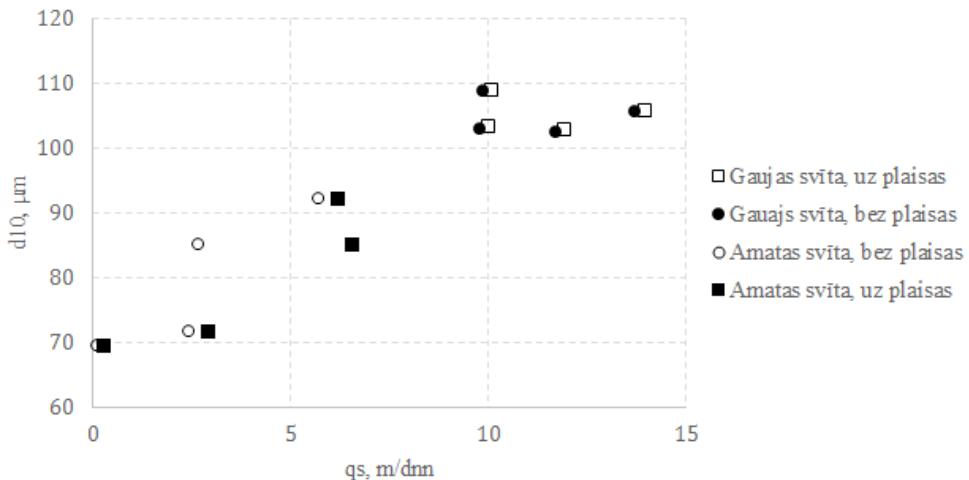
Katrā skatrakumā atsegtajam smilšakmenim tika veikta granulometriskā sastāva analīzes un efektīvā graudu diametra d_{10} noteikšana. Kvazistacionāras infiltrācijas (q_s) rezultāti apkopoti 1. tabulā, kur skatrakumu vietas no 1001 līdz 1004 apzīmē Gaujas svītas smilšakmens skatrakumus, bet 3001–3004 apzīmē Amatas svītas smilšakmens skatrakumus.

1. tabula

Infiltrācijas rezultāti

Skatrakuma vieta	q_s , m/dnn		q_s uz plaisas/bez plaisas koeficientu attiecība
	bez plaisas	uz plaisas	
1001	11,71	11,97	1,02
1002	9,85	10,10	1,03
1003	13,70	14,02	1,02
1004	9,77	10,04	1,03
3001	2,68	6,56	2,45
3002	5,73	6,20	1,08
3003	0,12	0,30	2,49
3004	2,45	2,95	1,20

Pēc rezultātiem redzams, ka visos skatrakumos infiltrācijas ātrums uz plaisām vienmēr ir lielāks nekā homogēnā, plaisu nesaturošā smilšakmenī. Šī atšķirība visizteiktākā ir Amatas svītas smilšakmens skatrakumos, kuros infiltrācijas ātrums uz plaisām skatrakumos 3001 un 3003 ir vairāk nekā divas reizes lielāks nekā homogēnā smilšakmenī (1. tabula), savukārt Gaujas svītas smilšakmens skatrakumos šī atšķirība ir mazāk izteikta – infiltrācijas mērījumu vērtības uz plaisām ir vidēji 1,02 līdz 1,03 reizes lielākas nekā homogēnā smilšakmenī. Gaujas smilšakmens piesātinātas grunts kvazistacionārās infiltrācijas (q_s) vidējā vērtība ir 11,4 m/dnn, bet Amatas svītas smilšakmenim šī vērtība ir 3,38 m/dnn.



2. att. Efektīvā graudu diametra d_{10} atkarība no infiltrācijas ātruma

Salīdzinot infiltrācijas testu rezultātus ar efektīvo graudu diametru (2. attēls), redzama korelācija ($R^2 = 0,8605$ visai datu kopai), kas atbilst literatūrā norādītajam – jo mazāks ir efektīvais graudu diametrs (d_{10}), jo sliktākas ir terīgēnā ieža filtrācijas īpašības (Todd and Mays, 2005).

Secinājumi

Pētījums prezentē pieeju, kā automatizēt lauka infiltrācijas mērījumus, kā arī pierāda automatizēta infiltrācijas eksperimenta sistēmas lietderību infiltrācijas datu iegūšanai ar dubultā gredzena infiltrācijas metodi, samazinot operatora iesaistīšanu mērījumu veikšanā un tādējādi samazinot kļūdas iespējamību. Iegūtie rezultāti liecina par izstrādātās iekārtas spēju identificēt atšķirības starp divu dažāda granulometriskā sastāva smilšakmens infiltrācijas īpašībām. Pētījumā tika iegūti dati, kas apstiprina efektīvā graudu diametra (d_{10}) korelāciju ar iežu filtrācijas īpašībām, bet neizskaidro tās pilnībā, norādot uz citu faktoru ietekmi. Izstrādātā iekārta pierāda iespēju noteikt filtrācijas īpašību atšķirības starp homogēnu smilšakmeni un smilšakmeni ar vizuāli novērojamām plaisām, pēdējam novērojot paaugstinātas infiltrācijas vērtības.

Literatūra

Arriaga, F. J., Kornecki, T. S., Balkcom, K. S., & Raper, R. L., 2010. A method for automating data collection from a double-ring infiltrometer under falling head conditions. *Soil Use and Management*, 26(1), 61–67.

ASTM D3385, 2009. Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer. *ASTM International*.

Bean, E. and Dukes, M., 2015. Evaluation of Infiltration Basin Performance on Coarse Soils. *J. Hydrol. Eng.*, 21(1).

Chen, S., & Wuing, C., 2002. Analysis of water movement in paddy rice fields (I) experimental studies, *Journal of Hydrology*, 260(1-4), pp. 206–215.

Fatehnia, M., Paran, S., Kish, S., & Taw, K., 2016. Automating double ring infiltrometer with an Arduino microcontroller, *Geoderma*, 262, pp. 133–139.

Gregory, J. H., Dukes, M. D., Jones, P. H., Miller, G. L., 2006. Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *Journal of Soil and Water Conservation*, 61(3), pp. 117–124.

Gregory, J. H., Graduate, F., & Michael, D., 2005. Analysis of Double-Ring Infiltration Techniques and Development of a Simple Automatic Water Delivery System, *Applied Turfgrass Science*, 2(1).

Honeywell, 2014. TruStability® Board Mount Pressure Sensors. Pieejams: http://www.honeywellscportal.com//index.php?ci_id=151133 [aplūkots 09.01.2016.].

Kumar, K., Kozak, J., Hundal, L., Cox, A., Zhang, H., & Granato, T., 2016. In-situ infiltration performance of different permeable pavements in a employee used parking lot – A four year study. *Journal of Environmental Management*, 167(8–14).

Thanos, A., Papanicolaou, N., Elhakeem, M., Wilson, C. G., Burras, C. L., West, L. T., ONeal, B. E., 2015. Spatial variability of saturated hydraulic conductivity at the hillslope scale: Understanding the role of land management and erosional effect. *Geoderma*, 243–244, pp. 58–68.

Todd, D. K., and Mays, L.W., 2005. Groundwater hydrology (Third Edition), Wiley.

INVESTIGATION OF SURFACE WATER-GROUNDWATER INTERACTIONS IN THE SALACA HEADWATERS USING WATER STABLE ISOTOPES

Alise BABRE, Andis KALVĀNS, Aija DĒLIŅA, Konrāds POPOVS, Jānis BIKŠE

LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte
Email: Alise.Babre@lu.lv

Introduction

The ratios of the stable isotopes in the water ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^2\text{H}/^1\text{H}$) routinely presented as the delta value ($\delta^{18}\text{O}$ and δD) are a natural conservative tracer of the hydrological cycle with the exception when condensation of water vapour or evaporation from open water surface takes place (Mook, 2001). Terrestrial part of the hydrological cycle is dominated by the precipitation water input that is channelled back to the world ocean as surface and groundwater runoff if not returned to the atmosphere by evapotranspiration. Precipitation water has a characteristic isotopic composition controlled by the air temperature, the source of the water vapour and distance for the vapour transport. Around the world the isotopic composition of the precipitation water can be described by the global meteoric water line (Craig, 1961), that is found to be valid in the Baltic region as well (Baber *et al.*, in print). The precipitation water has a strong seasonality with more depleted values during the winter and more enriched values during the summer (IAEA/WMO, 2014). During evaporation remaining liquid water is enriched in heavy isotopes and values of the $\delta^{18}\text{O}$ and δD are shifted away from the meteoric water line. In contrast, due to unidirectional transport of the water transpiration from plants and evaporation from soil surface do not change noticeably the isotopic composition of the remaining soil water.

The aim of this research is to characterise the isotopic values of different water types in the Salaca River basin and test if their contribution can be identified in the Salaca river runoff. A monthly monitoring programme is initiated to observe the primary inputs postulated to be precipitation water and discharge from the Lake Burtnieks and compare their isotopic signature to the water sampled from Rivers Salaca and groundwater discharging into it. Here the first results are reported.

Study area

The study region is the drainage basin of the Salaca River between its source from Lake Burtnieks and bridge near Viķi in northern Latvia (Figure 1). The discharge of the Salaca River in the study region is dominated by the Lake Burtnieks that given its large surface area (40.06 km²; Apsīte *et al.*, 2012) has a moderating effect on the discharge fluctuations. The total drainage area of the lake is 2215 km²; while the rest of the drainage area in the study region is 684 km². The largest tributaries of the Salaca in the studied section are Ramata and Iģe.

Lake Burtnieks is a shallow lake located at the North-Eastern part of Latvia. It is a flow lake: the water turnover time is 6 to 7 times a year, 2–3 weeks during the spring and 3

month during the summer (Apsite *et al.*, 2012). The lake surface area is 40 km². Long term mean water level of the Lake Burtnieks is 40.07 m a.s.l. The agricultural lands in the studied catchment cover 30 to 40%, bogs are 10% and forests are around 50% (Apsite *et al.*, 2012).

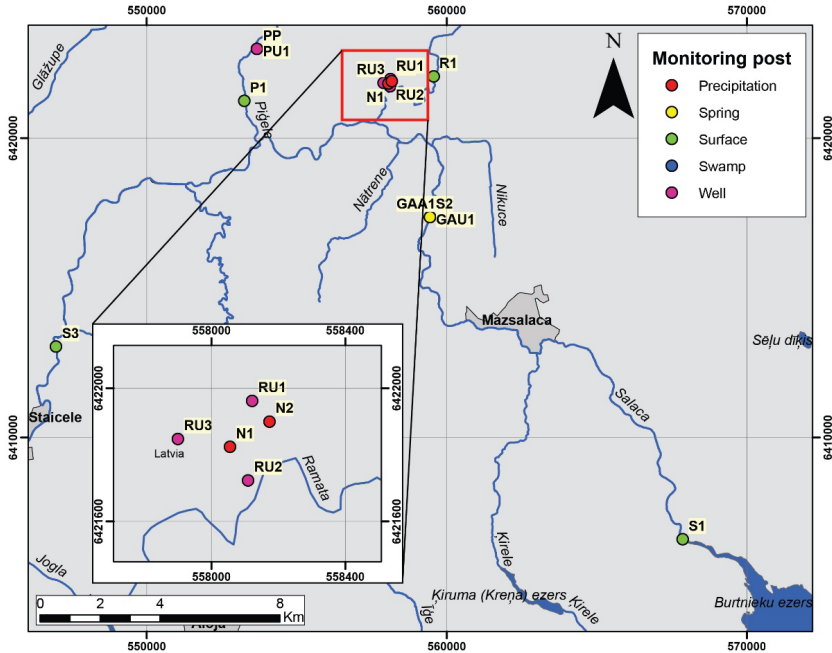


Fig. 1. Study area and sampling points

Glacial deposits of the Pleistocene glaciations form upper part of the geological section within study area. The thickness varies from few meters up to 40 meters in elevated territories (kartes.geo.lu, 2015). The predominantly plain terrain is dominated by glacial (*gQ3*), glaciolimnic (*lgQ3*), glaciofluvial (*fQ3*), and peat deposits (*bQ4*) and numerous raised bogs are found. Water abstraction wells usually are installed in aquifers formed by the terrigenous Burtnieks and Arukila formations underlying the Quaternary deposits in the study region. The undulating plain is intersected with the valley of the Salaca river cutting Quaternary and Devonian deposits.

Materials and Methods

A monthly groundwater and surface water stable isotope monitoring programme was initiated on August 2015. The programme is designed to cover most of the important surface and groundwater types in the study region (Table 1):

1. Groundwater and surface water in the raised bogs: a weighted mean of the precipitation water to some extent modified by the evaporation from open surface (PP, P1 and PU1).
2. Free-surface groundwater in sandy soils that might be biased towards the recharge of the depleted autumn-winter precipitation (GAA1).

3. Free-surface groundwater in loam (till) soils, including artificially drained agricultural lands that is likely to be closer to the weighted mean of the yearly precipitation in comparison to the groundwater in the sandy soils (RU1, RU2 and RU3).
4. Water emerging from the Lake Burtnieks that is fed by a mix of groundwater and precipitation water and seasonally modified by the evaporation from free surface (S1).
5. Burtnieks and Arukila confined aquifers: an integral value controlled by the local recharge conditions, likely more closely related to the *sandy-soil groundwater* (GAU1).

Monitoring Water samples were collected in 25 ml HDPE double-cap bottles and stored refrigerated until analysis. Delta oxygen-18 and delta deuterium were measured in all samples. Analysis was performed in Environment Dating Laboratory at the University of Latvia on Picarro laser cavity ring down spectrometer. Each sample was measured five times, but to prevent memory effect from previous sample, only average of the last 3 measurements were used to calculate mean value. Standards were placed between every 3 samples as well at the beginning and at the end of each set of measurements. The repetitiveness of particular data set is $\pm 0.07\text{‰}$ for $\delta^{18}\text{O}$ and $\pm 0.5\text{‰}$ for $\delta^2\text{H}$ respectively, however it is suggested to use result error $\pm 0.2\text{‰}$ for $\delta^{18}\text{O}$ and $\pm 1\text{‰}$ for $\delta^2\text{H}$ (Clark & Fritz, 1997). All samples were measured against internal laboratory standard calibrated against international standard i.e., VSMOW (Vienna standard mean ocean water), accordingly results can be compared internationally (IAEA, 2006).

Results and Discussion

During five month observation period 57 monthly samples were collected from 15 sampling points. Due to unusually low groundwater level in case of shallow wells near Ramata (RU1, RU2 and RU3) or technical problems in case of precipitation traps some sampling points have discontinuous observations. During the first sampling campaign it was conducted that two sampling points for river Salaca is insufficient, which explain missing SV3 sample during September 2015.

The slope of precipitation line at Ramata station is 7.41, that is similar to long term Riga meteoric water line (RMWL) with slope of 7.45 (IAEA, 2006). Evaporation probably didn't affect the results as all precipitation samples fit on calculated line with correlation factor 0.99

Isotope values of surface samples are spread within a wider range if compared to precipitation (Figure 2) even though correlation between surface samples is significant i.e., 0.89. Observed values in rivers form essentially different regression slope 3.9. Such shift can be explained by evaporation of river or the source of river. In case of rivers Ramata and Pigele impact of raised bog discharge can be the case. In case of river Salaca evaporation comes from lake Burtnieks. It is found that downstream from the Salaca source (SV1 observation point) the evaporation signal is diluted by admixture of more depleted water (Figure 4a, 4b).

Govs spring (GAA1) show constant values in time i.e., range is 0.1‰ for $\delta^{18}\text{O}$ and 0.2‰ for δD , even narrower than receptiveness of measurements. Observed temperature and electric conductivity as well are constant indicating long term recharge. Isotope values of Govs spring plot on precipitation line, therefore we suggest direct meteoric recharge for Govsala spring.

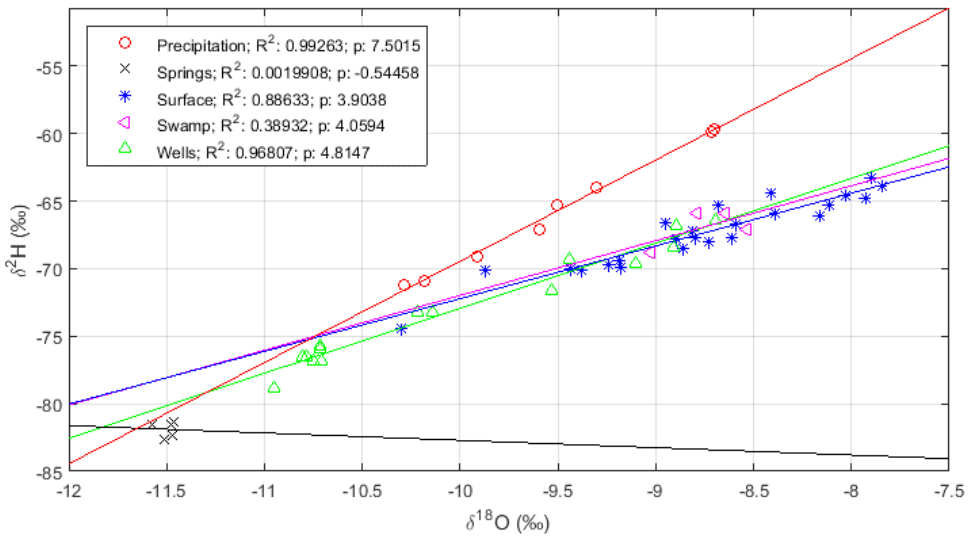


Fig. 2. $\delta^{18}\text{O}$ and δD values by sampling groups

Wells show similar regression slope as surface water samples with a slight shift toward precipitation values i.e., slope is 4.8. Wells are within the widest range of isotope values compared to other groups and show more depleted values than surface samples. The most depleted well samples represent samples from shallow Govsala (GAU1) well in the Burtnieks formation.

The evaporation signal also appear in samples from raised bog (PP, PU1) (Figure 2) Bog samples change insignificantly during last months (Figure 3) and has somewhat similar character of time series to river Pigele (PV1). River Pigele is an outflow from Saklauru raised bog therefore similar results were predictable.

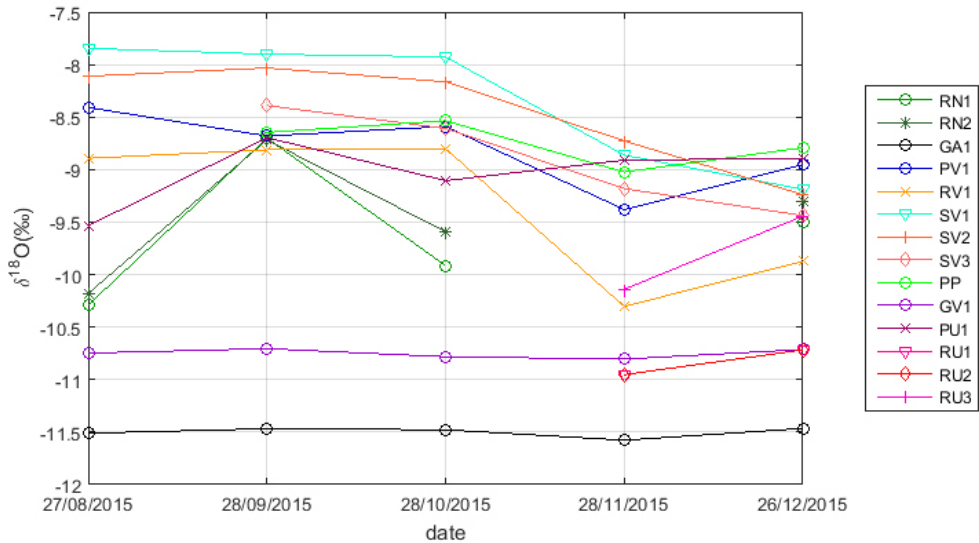


Fig. 3. Five month time series of $\delta^{18}\text{O}$ ‰ at all sampling points

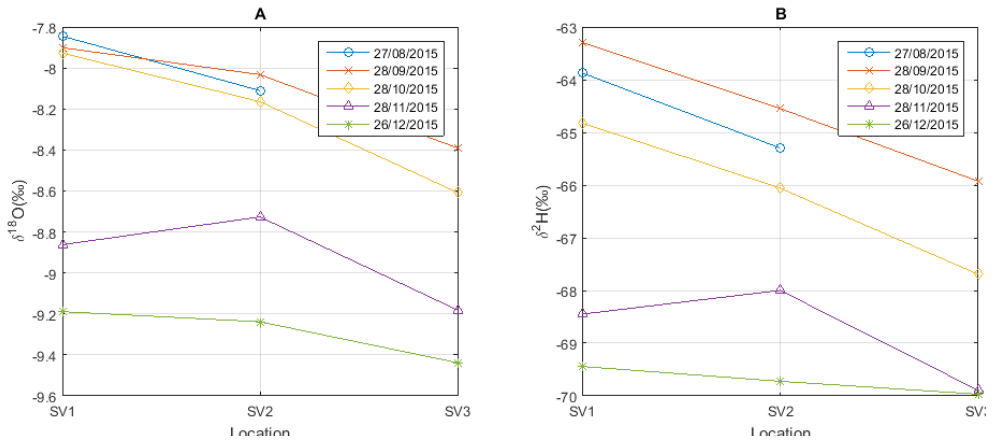


Fig. 4. A – change of $\delta^{18}\text{O}$ along the flow path of river Salaca; B – change of δD along the flow path of river Salaca

Difference between the spring and well at Govsala station (GAA1 and GAU1) is almost ‰ for $\delta^{18}\text{O}$ and ‰ for δD , although both the well and the spring show constant values during the observation period. The isotopic signal, as well as different electrical conductivity (518 and 118 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectively) clearly points to different groundwater sources. Probably the Govsala spring (GAA1) emerging from Devonian sandstones represent locally recharge unconfined groundwater. The Govsala well (GAU1) on the other hand more likely represent the regionally recharged confined groundwater.

Every subsequent month river Salaca depict more depleted isotope values. Significant change in values between October and November correspond to the end of the dry period in November and air temperature drop limiting the evaporation. Nevertheless, all months depict depletion of stable isotope values between Salaca observation points along the flow path.

Conclusions

During this study stable isotopes are found to be a useful tool to identify distinct water components and their evolution, although longer observation period is needed to draw robust conclusions.

We have found that:

1. Spring Govsala show stable isotopic values, temperature and electric conductivity during the observation period, therefore it portray stable local recharge conditions with water source distinct from that found just few meters deeper in the Burtnieki aquifer.
2. The water emerging from Lake Burtnieks at the source of River Salaca at late summer and autumn has a strong evaporation signal, which is gradually diluted downstream.
3. Precipitation trend of Ramata observation station show equal slope as observed in Riga weather station 7.41 and 7.45 respectively.

Appendix 1

Table 1

Description and mean measured, calculated values at sampling sites

ID	Type	Description	Mean $\delta^{18}\text{O}$ ‰	Mean δD ‰
S1		at the source from Lake Burtnieks	-8.35	-65.98
S2	Salaca river	18.5 km downstream from source	-8.45	-66.72
S3		43 km downstream from source	-8.90	-68.37
R1		A tributary to the Salaca river	-9.34	-69.44
PP	Small river	A tributary to the Salaca river draining a Saklauru Raised Bog sampled within the bog	-8.75	-66.89
P1		A tributary to the Salaca river draining a Saklauru Raised Bog sampled outside the bog	-8.80	-66.60
GAU1	Shallow well	Confined water from sandy interbeds in the clay pack of the Burtnieks aquifer	-10.75	-76.52
RU1		A free surface groundwater in loam soil of agricultural land	-10.22	-73.18
RU2	Shallow well	A free surface groundwater in loam soil of agricultural land	-10.84	-77.26
RU3	Artificial drainage	A free surface groundwater in loam soil of agricultural land emerging from drainage pipe	-9.79	-71.26
PU1	Shallow well	Free surface groundwater in a raised bog near Pigele River (PP and P1), emerging from Saklauru Raised Bog	-9.03	-68.57
GAA1	Natural spring	Free surface groundwater emerging from Burtnieks aquifer	-11.50	-81.89
N1		Precipitation water collected in soil-surface trap near Ramata	-9.60	-66.31
N2	Precipitation		-9.45	-65.46

References

1. Apsite, E., Zīvertis, A., & Bakute, A. 2008. Application of Conceptual Rainfall-Runoff Model METQ for Simulation of Daily Runoff and Water Level: The case of the Lake Burtnieks Watershed. Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences, 62(1-2), 47–54. doi:10.2478/v10046-008-0002-5.
2. Apsite, E., Kriķītis, M., Latkovska, I., & Zubaničs, A. 2012. Long-Term Changes in Hydrological Regime of the Lakes Usma, Burtnieks and Rāzna. Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences, 66(6), 261–270. doi:10.2478/v10046-012-0019-7.
3. Clark, I. D., Fritz, P., 1997. Environmental isotopes in hydrogeology, CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
4. Craig, H., 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science* 133: 1702–3. doi: 10.1126/science.133.3465.1702.
5. IAEA/WMO, 2014. Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. RIGA (2642200, Latvia, 56°58'12" / 24°4'12" / 3 m).
6. Mook, W. G., 2001. Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle Vol. 1: Introduction. Theory, methods, review. Atoms for Peace and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
7. Zīvertis, A., & Apsite, E. 1999. Simulation of daily runoff and water level for the Lake Burtnieks. In Y. Merkurjev, R. Zobel, & E. Kerckhoffs (Eds.), Proceedings 19th European Conference on Modelling and Simulation (p. 5). ECMS
8. Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre. Available: http://meteo.lv/lapas/noverojumi/hidrologija/hidrologija_ievads?id=1130&nid=463 [cited: 02.01.2015].
9. WMS map server. Available: kartes.geo.lu.lv/wms.html [cited: 02.01.2015].

Zemes dziļu un derīgo izrakteņu pētījumi

DEVONA PĻAVIŅU SVĪTAS KARBONĀTIEŽI UN TO VEIDOŠANĀS APSTĀKĻI ZIEMEĻLATVIJĀ UN IGAUNIJAS DIENVIDOS

Edgars Klievēns, Ģirts Stinkulis

Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte

E-pasts: edgars.klievens@lu.lv; girts.stinkulis@lu.lv

Ievads

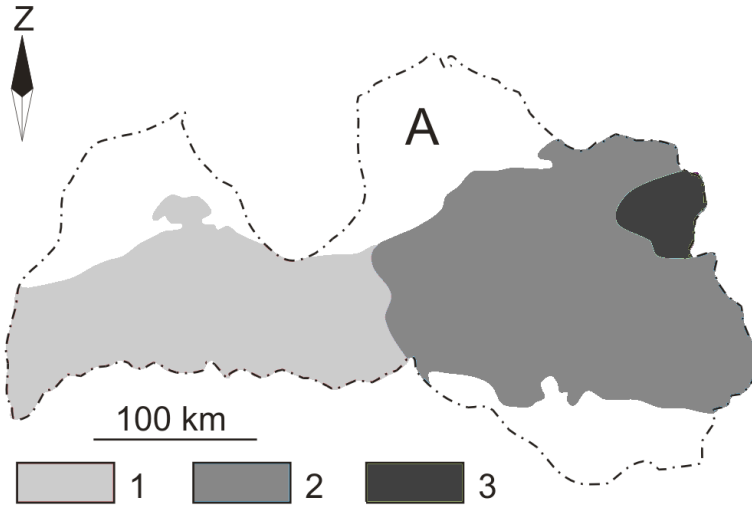
Augšējā devona Franas stāva karbonātieži Latvijā ir plaši izplatīti un atsegti (1. attēls), tos izmanto kā derīgos izrakteņus. Latvijā sastopamo Franas stāva dolomītu kvalitāti ietekmē to kavernoiztāte, plātņainība, māla piejaukums un citas īpatnības (Stinkule, Stinkulis, 2015). Šo pazīmju izmaiņu likumsakarības ģeoloģiskajā griezumā un dolomītu izplatības laukumā var noskaidrot ar sedimentoloģisku pētījumu un cikliskuma analīzes palīdzību. Diemžēl detalizēti devona karbonātiežu tekstūru un struktūru pētījumi ir apgrūtināti, jo iežu dolomitizācijas pakāpe senā Baltijas paleobaseina ietvaros palielinās virzienā uz dienvidrietumiem (Гравитис, 1967; Сорокин, 1978; Lukševičs *et al.*, 2012) un ievērojami lielākā daļa Latvijā sastopamo devona karbonātiežu ir dolomīti.

Šī pētījuma mērķis ir noskaidrot augšējā devona Franas stāva Pļaviņu svītas dolomītu veidošanās apstākļus un to izmaiņas laikā Latvijas ziemeļu un Igaunijas dienvidu daļā, pamatojoties uz šo iežu uzbūves un sastāva pētījumiem.

Dolomitizācijas rezultātā ir būtiski samazinājusies sākotnējo struktūru un tekstūru atpazīstamība (Stinkulis, 1998). Tādēļ dolomītu uzbūves, sastāva un cikliskuma pētījumiem ir jābūt vienlaikus detalizētiem un plašiem, lai būtu iespējas novērtēt iežu īpašību izmaiņas ģeoloģiskā griezumā un nogulumu izplatības laukumā.

Mērķa izpildei ir izvirzīti šādi uzdevumi:

- veikt Pļaviņu svītas karbonātiežu sastāva, tekstūru, struktūru un organismu atlieku pētījumus dolomītu griezumos dažādās vietās pētījumu teritorijā;
- raksturot šo iežu īpašību mainību ģeoloģiskajā griezumā un izplatības laukumā;
- salīdzināt iegūtos rezultātus ar seklūdens baseinu karbonātu sedimentoloģisko pētījumu un fāciju analīzes datiem citur pasaulē;
- sniegt Pļaviņu svītas karbonātiežu sedimentācijas apstākļu un to izmaiņu raksturojumu laikā un telpā.



1. att. Devona Pļaviņu svītas nogulumiežu izplatības laukums un karbonātiņu izplatības zonas, kas nodalītas pēc dominējošajiem iežu tipiem

(Stinkule, Stinkulis, 2015; pēc V. Sorokina, T. Arharovas un L. Birgeres datiem)

Apzīmējumi: 1 – rietumu zona (dolomītmerģeļi, mālaini dolomīti, dolomīti);

2 – centrālā zona (dolomīti); 3 – austrumu zona (kaļķakmeņi)

2. Materiāli un metodes

Latvijas ziemeļaustrumos un Igaunijas dienvidos Pļaviņu svītas nogulumi iegūļ zem samērā plānas kvartāra nogulumu segas un atsedzas daudzos atsegumos Gaujas, Vaidavas un citu upju krastos, pamestos (Ape) un aktīvos (Dārzciems un Ape-2) dolomīta karjeros, kā arī Marinovas kaļķakmens un dolomīta karjerā.

Pētījuma pamatā ir materiāls, kas iegūts lauka darbu laikā no 2015. gada vasaras līdz rudenim no trim ģeoloģiskiem objektiem – Randātu klintīm un Grūbes dolomīta atseguma Latvijas ziemeļaustrumu daļā un Marinovas dolomīta atradnes Igaunijas dienvidaustrumu daļā (1. tabula un 2. attēls).

1. tabula

Pētīto objektu ģeogrāfisks raksturojums

Nosaukums	Ģeogrāfiskās koordinātes (Latvija 92 LKS)		Atseguma sienas vērsma azimuts
	x	y	
Randātu klinšu atsegums	26.3461	57.4490	351°
Grūbes dolomīta atsegums	26.7796	57.5268	1°
Marinovas atradnes atsegums	27.5198	57.7379	203°



2. att. Pētījuma objektu atrašanās vieta; 1 – Randātu klintis, 2 – Grūbes dolomīta atsegums, 3 – Marinovas dolomīta atradne (uz topogrāfiskās kartes pamatnes mērogā 1 : 10 000, <http://karte.zl.lv/>)

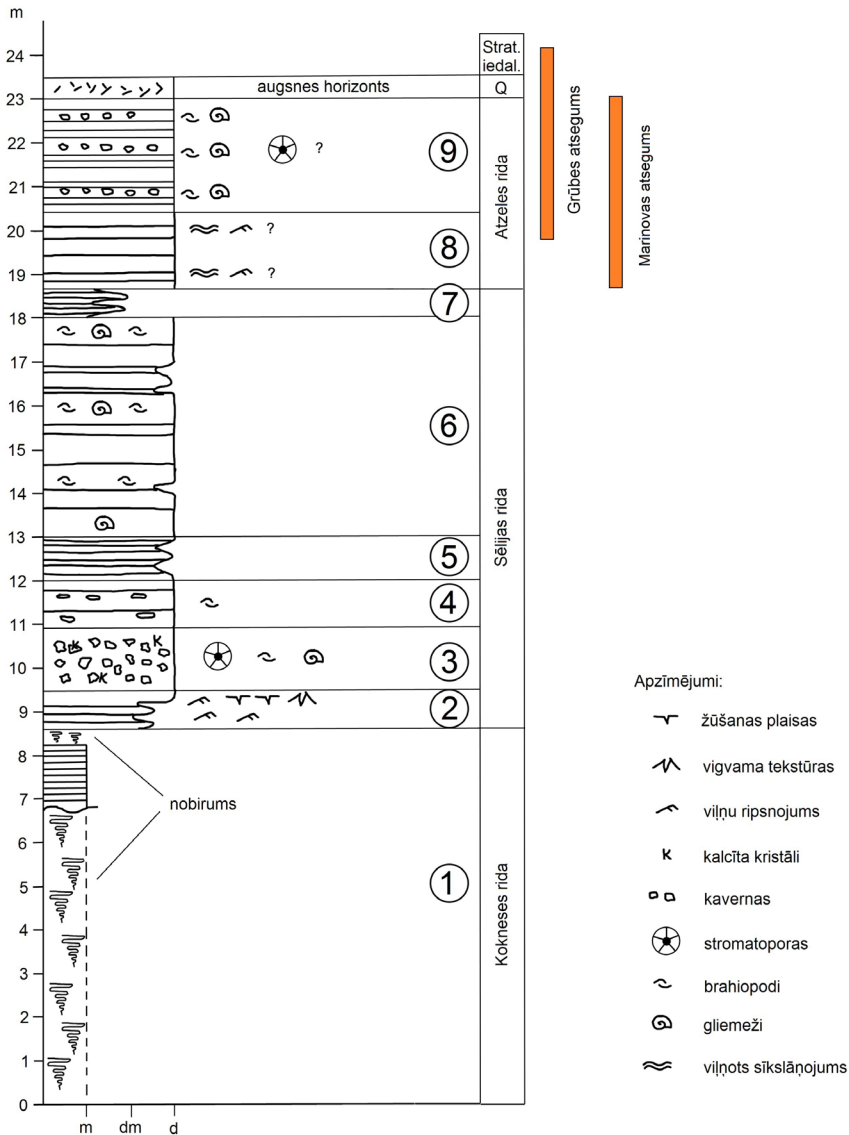
Katrs atsegums tika dokumentēts – veikta ģeoloģisko griezumu skiču izveide, foto dokumentācija, kā arī ievākti paraugi no katra izšķirtā slāņa. Pēc tam veikta arī skiču pārzīmēšana datorā. Pļaviņu svītas nogulumu griezumos, izmantojot iegūtos datus un iepriekšējās publikācijas (Stinkulis, 1998; Kleesment *et al.*, 2013), tika nodalītas ridas un savstarpēji salīdzināti griezumi.

Pētījums pamatojas uz lauka darbu un noņemto makroparaugu tekstūru analīzes rezultātiem. Turpmākajā pētījumu posmā no noņemtajiem makroparaugiem tiks izgatavoti pieslīpējumi un plānslīpējumi, lai raksturotu karbonātiežu mikrofacijas, kas ļaus veikt detalizētāku Pļaviņu laikposma sedimentācijas vides interpretāciju.

3. Rezultāti un to interpretācija

3.1. Randātu klinšu ģeoloģiskā griezuma raksturojums

Pētījuma objekts atrodas Gaujas upes labajā krastā, aptuveni 650 metrus uz dienvidiem no Vidzemes šosejas tilta pār Gauju. Šis atsegums (3. attēls) atrodas Randātu klinšu galvenajā daļā, kas ir arī augstākā atseguma daļa. Atseguma koordinātas un atseguma sienas vērsuma azimuts dots 1. tabulā. Novietojums kartē parādīts 2. attēlā.



3. att. Pļaviņu svītas dolomītu ģeoloģiskais griezumš Randātu klintīs

Apzīmējumi: m – māls; dm – dolomītmerģelis; d – dolomīts/kaļķakmens. Ar numuriem apļos apzīmēti nodalītie slāņi.

1. slānis (6,8–8,3 m). Pelēki un sarkani mālaini nogulumu, kas vietām ir noplūduši.
(8,3–8,6 m) – nobirums.
2. slānis (8,6–9,4 m). Dolomīts mālains, vietām dolomītmerģelis, sīkplātņains, kas virzienā uz šī slāņa augšu pāriet biežāk plātņainā dolomītā. Dažviet slānī var novērot viļņu rīpsnojumu. Slāņa augšdaļā ir labi izteiktas žūšanas plaisas, kas sastopamas kopā ar vīgvama tekstūrām.

3. slānis (9,4–10,8 m). Dolomīts, ļoti kavernozs. Kavernas ir izveidojušās gliemežu, brahiopodu un nelielu stromatoporu fosiliju vietā, tām izšķīstot, domājams, dolomitizācijas procesā (Stinkulis, 1998). Vietām kavernās ir sekundārā kalcīta žēodas. Dolomīts ir ievērojami izmainīts pēcsedimentācijas procesu gaitā – tas ir brekcijots, un tam ir dzelzs oksīdiem un hidroksīdiem raksturīgais krāsojums.
4. slānis (10,8–12,0 m). Dolomīts, vidēji līdz biežplātņains, vidēji kavernozs. Kavernām ir izteikti slānisks (horizontāls) izkārtojums. Līdzīgi iepriekšējam slānim kavernas arī šeit ir veidojušās fosiliju šķīšanas rezultātā.
5. slānis (12,0–13,0 m). Dolomīts un mālainis dolomīts, sīkplātņains, bez redzamām organismu atliekām.
6. slānis (13,0–18,0 m). Dolomīts vidēji līdz biežplātņains, vietām sīkplātņains. Griezuma augstuma atzīmju 14,2 m, 16,4 m un 16,8 m posmos ir novērojamas aptuveni 5 cm biezas sīkplātņainu dolomītmergēļu un mālainu dolomītu starpkārtnas. Atsevišķos intervālos dolomīts ir bagāts ar brahiopodu čaulām un to detritu, kā arī gliemežu čaulu detritu. Pārsvārā šajā slānī dolomīts ir viendabīgs.
7. slānis (18,0–18,7 m). Mālu, karbonātisku un dolomītmergēļu mija. Slānis ir daļēji aizbiris.
8. slānis. (18,7–20,4 m). Dolomīts, viendabīgs, vidēji plātņains ar līdzinām plātņu robežām, gaišs. Daudzviet ir izsekojams viļņots sīkslāņojums un problemātisks viļņu ripsnojums.
9. slānis (20,4–23,0 m). Dolomīts vidēji plātņains, vietām sīkplātņains. Daudzviet slānī tas ir kavernozs, kas nosaka tā neregulāru uzbūvi. Kavernas ir veidojušās, šķīstot brahiopodu, gliemežu, iespējams, arī stromatoporu fosilijām. Kavernās ir konstatēti dolomītmitli.

Nogulumu veidošanās apstākļu interpretācija

Randātu klinšu ģeoloģiskā griezuma (3. attēls) apakšējā daļā ir sastopami Pļaviņu svītas Kokneses ridas mālainie nogulumi (Stinkulis, 1998; Kleesment *et al.*, 2013), kas atsedzas tikai 1,5 metru biežumā un lielākoties ir klāti ar nobirumu. Šo nogulumu veidošanās apstākļu interpretācija ir apgrūtināta.

Griezuma augšdaļā (Sēlijas un Atzeles ridā) dominē dolomīti, un to kopumā 14,5 metru biežajā slāņkopā tikai 2 metru biežumā ir sastopami dolomītmergēļi un mālaini dolomīti. Šiem iežiem un daļai dolomītu (2., 5., 7. un 8. slānis) ir raksturīga sīkplātņaina uzbūve un bieži arī sīkslāņota tekstūra, ko nosaka milimetru un to daļu biežuma horizontālu un viļņotu kārtiņu mija. 2. slānī šādos nogulumos ir žūšanas plaisas un vigvama tekstūras. Vietām var novērot arī viļņu ripsnojumu. Sīkplātņains dolomīts un viļņu ripsnojums liecina par seklu baseinu, savukārt vigvama tekstūras un žūšanas plaisas – par islaicīgām subaerālās atsegšanās epizodēm. Šis tekstūru kopums norāda uz vidējo līdz augšējo plūdmainu zonu (Flügel, 2004). Palielinātais mālainā materiāla daudzums sīkslāņotajos nogulumos bieži ir raksturīgs plūdmainu lidzenumiem, kuros ir mierīgāks hidrodinamiskais režīms nekā virzienā uz atklātu jūru vērstiem karbonātisko nogulu sēkļiem un rīfiem (Flügel, 2004).

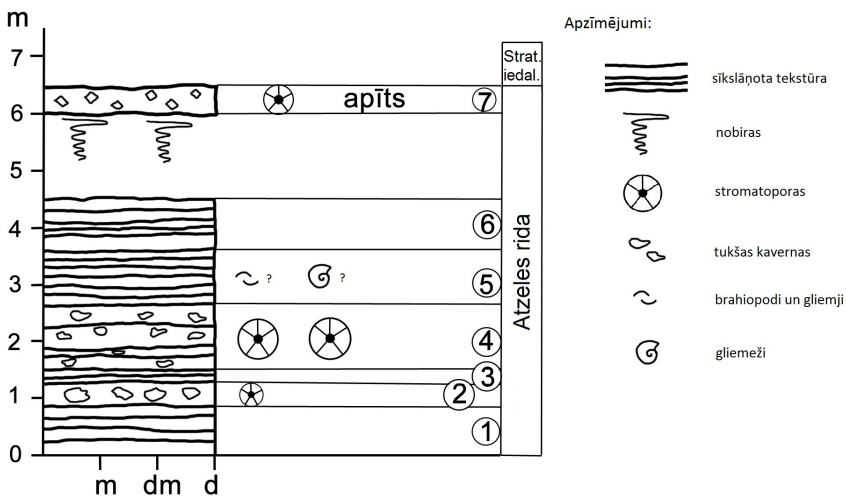
Sēlijas ridā 3. slānī ir novērojamas daudzas stromatoporu un citu bezmugurkaulnieku atliekas. To haotiskais izkārtojums un forma liecina par to, ka organismu atliekas ir saskalotas un neatrodas organismu dzīves pozīcijā. Stromatoporas dzīvo fotiskajā zonā, samērā augstas enerģijas apstākļos. Stromatoporu un tabulātu koraļļu kopumu mēdz interpretēt kā sekla, silta ūdens un augstas enerģijas vides iemītņiekus, kas dzīvojuši pie viļņu bāzes vai virs tās un fotiskajā zonā (Tosolini *et al.*, 2012). Brahiopodi un gliemeži arī ir seklūdens jūru iemītņieki.

Sēlijas un Atzeles ridā 4., 6. un 8. slānī bieži sastop dolomītus, kuros brahiopodu, retāk gliemežu un stromatoporu, atliekas un fosiliju detrits ir izkārtots “ķēdītēs”, slāniski.

Organismu atlieku un detrīta slāniskais izkārtojums norāda uz organismu atlieku pārskaļošanu, kas bieži tiek interpretēts kā rifu vai karbonātisko nogulu pauguru pret jūru vērstās nogāzes pazīme (Shen *et al.*, 2008). Iespējams, ka organismu atlieku pārskaļošana ir notikusi vētru ietekmē un ka šie nogulumi ir veidojušies kā vētru slāņi starp vētru viļņu bāzi un viļņu bāzi normālos apstākļos (Gutteridge, 1989). Brahiopodu klātbūtne, visticamāk, norāda uz nogulumu veidošanos aktīvā hidrodinamiskā režīmā – nosacītā karbonātu nogāzes augšdaļā (Flügel, 2004; Machel, Hunter, 1994).

3.2. Grūbes dolomīta atseguma ģeoloģiskā griezuma raksturojums

Pētītais objekts atrodas aptuveni 80 metrus uz ziemeļaustrumiem no nelielas hidroelektrostacijas dambja, kas atrodas uz Vaidavas upes. Pētītā atseguma siena (4. attēls) atrodas Grūbes dolomīta atseguma augstākajā daļā. Atseguma koordinātas un atseguma sienas vērsma azimuts dots 1. tabulā. Novietojums kartē parādīts 2. attēlā.



4. att. Pļaviņu svītas ģeoloģiskais griezumā Grūbes dolomītu atsegumā

Apzīmējumi: m – māls; dm – dolomītmerģelis; d – dolomīts/kaļķakmens.

Ar numuriem apļos apzīmēti izdalītie slāņi.

1. slānis (0,0-0,8 m). Dolomīts ar plātņu biezumu 5–10 cm, ar regulāru uzbūvi, maz kavernu.
2. slānis (0,8–1,25 m). Dolomīts (viena plātne), daudz kavernu sakarā ar stromatoporu, iespējams, arī citu fosiliju klātbūtni.
3. slānis (1,25–1,5 m). Dolomīts, regulāri plātņains (trīs plātnes), bez kavernām.
4. slānis (1,5–2,7 m). Dolomīts, vidēji kavernožs, vidēji plātņains (plātņu biezums 10–15 cm), vietām sikplātņains. Kavernas ir nevienmērīgi izkliedētas, tās galvenokārt ir stromatoporu fosiliju vietā. Stromatoporas pēc formas ir ieapaļas, vietām, domājams, apgāztas. To diametrs ir līdz 30 cm. Vietām šo fosiliju daudzums ir aptuveni 30% no dolomīta apjoma.

5. slānis (2,7–3,7 m). Dolomīts, sīkplātņains (plātņu biezums ap 5 cm), regulāri plātņains. Ir vidēji daudz kavernu nelielu fosiliju, iespējams, gliemežu un brahiopodu, vietā. Dolomitizācijas procesi neļauj precīzāk noteikt fosilijas, to piederību.

6. slānis (3,7–4,5 m). Dolomīts, viendabīgs, bez kavernām, no vidēji līdz ļoti sīki plātņainam.

7. slānis (6,0–6,5 m). Dolomīts rupjkristālisks (“apīts”), ar daudzām nelielām (līdz 5 cm), ieapaļām stromatoporu atliekām.

Nogulumu veidošanās apstākļu interpretācija

Grūbes dolomīta atsegumā (4. attēls) ir sastopami Atzeles ridas dolomīti (Stinkulis, 1998; Kleesment *et al.*, 2013). Pašā griezumā augšdaļā, neliela pamesta karjera sienā 0,6 metru biezumā ir atsegti arī rupjkristālisks Apes tipa dolomīti “apīti”, kuri ir kavernozi, pateicoties izšķīdušām stromatoporu atliekām.

Lielāko daļu slāņkopas veido ar stromatoporu atliekām bagāti dolomīti, kuros vietām, domājams, ir arī brahiopodu un gliemežu atliekas. Stromatoporu biežā sastopamība un lielie izmēri liecina par labvēlīgiem apstākļiem to izveidei. Stromatoporas ir bieži sastopamas devona karbonātiēžos, un tās ir tipiskas atklātas jūras, rifa kodola, kā arī tā priekšējās daļas (uz jūru vērstās) un aizmugurējās daļas (sauszemes virzienā) apstākļiem (Garland, 1997). Dolomitizācijas procesu ietekme un citas pēcsedimentācijas izmaiņas neļauj novērtēt stromatoporu formu un atrašanos dzīves pozīcijā, tomēr vismaz daļa šo organismu atlieku ir pārvietojušās – rotējušās. Visticamāk, tas norāda uz karbonātu platformas pret jūru vērstās nogāzes apstākļiem. Iespējamā brahiopodu un gliemežu klātbūtne nav pretrunā ar šiem datiem – šie organismi dzīvo un var tikt pārskaloti aktīvā hidrodinamiskā režīmā (Flügel, 2004; Machel, Hunter, 1994; Garland, 1997).

Plātņaino dolomītu bez organismu atliekām veidošanās apstākļus interpretēt ir sarežģīti, jo dolomitizācijas procesu dēļ lauka apstākļos nav iespējams noteikt to pamatmasas raksturu – mikrīta un graudu proporciju. Karbonātiešie nogulumi ar regulāru, plātņainu uzbūvi un bez organismu atliekām var veidoties dažādos apstākļos – salīdzinoši dziļā baseinā, lagūnā un citā vidē. Šiem dolomītiem gan nav sīkslāņoto tekstūru, žūšanas plaisu vai citu pazīmju, kas norādītu uz vidējo vai augšējo plūdmaiņu zonu (Flügel, 2004).

3.3. Marinovas atradnes ģeoloģiskā griezumā raksturojums

Marinovas dolomīta atradne atrodas Igaunijas dienvidaustrumos. Pētītais atsegums atrodas atradnes rietumu daļā, atradnes applūdušās daļās dienvidrietumu stūrī. Atseguma koordinātas un atseguma sienas vērsuma azimuts dots 1. tabulā. Marinovas atradnes ģeoloģiskais griezums ir skatāms 5. attēlā. Novietojums kartē parādīts 2. attēlā.

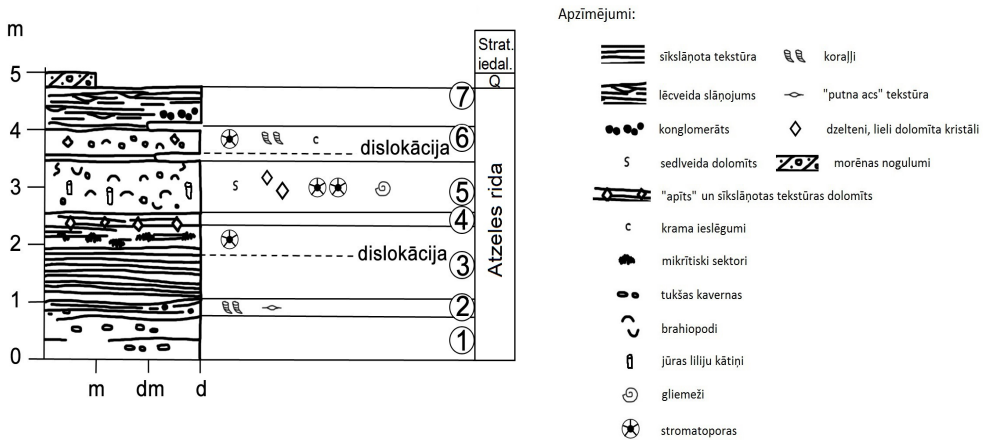
1. slānis (0,0–0,61 m). Dolomīts, viendabīgs, blokveida. Dolomīta pamatmasa ir smalkkristālisks. Slāņa biezums ir aptuveni 0,61 m. Dolomīts ir kavernozi. Kavernas dolomītā ir vidēji lielas – aptuveni 2 mm līdz pāris centimetru. Vietām kavernas ir iegarenas formas (līdz pat 5 cm garumā), izvietotas horizontāli, tomēr kopumā tām ir neregulāra forma un tās izvietotas haotiski.

2. slānis (0,61–0,99 m). Dolomīts, blīvs, viendabīgs, blokveida. Virsma starp 1. un 2. slāni ir neregulāra un bedraina. Dolomīts smalkkristālisks, virzienā uz augšu novērojami laminīti, kas liecina par zemu ūdens līmeni. Starp laminītu kārtiņām ir “putna acs” tekstūras. Slāņa apakšdaļā ir lielas un neregulāras formas kavernas, kā arī nelielas korāļu sakopojumu atliekas.

3. slānis (0,99–2,32 m). Dolomīts, smalkkristālisks, blokveida, dažviet arī plātņains. Vietām ir laminīti. Uz laminītu kārtiņām konstatēts glaukonīts. Aptuveni 1,79 m no griezuma apakšas konstatēta dislokācija (vājinātā zona), kurā atrodams mehāniski drupināts

dolomīts. Slāņa augšdaļā dolomīts smalkkristālisks, tomēr vietām ir mikritiski sektori un mikrita ieslēgumi, kas kopumā liecina par nevienmērīgu dolomīta uzbūvi. Slāņa augšdaļā ir stromatoporu atliekas.

4. slānis (2,32–2,41 m). Dolomīts (Apes tipa – “apīts”) vidēji līdz rupjkristālisks un vidēji blīvs līdz porains. Gan ieža pamatmasā, gan uz slānišu kontaktvirsmām ir zaļganpelēka argilīta piejaukumi. Visu 4. slāni veido 0,5–1,5 cm biezas dolomītu kārtiņas.



5. att. Pļaviņu svītas dolomītu ģeoloģiskais griezumš Marīnovas dolomīta atradnē, Igaunijā

Apzīmējumi: m – māls; dm – dolomītmērgēlis; d – dolomīts/kaļķakmens.

Ar numuriem apļos apzīmēti izdalītie slāņi.

5. slānis (2,41–3,29 m). Kaļķakmens, haotiskas uzbūves. Retas gliemežu un stromatoporu atliekas. Konstatētas arī pārkrīstalizētas brahiopodu(?) čaulas. Kopumā slānī ir ļoti daudz fosiliju. Slāņa augšdaļā ir arī blīvi jūrasliliju kātiņu sakopojumi, kas izplatīti vienmērīgi pa visu slāņa augšdaļu. Vietām izplatīts sedlveida dolomīts. Kavernās un kaļķakmens masā vietām ir nevienmērīga dolomīta izplatība. Pašā slāņa augšdaļā ir vērojams slāņojums, kas atgādina laminītus.

Starp 5. un 6. slāni ir deformēta zona, kurā 7 cm biežumā sastopama zaļganu māla (~1–2 mm) un kaļķakmens (~1–5 mm) slānišu, lēcu un kārtiņu mija.

6. slānis (3,36–3,94 m). Kaļķakmens, plātņains, ar balta krama ieslēgumiem. Izteikti liela nevienmērīgā dolomīta izplatība. Dzelteni dolomīta kristāli sastopami dzīslās, kavernās un kaļķakmens pamatmasā. Ļoti daudz fosiliju – gan korāļi, gan stromatoporas un gliemeži. Izmēros lielākās kavernas un organismu atliekas ir sastopamas slāņa apakšējā un vidējā daļā.

Starp 6. un 7. slāni sastopama 6 cm bieža deformētu nogulumu kārtā, kas ir analoga starp 5. un 6. slāni esošajai kārtai.

7. slānis (4,00–4,67 m). Kaļķakmens ar mikrokristālisks pamatmasu, vietām gandrīz slēpkristālisks. Ir izteikts lēcveida slāņojums – plāni kaļķakmens slāniši mijas ar iegarenām lēcām, kurās ir mālaini nogulumi. Slāņa apakšdaļā ir konglomerāts, kura pamatmasa, kā arī komponenti ir no tā paša kaļķakmens materiāla, kurā tas atrodas.

Nogulumu veidošanās apstākļu interpretācija

Marinovas atradnē pārstāvētie Pļaviņu svītas Atzeles ridas karbonātieži (5. attēls) ir veidojušies samērā daudzveidīgos apstākļos (Kleesment *et al.*, 2013). Bieži (2., 3., 5. un 7. slānī) ir sastopami laminīti – sīkslāņoti dolomīti un kaļķakmeņi, kas ir tipiski vidējās un augšējās plūdmaiņu zonas nogulumi (Flügel, 2004). 2. slānī tajos sastop “putna acs” tekstūras (t. i., fenestras), kuras ir tipiska vidējās plūdmaiņu zonas pazīme (Tucker, Wright, 1990).

Aptuveni tikpat daudz ir dolomītu un kaļķakmeņu ar stromatoporu, gliemežu un brahiopodu fosilijām. Stromatoporas bieži ir saistītas ar devona rifu veidojumiem un sastopamas gan rifu kodolos, gan arī abās to nogāzēs (Garland, 1997). Tās ir izplatītas arī plašākā apstākļu kopumā, taču vienmēr fotiskajā zonā, siltā ūdenī (Tosolini *et al.*, 2012). Brahiopodu un gliemežu klātbūtne arī nav pretrunā ar šiem datiem, jo šie organismi dzīvo seklā, normāla sāļuma ūdenī (Garland, 1997).

Atšķirībā no Randātu klintīm un Grūbes dolomītu atseguma Marinovas atradnē gan dolomītos (2. slānis), gan kaļķakmeņos (6. slānis) ir koraļļu fosilijas. Koraļļi ir silta, sekla, normāla sāļuma ūdens iemītnieki, kuri iznīkst, ja šie apstākļi mainās (Tucker, Wright, 1990). Pētījumos par devona nogulumu uzkrāšanās apstākļiem norādīts, ka šie organismi dzīvo pie viļņu bāzes vai virs tās un arī fotiskajā zonā. Tie ir atzīmēti karbonātisko nogulu pauguru pret jūru vērstajā nogāzē, rifos, kā arī to abās nogāzēs (Tosolini *et al.*, 2012; Garland, 1997).

Kopumā līdzīgos apstākļos veidojas arī jūraslilijas (Garland, 1997), kuru kātiņi ir bagātīgi izplatīti 5. slāņa augšdaļā. Jūrasliliju kātiņu pārskaļošana notiek aktīvā hidrodinamiskā režīmā, tādēļ devona karbonātu platformu fāciju shēmā (Machel, Hunter, 1994) šo fosiliju sakopojumi raksturīgi rifu jūras virziena nogāzei un karbonātu nogāžu daļai, kas ieguļ dziļāk par sēkļu zonu. Konglomerāts 7. slāņa apakšdaļā, kas sastāv no šī paša slāņa kaļķakmeņu fragmentiem, domājams, ir veidojies vētras laikā un uzskatāms par vētras slāni jeb tempesitū (Nichols, 1999).

Marinovas atsegumā sastopamajos kaļķakmeņos (5.–7. slānis) daudz labāk nekā dolomītos (1.–4. slānis) ir redzamas struktūras un tekstūras, kā arī nosakāmas organismu atliekas. Šos Pļaviņu svītas kaļķakmeņus, kurus tikai daļēji skārusi dolomitizācija, domājams, varēs izmantot kā etalonu turpmākiem attiecīgā vecuma karbonātiežu pētījumiem Latvijā.

4. Diskusija

Šī darba rezultāti apstiprina iepriekšējo pētījumu (Гравитис, 1967; Сорокин, 1978) datus par to, ka devona Pļaviņu laikposmā bijuši mainīgi, pārsvarā sekla jūras apstākļi, taču ūdens dziļums vairākkārt ir mainījies.

Pļaviņu svītas apakšējās daļas (Kokneses un Sēlijas ridas) nogulumi šajā pētījumā raksturoti tikai Randātu klintīs. Kokneses ridas mālaini karbonātisko nogulumu veidošanās apstākļus neizdevās noskaidrot to sliktās atsegtības dēļ. Tomēr šīs ridas augšdaļai un Sēlijas ridas apakšdaļai raksturīgas pazīmes, kas liecina par vidējo un augšējo plūdmaiņu zonu. Līdzīgu situāciju pētījuma autori novērojuši arī Dārzciema dolomīta atradnē, kur arī Kokneses ridas nogulumiežos uz slāniņu kontaktvirsmām ir vigvama tekstūras un žūšanas plaisas. Tās ir subaerālo atsegšanās epizožu pazīmes (Flügel, 2004).

Sēlijas ridas vidējās un augšējās daļas dolomīti bieži satur stromatoporu, retāk brahiopodu un gliemežu atliekas. Stromatoporas norāda uz seklu, siltu ūdeni un aktīvu hidrodinamisko režīmu (Tosolini *et al.*, 2012), bet brahiopodi un gliemeži arī ir seklūdens jūru iemītnieki. Vietām vērojami slāniski izkārtotie fosiliju un to detrita sakopojumi liecina par organismu atlieku un to drupu materiāla pārskaļošanu, tādēļ, domājams, norāda uz nogāzi, kas vērsta pret padziļinājumu baseinā (Shen *et al.*, 2008; Flügel, 2004; Machel, Hunter, 1994).

Šo nogāzi gan nevar interpretēt kā visas karbonātu platformas nogāzi virzienā uz atklāto jūru, jo pētītie nogulumi ir veidojušies seklas epikontinentālas jūras iekšējā daļā (Brangulis *et al.*, 1998). Iespējams, ka organismu atlieku pārskalošana ir notikusi vētru ietekmē (Gutteridge, 1989). Pārskalotas augu un dzīvnieku atliekas un to detrīts gan var būt sastopams arī plūdmaiņu lidzenumos (Laya, Tucker, 2012), tomēr tas nav viennozīmīgs rādītājs sedimentācijas vides raksturošanā.

Sēlijas ridā mazāk izplatīti ir sikslāņotie dolomīti (laminīti), kuri vietām satur žūšanas plaisas, vīgvama tekstūras un viļņu ripsnojumu. Šis tekstūru kopums norāda uz vidējo līdz augšējo plūdmaiņu zonu (Flügel, 2004).

Atzeles ridā ir sastopami dolomīti (visos objektos) un kaļķakmeņi (Marinovas karjerā). Kaļķakmeņu satura pieaugums devona Pļaviņu svītā austrumu–ziemeļaustrumu virzienā ir plaši aprakstīts literatūrā (Гравитис, 1967; Сорокин, 1978; Brangulis *et al.*, 1998). Visi pētītie Pļaviņu svītas dolomīti sākotnēji bijuši kaļķakmeņi, tomēr vēlāk tie pārveidojušies par dolomītiem (Stinkulis, 1998). Visos objektos iegūtie dati norāda uz to, ka Atzeles laikposmā ir bijuši mainīgi apstākļi – no nosacītiem rifa un tā nogāzes apstākļiem līdz vidējai–augšējai plūdmaiņu zonai. To apliecina Atzeles ridā sastopamās fosilijas un iežu tekstūras.

Pļaviņu laikposma sedimentācijas baseins iepriekš tika interpretēts kā sekla jūra (Гравитис, 1967; Сорокин, 1978). Šajā pētījumā iegūtie dati liecina, ka vismaz Latvijas ziemeļaustrumu un Igaunijas dienvidaustrumu daļai atbilstošā Pļaviņu laikposma baseina teritorija, pēc mūsdienu literatūrā norādītās karbonātu platformu klasifikācijas, atbilst epikontinentālai karbonātu platformai vai epikontinentālai karbonātu nogāzei (James, Jones, 2016). Abiem šiem sedimentācijas areāliem ir raksturīgas divas simtiem kilometru platas zonas ar mierīgu hidrodinamisko režīmu: 1) pārejā starp sauszemi un baseinu, norobežotos apstākļos; 2) pārejā starp baseinu un atklātu okeānu. To vidū ir desmitiem kilometru plaša zona ar aktīvu hidrodinamisko režīmu, ko nosaka plūdmaiņu vai viļņu darbība (James, Jones, 2016).

Pētījumi Bahamu salu un Florīdas pussalas piekrastes mūsdienu karbonātu sedimentācijas areālu iekšējās daļās, kas tieši nekontaktē ar okeānu un ir uzskatāmas par seno epikontinentālo karbonātu sedimentācijas baseinu analogiem, apliecina, ka kopumā nogulu uzkrāšanās vide tur ir mierīga un gan viļņu, gan plūdmaiņu ietekme uz sedimentācijas procesiem ir neliela. Sedimentācijas procesus galvenokārt kontrolē reti vētru notikumi (Tucker, Wright, 1990). Tomēr viedokļi par plūdmaiņu ietekmi senajās, plašajās epikontinentālajās platformās atšķiras – to ietekme ir niecīga (Irwin, 1965) vai liela, plaši jūtama (Pratt, James, 1986). Šī pētījuma gaitā vētru slāņi ir konstatēti Atzeles ridā Marinovas atradnē, taču nav izslēgts, ka vājākas vētras ietekmēja stromatoru, brahiopodu, gliemežu un jūrasliliju kātiņu pārskalošanu un slāņveida koncentrāciju veidošanos, kas plaši novērota visos pētījumu objektos Sēlijas un Atzeles ridā. Baltijas vidējā un vēlā devona klastiskās sedimentācijas baseinos ir plaši atzīmēta plūdmaiņu darbība (Pontén, Plink-Björklund, 2009; Lukševičs *et al.*, 2011; Vasiļkova *et al.*, 2012). Vēlā devona karbonātu sedimentācijas baseinos pagaidām nav atklāta paisuma un bēguma iespējamā ietekme uz sedimentāciju, lai gan to nevar izslēgt, un turpmākajos pētījumos jāpievērš uzmanība plūdmaiņu ciklītu atklāšanai devona dolomītos Latvijā.

Visos šajā pētījumā dokumentētajos ģeoloģiskajos griezumos karbonātiežus ar organismu atliekām cikliski nomaina laminīti, kas liecina par periodiskām ūdens līmeņa svārstībām. Šādi “metru biežuma cikli” ir ļoti raksturīgi karbonātu platformām (Tucker, Wright, 1990), un par to veidošanās iemesliem uzskata plūdmaiņu līdzenumu progradāciju (Pratt, James, 1986), tektoniskos procesus vai eistatiskās ūdens līmeņa svārstības (Tucker, Garland, 2010). Par cikliskuma iemesliem pētījumu teritorijā pagaidām ir grūti spriest iegūto datu ierobežotā apjoma dēļ.

Secinājumi

Apkopojot iegūtos rezultātus par sedimentācijas apstākļu īpatnībām Pļaviņu laikposmā pētījumu teritorijā, jāsecina:

- Kokneses ridas un Sēlijas ridas apakšējās daļas nogulumu ir veidojušies vidējā un augšējā plūdmaiņu zonā.
- Sēlijas ridas vidējās un augšējās daļas, kā arī Atzeles ridas nogulumu veidošanās laikā sedimentācijas apstākļi bijuši ļoti mainīgi, un ne tikai laika gaitā, bet arī savstarpēji tuvās baseina daļās (laterāli) jeb trīs pētītajos griezumos. Jāsecina, ka bijuši gan nosacīti rifa un tā nogāzes apstākļi, gan arī vidējās–augšējās plūdmaiņu zonas apstākļi.
- Latvijas ziemeļaustrumu un Igaunijas dienvidaustrumu daļai atbilstošā Pļaviņu laikposma baseina teritorija atbilst epikontinentālai karbonātu platformai vai epikontinentālai karbonātu nogāzei.
- Sedimentācijas procesus Pļaviņu laikposmā pētījumu teritorijā ietekmēja vētru darbība. Iegūtie dati pagaidām neļauj ne apstiprināt, ne noliegt iespējamo paisuma un bēguma procesu ietekmi.
- Visos šajā pētījumā dokumentētajos ģeoloģiskajos griezumos ir atklāti “metru biežuma” cikli – karbonātiēžus ar organismu atliekām cikliski nomaina laminīti, kas liecina par periodiskām ūdens līmeņa svārstībām. Par cikliskuma iemesliem pētījumu teritorijā pagaidām autoriem ir grūti spriest iegūto datu ierobežotā apjoma dēļ. Ciklu veidošanās iemesli pagaidām nav skaidri.
- Dolomitizācijas procesi ir būtiski ietekmējuši pētīto karbonātiēžu sākotnējās tekstūras un struktūras, tādēļ ir apgrūtināta to veidošanās apstākļu interpretācija. Turpmākajos pētījumos jāpievērš īpaša uzmanība Pļaviņu svītas kaļķakmeņu un daļēji dolomitizēto kaļķakmeņu pētījumiem visos pieejamajos atsegumos.

Literatūra

- Brangulis, A., Kuršs, V., Misāns, J., Stinkulis, Ģ. 1998. *Latvijas ģeoloģija*. Rīga: Valsts ģeoloģijas dienests, 70.
- Flügel, E. 2004. *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*. Berlin, Springer.
- Garland, J. 1997. *Middle to Upper Devonian (Givetian and Frasnian) Shallow-Water Carbonates of Western Europe: Facies Analysis and Cyclicity*. Doctoral thesis, University of Durham.
- Gutteridge, P. 1989. Controls on carbonate sedimentation in Brigantian intrashelf basin (Derbyshire). *Yorkshire Geological Society, Occasional Publications*, No. 6, p. 171–187.
- Irwin, M. W. 1965. General theory of epeiric clear water sedimentation. *AAPG Bulletin*, 49, 4, 445–459.
- James, N. P., Jones, B. 2016. *Origin of Carbonate Sedimentary Rocks*. John Wiley & Sons, 320 p.
- Kleesment, A., Urtson, K., Kiipli, T., Martma, T., Poldvere, A., Kallaste, T., Shogenova, A., Shogenov, K. 2013. Temporal evolution, petrography and composition of dolostones in the Upper Devonian Pļaviņas Regional Stage, southern Estonia and northern Latvia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 62, 3, 139–159.
- Laya, J. C., Tucker, M. E. 2012. Facies analysis and depositional environments of Permian carbonates of the Venezuelan Andes: Palaeogeographic implications for Northern Gondwana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 331, 1–26.
- Lukševičs, E., Ahlberg, P. E., Stinkulis, Ģ., Vasiļkova, J., Zupiņš, I. 2011. Frasnian vertebrate taphonomy and sedimentology of macrofossil concentrations from the Langsēde Cliff, Latvia. *Lethaia*, 45, pp. 356–370.

- Lukševičs, E., Stinkulis, Ģ., Mūrnieks, A., Popovs, K. 2012. Geological evolution of the Baltic Artesian Basin. In: Dēliņa, A., Kalvāns, A., Saks, T., Bethers, U., Vircavs, V. (eds.) *Highlights of Groundwater Research in the Baltic Artesian Basin*. Rīga, University of Latvia, 7–52.
- Machel, H. G., Hunter, I. G. 1994. Facies models for Middle to Late Devonian shallow-marine carbonates, with comparisons to modern reefs: a guide for facies analysis. *Facies*, 30 (1), 155–176.
- Nichols, G. 1999. *Sedimentology and stratigraphy*. Blackwell Science.
- Pontén, A., Plink-Björklund, P. 2009. Regressive to transgressive transits reflected in tidal bars, Middle Devonian Baltic Basin. *Sedimentary Geology*, 218, 48–60.
- Pratt, B. R., James, N. P. 1986. The St George Group (Lower Ordovician) of western Newfoundland: tidal flat island model for carbonate sedimentation in shallow epeiric seas. *Sedimentology*, 33, 313–343.
- Shen, W. J., Webb, G. E., Jell, S. J. 2008. Platform margins, reef facies, and microbial carbonates; a comparison of Devonian reef complexes in the Canning Basin, Western Australia, and the Guilin region, South China. *Earth Science Reviews* 88, 33–59.
- Stinkule, A., Stinkulis, Ģ. 2015. *Latvijas devona dolomīti*. Daugavpils Universitātes Akadēmiskais apgāds “Saulē”.
- Stinkulis, Ģ., 1998. *Latvijas devona klastisko-karbonātiežu un kaļķakmeņu-dolomītu pārejas zonu sedimentoloģija un mineraloģija*. Doktora darbs, Latvijas Universitāte, Rīga.
- Tosolini, A.-M. P., Wallace, M. W., Gallagher, S. J. 2012. Shallow water mud-mounds of the Early Devonian Buchan Group, East Gippsland, Australia. *Sedimentary Geology*, 281.
- Tucker, M., Wright, V. P. 1990. Carbonate mineralogy and chemistry. *Carbonate Sedimentology*, pp. 284–313.
- Tucker, M., Garland, J. 2010. High-frequency cycles and their sequence stratigraphic context: orbital forcing and tectonic controls on Devonian cyclicity, Belgium. *Geologica Belgica* 13/3, pp. 213–240.
- Vasiļkova, J., Lukševičs, E., Stinkulis, Ģ., Zupiņš, I. 2012. Taphonomy of the vertebrate bone beds from the Klūnas fossil site, Upper Devonian Tērvete Formation of Latvia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 61, 2, pp. 105–119.
- Гравитис, В. А. 1967. О фациальных изменений карбонатной части франского яруса в Гулбенской впадине и на ее северном и восточном обрамлении. *Вопросы геологии среднего и верхнего палеозоя Прибалтики*. Под ред. Егорова Д. Ф. Рига, с. 54–84.
- Сорокин, В. С. 1978. *Этапы развития Северо-Запада Русской платформы во Франском веке*. Рига, 282 с.

LIETIŠKĀS SEISMOLOĢIJAS IESPĒJAS ZEMAS SEISMISKĀS AKTIVITĀTES URBĀNĀS TERITORIJĀS AR ZEMU SEISMISKO AKTIVITĀTI, RĪGAS PILSĒTAS PIEMĒRS

Valērijs NIKUĻINS

LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs
E-pasts: valerijs.nikulins@lv.lv, valerijs.nikulins@lvvmc.lv

Latvijas teritorija pieder pie zemas seismiskās aktivitātes un zema seismiskā riska apgabaliem (Nikulins, 2001). Likumsakarīgi rodas jautājums – vai šādā gadījumā ir lietderīgi attīstīt seismoloģisko virzienu, konkrēti – seismoloģisko inženierģeoloģiju? Kāda varētu būt seismoloģisko metožu praktiskā atdeve? Vispirms, lai atbildētu uz šo jautājumu, ir nepieciešams apskatīt seismiskā procesa sastāvdaļas. Seismiskā procesā iesaistīti četri objekti:

- 1) seismiskās izcelsmes avots;
- 2) ģeoloģiskā vide, caur kuru izplatās seismiskie viļņi vai vibrācija;
- 3) lokālais seismiskais efekts novērošanas punktā, kas saistīts ar seismoģeoloģiskajiem apstākļiem;
- 4) ēku un būvju dinamiskais raksturojums.

Pirmie divi objekti, kā likums, izraisa seismoloģisko uzdevumu interesi, saistītu ar zemestrīces cilmvietas vai tehnogēnās izcelsmes avotu parametru izvērtējumu, kā arī ar ģeoloģiskās dziļumzūbūves izpēti. Attiecībā uz pārējiem diviem izpētes objektiem var teikt, ka tie var radīt interesi ne tikai seismiski aktīvos, bet arī zemas aktivitātes seismiskos rajonos. Šādiem izpētes objektiem ir praktiska nozīme, un tas attiecas uz inženierseismoloģiju.

Inženierseismoloģija galvenokārt orientēta tādu uzdevumu risināšanai, kas saistīti ar zemestrīces izraisīto viļņu lauka izpēti zemestrīces cilmvietas tuvumā, ar zemes virsmas spēcīgu kustību izpēti, arī ar grunts un būvju mijiedarbības izpēti, ar seismiskās mikrorajonēšanas (SMR) metodes izstrādi, kā arī ar grunts un ēku nenoturības (ievainojamības) novērtējumu. Relatīvi spēcīgas grunts kustības Baltijas reģionā un Latvijā notika pēc 2004. gada Kaļiņingradas zemestrīces. Satricinājuma intensitāte epicentra zonā sasniedza 6,5 balles pēc EMS-98 (Nikonov et al., 2005), bet Latvijas teritorijas Nīgrandes pagasta Kalna ciemā un Dobeles pilsētā satricinājuma maksimālā intensitāte sasniedza 5 balles (Nikulins, 2005).

Lai gan tik spēcīgas grunts kustības ir retums Latvijā (pēdējās notikušas 1976. un 2004. gadā, attiecīgi Osmussaares un Kaļiņingradas zemestrīces ar intensitāti epicentrā 6,0 un 6,5 balles), metode SMR varētu būt pieprasīta. Latvijā ir adaptēts Eiropas normatīvais dokuments no sērijas *Eurocode 8* (8. Eirokodekss, 2005), tas rekomendē balstīties uz noteiktām prasībām, projektējot ēkas un būves. Normatīvie dokumenti norāda, ka ļoti zems seismiskums atbilst paātrinājumam $a_g \leq 0,04 g$ A tipa gruntīs (tās ir gruntīs, kurās pārbīdes viļņa ātrums $v_s > 800$ m/s, un tām Latvijas apstākļos atbilst augšdevona D_3 nogulumi) vai $a_g S \leq 0,05 g$ uz grunts virsmas (S – grunts faktors). Atbilstoši seismiskā riska rezultātu novērtējumam Latvijā (Nikulins, 2001) maksimālais paātrinājums A tipa gruntīs ir $a_g \leq 0,013 g$ (13 cm/s^2). Tādējādi Latvijas teritorija atbilst rajonam ar ļoti zemu seismiskumu, lai gan irdenās kvartāra nogulumu virsmās $a_g S$ var pārsniegt $0,05 g$ (Nikulins, 2009). Tādēļ, ceļot augstceltņu dzīvojamās ēkas, kā arī nozīmīgas inženiertehniskās un ekoloģiski bīstamās

būves, ir nepieciešams ņemt vērā *Eurocode 8* rekomendācijas, tas nozīmē – ir nepieciešams veikt seismisko mikrorajonēšanu. SMR ļauj iegūt informāciju par nelabvēlīgām gruntīm, ņemot vērā seismisko svārstību vai vibrāciju ietekmi uz tām. Kaļiņingradas apgabala (Krievija) un tāpat arī Latvijas izvietojums saistīts ar Austrumeiropas platformu, un pēc 2004. gada zemestrīces Kaļiņingradas apgabalā ir veikta virkne SMR pētījumu (Арефьев и др., 2008; Алешин и др., 2014).

Viens no galvenajiem pilsētu infrastruktūras objektu, ēku, būvju un transporta sistēmas vārigākajiem faktoriem no seismiskās vai vibrācijas ietekmes ir nelabvēlīgie grunts apstākļi. Latvijas, tai skaitā arī Rīgas, grunts apstākļus raksturo pleistocēna un holocēna irdenā un ar ūdeni piesātinātā grunts, kas pārklāj blīvos augšdevona pamatiežus.

Seismiskās cietības attiecība (blīvuma reizinājums ar pārbīdes viļņu ātrumu) starp augstāk iegulošiem un zemāk iegulošiem nogulumiem $v_{SQ}\rho_Q / v_{SD}\rho_Q$ (v_{SQ} , v_{SD} un ρ_Q , ρ_D – viļņu lieces ātrums un kvartāra un devona nogulumu blīvums) būtiski, līdz 10 un vairāk reizi, ietekmē svārstību pastiprināšanos. Seismiskās cietības kontrasts rada labvēlīgus apstākļus rezonanses izcelsmei gruntī, ja grunts slāņa biezums ir tuvs $\frac{1}{4}$ seismiskā viļņa garumam. Lokālie ģeoloģiskie apstākļi ir samērā mainīgi, vietvietām mozaikveida, par to liecina fakts, ka satricinājuma palielinājums atsevišķos Latvijas rajonos (Kalnu ciems, Dobeles pilsēta) pēc Kaļiņingradas zemestrīces (Nikulīn, 2005) bija lielāks nekā dažos Lietuvas rajonos, kas atrodas krietni tuvāk zemestrīces cilmvietai. Salīdzinājumam – Kalnos un Dobelē satricinājuma līmenis sasniedza 5 balles, savukārt daudzos ziemeļu Lietuvas rajonos – 4 un pat tikai 3 balles (Gregersen *et al.*, 2007).

Intensīvākie seismiskās vibrācijas avoti pilsētās ir transporta maģistrāles, gar kurām notiek dzelzceļa un automobiļu transporta kustība, celtniecības laukumi, enerģētiskie objekti (TEC, transformatori), rūpniecības uzņēmumi. Tehnogēno avotu izraisīta vibrācijas cikliska iedarbība notiek regulāri vairākus gadu desmitus, un tā saistīta ar ieguves un apstrādes rūpniecības izveidošanos, kā arī ar attīstītu automobiļu un sliežu transportu. Ir zināms, ka cikliskā iedarbība var izraisīt deformācijas uzkrāšanos gruntī, ēkās un būvēs (Chen *et al.*, 2005). Šādas deformācijas piemēru ir samērā daudz – gar tramvaja līnijām, gar dzelzceļa līnijām un šosejām, pa kurām brauc smagie autofurģoni.

1. piemērs

Tehnogēnās vibrācijas ietekmes tipisks piemērs – ēkas deformācija – tika novērots 2014. gada 30. jūlijā Rīgā, Mežciemā, Ceļu satiksmes drošības direkcijas (CSDD) klientu apkalpošanas centra ēkas celtniecības laikā. Celtniecības laukumā iedzenot pāļus, notika mājas (Druvienas ielā 21) seguma betona plātnes nosēšanās. To izraisīja jau esošo plaisu palielināšanās augstāva dzīvoklī, plaisas palielinājās no 2 mm līdz 3–4 cm (TVNET, 2014). Problēmu vēl vairāk pastiprināja lietus – ūdens intensīvi ieplūda šajā dzīvoklī, kā arī slapjā grunts zem ēkas zaudēja noturību, rezultātā izraisot grunts sablīvēšanos un nosēšanos. Līdz ar to ēkas siena deformējās. Novērtējot vibrācijas līmeni pāļu dzišanas laikā celtniecības objektā, kas atrodas 100–180 m no dzīvojamās ēkas, tika izmantota formula (ГОСТ Р 52892-2007):

$$v = v_0 F_g F_b F_d F_k$$

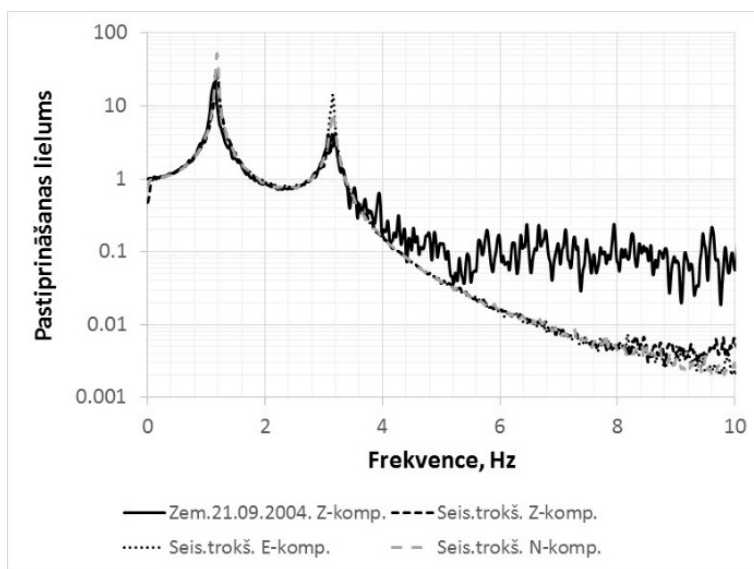
kur v_0 – balsta ātruma vērtība, vienāda ar 20 mm/s; F_g – grunts tipa korekcija vietā, kur atrodas būve; F_b – būves tipa korekcija; F_d – attāluma korekcija starp vibrācijas avotu un būvi; F_k – vibrācijas avota tipa korekcija.

Rezultāti parādīja, ka vibrācijas ātrums var mainīties no 3,8 līdz 7,7 mm/s atkarībā no korekcijas lieluma. Pieļaujamās vibrācijas līmeni reglamentējošs normatīvs dokuments ēkām un būvēm Latvijā līdz šim nav ieviests, tādēļ tika izmantots Vācijas normatīvais dokuments

DIN 4150-3:1999 (Whitlock, 2010), un ir redzams, ka ilgstošas vibrācijas apstākļos augšējais vibrācijas līmenis (7,7 mm/s) pārsniedz pieļaujamās vibrācijas līmeni (2,5 mm/s), bet īslaicīgas vibrācijas apstākļos pieļaujamās vibrācijas līmenis (1,5 mm/s) netiek pārsniegts. Novērtējums ir orientējošs, jo nav precīzi zināmi daži būvi raksturojošie lielumi (būves materiāls, fundamenta tips), kā arī grunts litoloģiskais sastāvs. Acīmredzami, ja netiek ņemta vērā celtniecības laukumā izmantotā tehnogēnā avota izraisītā vibrācija, īpaši – dzenot pašus irdenas un apūdeņotas grunts apstākļos, var rasties būves deformācija, kas izraisa draudus cilvēkiem un bojā ēkas.

2. piemērs

Īpašu interesi izraisa to seismisko svārstību pastiprināšanās nozīmīgu inženiertehnisko objektu rajonos, ko izraisa dažādu seismisko avotu iedarbība. Grunts svārstību pastiprinājuma modelēšanai zem TEC-1 (Rīga) izmantots 61 m biezs trīs slāņu griezumums (381/1844 urb.). Seismiskās cietības attiecība starp zemāk iegulošiem augšdevona (D_3) smilšakmeņiem un tiem uzgulošajiem kvartāra (Q) nogulumiem ir $v_{SD} \rho_D / v_{SQ} \rho_Q = 3,3$. Par seismisko avotu izmantota 2004. gada 21. septembra Kaļiņingradas zemestrīces seismogramma (N–S komponente), ierakstīta stacijā *Molde* (Norvēģija), kas izvietota uz kristāliskā pamatklintāja, kā arī seismiskais troksnis (Z, N–S, E–W komponentes), kas tika iegūts, nosakot vidējās mikro-seismiskās svārstības no BAVSEN tīkla vairākām stacijām (Ņikuļins, 2009).



1. att. Kaļiņingradas zemestrīces (21.09.2004.) seismisko viļņu un seismiskā trokšņa radīto grunts svārstību pastiprināšanās modelis TEC (Rīga) rajonā

Atbilstoši *Eurocode 8* prasībām ir pietiekami ņemt vērā ģeoloģiskos nogulumus 30 m biezumā (8. Eirokodekss, 2005). Kvartāra nogulumu virsmas svārstību pastiprinājuma izvērtējums attiecībā pret devona virsmas smilšakmeņiem parāda, ka pastāv divas rezonanses frekvences f_1 un f_2 , kurām ir noteikti atbilstoši pastiprinājuma koeficienti A_1 un A_2 (1. tabula).

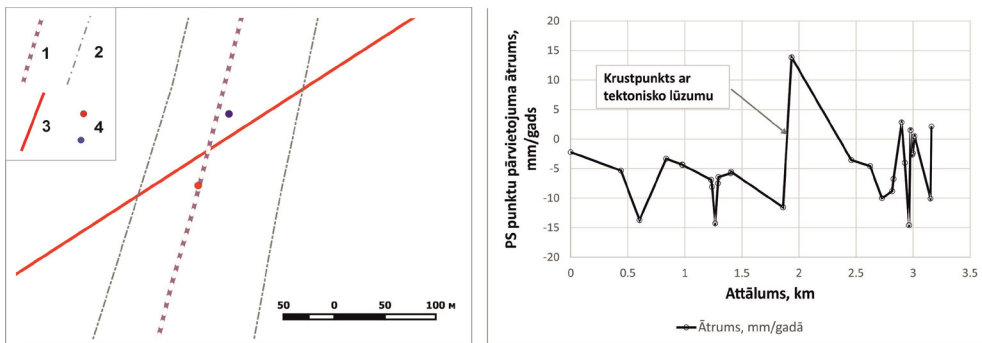
Grunts pastiprinājuma parametri zem TEC-1 ēkām

Parametrs	Zemestrīce		Seismiskais troksnis	
	N-S	Z	N-S	E-W
f_1 , Hz	1,1	1,2	1,2	1,2
A1	20,7	28,0	52,4	33,4
f_2 , Hz	3,1	3,1	3,2	3,2
A2	4,1	4,2	8,2	14,5

Tādējādi neatkarīgi no dabiskā signāla avota (zemestrīce vai seismiskais troksnis) svārstību pastiprināšanās grunts virsmā, kuru veido kvartāra nogulumi, ir samērā būtiska. Šis piemērs rāda, ka ir lietderīgi veikt rekognoscēšanas seismisko izpēti pirms svarīgu inženiertehnisko objektu celtniecības laukuma izvēles vai jau esošo objektu monitoringu, it īpaši, ja tajos tiks izmantotas precīzijas iekārtas un aparatūra, kas nepieļauj noteikta vibrācijas līmeņa pārsniegšanu.

3. piemērs

Rīgas rajona ģeodinamiskos apstākļus var raksturot kā sarežģītus, jo pilsētas teritoriju šķērso vairāki Kaledonijas struktūras kompleksa tektoniskie lūzumi. Nozīmīgs ir jautājums par to tektonisko aktivitāti mūsdienās. Pēdējā laikā no 2010. līdz 2013. gadam ir iegūti pierādījumi šādai aktivitātei. Pirmkārt, satricinājums 2010. gada 22. novembrī, kuru varēja sajust Rīgā un Rīgas rajonā (Никулин, 2011). Liecinieku aptauja parādīja, ka satricinājuma intensitāte sasniedza 2–3 balles pēc EMS-98 skalas, bet jutīgie punkti atradās Olaines–Inčukalna lūzuma tuvumā. Otrkārt, pēc distancētās zondēšanas metodes *Persistent Scatterer Interferometry (PSI)* rezultātiem projekta *PanGeo* ietvaros (Никулин, 2013) Latvijā tika atklāti ģeoloģiskās bīstamības poligoni (ĢBP). Ģeoloģiskās bīstamības priekšnosacījums ir dziļie, tektoniskie apstākļi Rīgas ĢBP daļā (10 gadījumos no 57).



2. att. Tektoniskā lūzuma un dzelzceļa linijas Rīga–Jelgava iecirkņa izvietojuma shēma (pa kreisi) un PS punktu pārvietošanās ātrums gar dzelzceļu posmā no Gaismas līdz Tirainei (pa labi)

Apzīmējumi: 1 – dzelzceļa līnija; 2 – ĢBP zonas kontūra; 3 – tektoniskais lūzums;

4 – PS punktu maksimālais pārvietošanās ātrums lūzuma tuvumā

Novērojuma punktu pārvietošanās metodes PSI ātruma analīze uzrādīja gradienta zonas, kas izvietotas tektonisko lūzumu tuvumā. Tā iecirknī Gaisma–Tiraine dzelzceļa līnija šķērso beznosaukuma tektonisko lūzumu (2. att.). Lūzuma dažādās pusēs 76 m attālumā viens no otra atrodas divi PSI punkti, kuri virzās pretējos virzienos ar ātrumu $-11,6$ un $+13,8$ mm/gadā.

Tādējādi līdzīgiem objektiem, kas izvietoti ģeodinamiski aktīvās teritorijās, ir nepieciešama sistemātiska kontrole, lai novērstu grunts kustību izraisītas avārijas situācijas. Var izmantot ne tikai ģeodēzisko kontroli (minētajā gadījumā PSI metodi vai ģeodēzisko nivelēšanu), bet arī seismiskās metodes. Seismoloģisko monitoringu iespējams veikt, izmantojot lokālo novērojumu tīklu. Tas ļauj noteikt, vai seismiskums ir lokāls. Turklāt šādos iecirkņos ļoti lietderīgi ir lietot seismiskās metodes, lai novērtētu grunts dinamiskās īpašības. Efektīvākā un operatīvākā metode ir kvartāra nogulumu slāņa, kas pārklāj blīvos devona pamatiežus, pārnēsama funkcijas izvērtējums. Šim nolūkam var izmantot spektrālo attiecību H/V metodi (Nakamura, 1989). Ar tās palīdzību iespējams novērtēt grunts īpašību dinamiskās izmaiņas, kā arī ar mikroseismisko svārstību analīzes palīdzību var noteikt grunts un būvju nestabilitāti (Nakamura, 2000).

Literatūra

8. Eurokodekss. Seismiski izturīgu konstrukciju projektēšana. 1. daļa: Vispārīgie noteikumi. Seismiskās iedarbes un noteikumi ēkām. LVS EN 1998-1:2005. 229 lpp.

Chen, Y. P., Huang, B., Chen, Y. M., 2005. Experimental study on dynamic strain of structural soft clay under cyclic loading. Environmental Vibrations. Prediction, Monitoring, Mitigation and Evaluation. ISEV2005. Taylor & Francis Group, London. 43–46.

Gregersen, S., Węjacz, P., Dębski, W., Domanski, B., Assinovskaya, B., Guterch, B., Mäntyniemi, P., Nikulin, V. G., Pacesa, A., Puura, V., Aronov, A. G., Aronova, T. I., Grünthal, G., Husebye, E. S., Sliupa, S., 2007. The exceptional earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004. *Physics of the Earth and Planetary Interior*, 164, 1–2, 63–74.

Nakamura, Y., 1989. Method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quarterly report of RTRI, Vol. 30, No. 1, pp. 25–33.

Nakamura, Y., 2000. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. Proceeding of the Twelfth World conference on earthquake engineering. Auckland, New Zealand.

Nikulīns, V., 2001. Assessment of the seismic hazard in Latvia. Version of 2007 year. RTU zinātniskie raksti. Materiālzinātne un lietišķā ķīmija. 1(24), 110–115.

Nikonov, A. A., Aptikaev, F. F., Aleshin, A. S., Assinovskaya, B. A., Pogrebchenko, V. V., Ponomareva, O. N., 2005. Kaliningrad earthquake of September 21, 2004, Macro seismic data for near and mesoseismic zones. Kaliningrad earthquake September 21, 2004. Workshop materials. 26–29.

Nikulīns, V., 2005. Estimation of seismic effects in Latvia from the Kaliningrad earthquake of September 21, 2004. Kaliningrad earthquake of September 21, 2004, Macro seismic data for near and mesoseismic zones. Kaliningrad earthquake September 21, 2004. Workshop materials. 30–31.

Ņikuļins, V., 2009. Baltijas virtuālais seismiskais tīkls un tā aprobēšanas iepriekšējie rezultāti. 67. zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. Referātu tēzes. 222–223. lpp.

Ņikuļins, V., 2009. Seismiskā efekta novērtējuma rezultāti kvartāra nogulumos Latvijā. LU 67. zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. Referātu tēzes. 223.–225. lpp.

TVNET, 2014. Iedzīvotāji: plaisas iebrukusajā ēkā Mežciemā parādījās CSDD ēkas dēļ. http://www.tvnet.lv/zinas/latvija/520052-iedzivotaji_plaisas_iebrukusaja_eka_mezciema_paradijas_csdd_ekas_del.

Whitlock, J., 2010. Western Ring Route – Waterview Connection. Assessment of vibration effects. Report of New Zealand Transport Agency (NZTA), 45. p.

Алешин, А. С., Аносов, Г. И., Бессараб, Ф. С., Дробиз, М. В., Дементьев, Ю. В., Погребченко, В. В., Рогаль, Л. А., Скворцов, А. Г., Царев, А. М., Чугаевич, В. Я., 2014. Сейсмическое микрорайонирование территории г. Калининграда. Инженерные изыскания, 9–10 Э, с. 68–79.

Арефьев, С. С., Сидорин, В. Я. и др., 2008. Сейсмическое микрорайонирование территории города Лалининграда. 2-й этап: «Сейсмологические исследования для оценки сейсмической опасности территории г. Калининграда». М.: ИФЗ РАН, 130 с.

ГОСТ Р 52892-2007. Национальный стандарт РФ. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию. <http://www.vashdom.ru/gost/print/52892-2007/>.

Никулин, В. Г., 2011. Сейсмические сотрясения 22 ноября 2010 года в Риге и Рижском районе. Актуальные вопросы мониторинга геологической среды и безопасности урбанизированных территорий. Тезисы докладов 1-й международной конференции. БФУ им. И. Канта, 49–52.

Никулин, В., 2013. Зоны геологической опасности для Лиепай и Риги на основе результатов дистанционного зондирования методом *Persistent Scatterer Interferometry*. *Sabiedrība un kultūra. Rakstu krājums, Liepājas Universitāte*, XVI, 432–439.

EFFECT OF SAPROPEL FERTILIZER APPLICATION ON SOIL AGROCHEMICAL PROPERTIES WITHIN THREE YEARS PERIOD

Līvija ZARINA

Institute of Agricultural Resources and Economics

Email: lzar@inbox.lv

Introduction

Soil is a vital part of the natural environment and one of the key foundations for agriculture; therefore it is important to ensure its primary quality – fertility. Since soil quality cannot be measured directly, there exist supporting indicators (Līpenīte & Kārklīņš, 2011). One of the indicator groups contains soil agrochemical properties, of which the most important are soil reaction, plant available phosphorus and potassium, as well as to them closely related organic matter content. As a result of agricultural activities soil fertility declines, therefore in many countries researchers long have been looking for ways to prevent it. One of suitable options is regular incorporation of organic fertilisers (including sapropel) in soil.

In Latvia, in accordance with the ‘Mining inventory balance of the year 2012’, 269.83 thousand tonnes of sapropel have been collected from existing active business deposits (LVĢMA, 2013). It is only a part of the potential quantity, which in total is evaluated as around 2 billion m³ (Stankeviča *et al.*, 2013).

Effectiveness of sapropel usage in agriculture is proved by a number of investigations conducted in various countries and generally its positive effect on soil properties and forming of yield is found (Blecic *et al.*, 2014). The literature review compiled by authors Stankeviča & Kļaviņš (2013) gives an overview about recent findings regarding sapropel's quality and its possible application corresponding to it. In accordance with so far research results, sapropels are diverse organic materials with different content. Thus, commercially available are a number of different sapropel-based fertilizers. However, for clarifying the actual effectiveness of such fertilisers usage in site-specific agro-ecological conditions a lot more practical research is needed.

The aim of this study was to determine the influence of locally (in Latvia) produced and in accordance with the Law On Handling of Fertilisers registered sapropel fertilizer (NPK 0.4–0.02–0.03) on soil agrochemical properties.

Materials and methods

Experiment was conducted in State Priekuli Plant Breeding institute that is located in North Eastern part of Latvia. The influence of sapropel fertilizer (NPK 0.4–0.02–0.03) on soil agrochemical properties in sandy loamy soddy podzolic soil was tested in the field of agro technological crop rotation after year 2012. Crop rotation: spring barley (*Hordeum vulgare* L.), potato (*Solanum tuberosum* L.), winter rye (*Secale cereale* L.), oat – pea (*Avena sativa* L. – *Pisum sativum* L.) mixture, alsike clover (*Trifolium hybridum*).

Soil agrochemical characteristics before the experiment were as follows: $\text{pH}_{\text{KCl}} = 5.9$, mobile P = 151, K = 121 mg kg⁻¹, organic matter content = 24 g kg⁻¹.

The basic soil properties were determined accordingly Ministry of Agriculture Arrangement No. 21 from 29 August 2014, 'Procedure for assessment of agrochemical research of soils and results thereof'. Soil samples were taken from the 0–25 cm depth before sowing in spring and accordingly in autumn for rye.

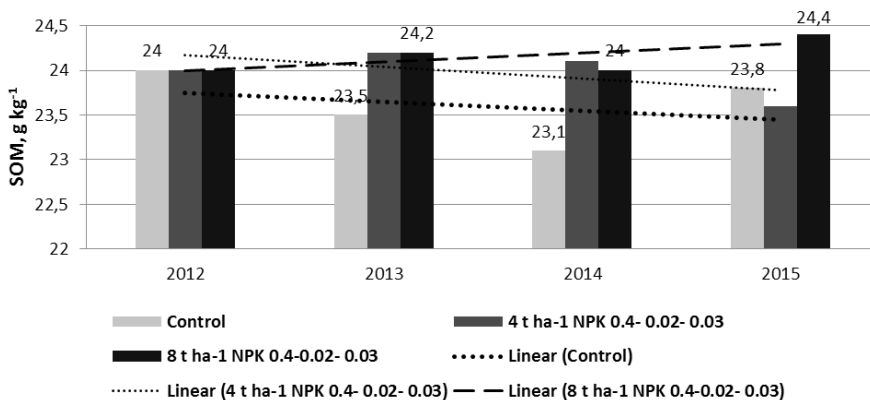
Sapropel fertilizers were applied to each potato, in the day of its planting. There were carried out three treatments of experiment: (1) Control – only mineral fertilizers (N48 P44 K72 kg ha⁻¹); (2) sapropel fertilizer 4 t ha⁻¹ and mineral fertilizers; (3) sapropel fertilizer 8 t ha⁻¹ and mineral fertilizers. Mineral fertilisers were spread every year on the soil before sowing each crop of the rotation (rate accordingly specific plant nutrient removal). Size of experimental plots was 22.4 m², replications – 4.

The experimental field was ploughed up two weeks after harvesting of pre-crop, that is, in previous autumn, 22 cm deep. Early spring for preserving soil moisture the field was schuffed. One week before potato planting the mineral fertilizer was spread on soil and subsequently was made a deep ploughing. Sapropel fertilizer was imbedded in space between rows. During the following years the after-effect on the soil quality parameters (organic matter, pH, P₂O₅, K₂O) was determined according with Latvian standardized methods (Augšņu agroķīmiskās izpētes un izpētes rezultātu novērtēšanas kārtība, 2014).

The data of soil chemical properties were processed using the computer programme EXCEL2000 version 2.2. Data were statistically evaluated according ANOVA and Least Significant Difference (LSD_{0.05}) test.

Results and discussion

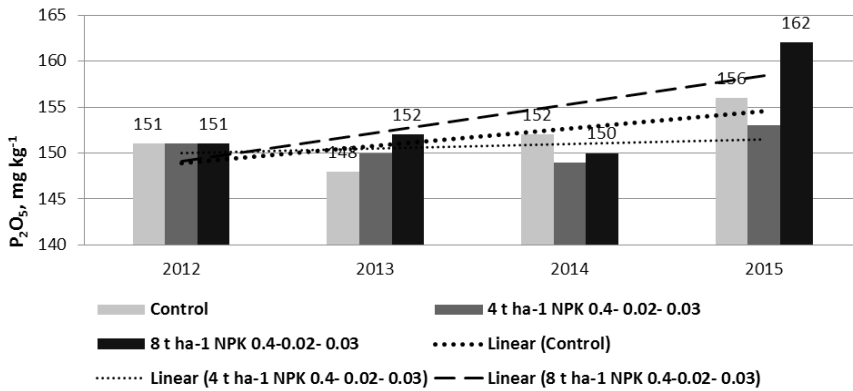
The data from experiment show that the use of sapropel fertilizer (NPK 0.4–0.02–0.03) has no significant influence on soil pH indicator within three years after its application, what means that the acidity of soil did not change. Similarly there were no significant changes with respect to the soil organic matter content. However slight tendency that the organic matter content increase at highest sapropel fertilizer rate was found (Fig. 1). The obtained data show minimal influence on content of available phosphorus (Fig. 2).



LSD_{0.05} = 0.62

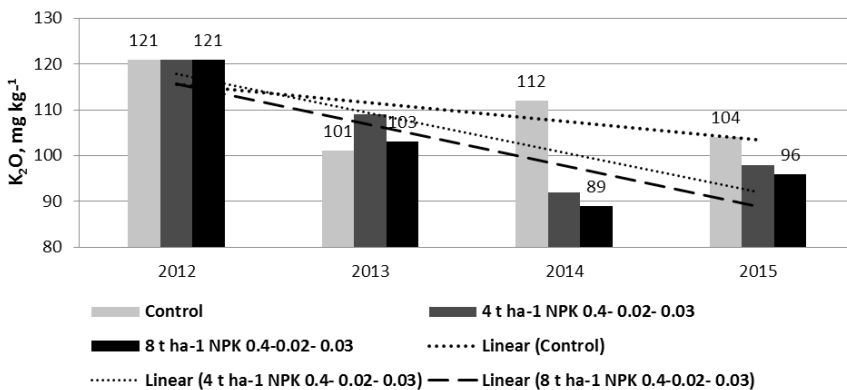
Fig 1. Influence of sapropel fertilizer on soil organic matter (SOM)

In the third year an increase of phosphorus was detected at fertilizer rate 8 t ha⁻¹. The content of potassium was lower in all treatments compared with its content before the establishment of the experimental plots (Fig. 3). The results indicate negative trend: content of mobile potassium from 121 mg kg⁻¹ in the first experimental year decreased on 17 (control), 19 (4 t ha⁻¹) and 32 mg kg⁻¹ (8 t ha⁻¹), respectively.



LSD_{0.05} = 17.2

Fig 2. Influence of sapropel fertilizer on available phosphorus content (P₂O₅)



LSD_{0.05} = 20.4

Fig 3. Influence of sapropel fertilizer on available potassium content (K₂O)

Research findings from long-term studies in other countries (Baksiene & Ciūnus, 2012) already point that sapropel influence on soil properties reveals progressively, not rapidly. Results obtained in Latvia confirm the mentioned, because there was no contribution in improvement of soil chemical properties fixed in next season after incorporating sapropel fertiliser in soil (Zariņa, 2014). Starting with the third year of experiment could be assessed differences. Still there was no significant influence on soil acidity and soil organic matter

content. A slightly positive effect on content of soil phosphorus and more pronounced negative effect on available potassium was fixed in experimental field after harvesting of succeeding crop (winter rye). In this respect scientific literature reviews made by other authors (Biushkin, 2001, Drozdov, 2009, Stankeviča & Kļaviņš, 2013) point that such changes arise more due to rates of basic fertilization and crop grown in the experimental field.

It is clear that the provision of sapropel rate depends on the soil characteristics therefore recommended doses from literature varies in large scale (from 10–150 t ha⁻¹), and most often as the main accent of sapropel use is improving of soil agrophysical properties (Daugvīliene *et al.*, 2014). Doses used in the study were set by taking into account that the soil in the plots is cultivated and with relatively high organic matter content (above 20 g kg⁻¹). Relatively low rates were chosen to clarify if the biologically active organic fertilizer developed on sapropel base when used as a complement ensures greater economic efficiency in crop production.

Conclusions

In the study conducted the application of sapropel fertilizer (SF) NPK 0.4–0.02–0.03 within the three year period as a whole did not show significant influence on soil agrochemical properties. There were no significant effects either on soil acidity (pH) or soil organic matter content (SOM). However, the data obtained after third year of observation reflect a positive influence on the growth of phosphorus content at the higher sapropel fertilizer rate (8 t ha⁻¹). In the study a negative tendency regarding on available potassium in soil was observed, that was more pronounced at the lower sapropel fertilizer dose. It should be noted that these results could be connected with the crop rotation effects. These impacts will be studied in a further research, which is planned for covering the entire rotation cycle, that is, 6 years as a whole.

References

- Augšņu agroķīmiskās izpētes un izpētes rezultātu novērtēšanas kārtība, 2014. Available: https://www.zm.gov.lv/public/ck/files/ZM/kartibas/ZMk_21_2014.pdf. [cited 07.01.2015].
- Baksiene, E., Ciūnys, A., 2012. Dreging of lake and application sapropel for improvement of light soil properties. *Journal of Environment Engineering and Landscape Management*, 20 (2), 97–103.
- Biushkin, I. G., 2001. Sapropēja iestrādes ietekme uz augsnes īpašībām, ziemas rudzu un miežu kvalitāti. [Russian language]. Available: <http://earthpapers.net/preview/53349/d#?page=9> [cited 07.01.2015].
- Blecic, A., Raylic, B., Dubljevic, R., Mitrovic, D., Spalevic, V., 2014. Application of sapropeli in agricultural production. *Agriculture and Forestry*, 60 (2), 243–250.
- Daugvīliene, D., Burba, A., Bakšiene, E., 2014. Changes of sandy loam Cambisol properties at application for calcareous sapropel and limestone. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 12(1), 491–495.
- Drozdov, I., 2009. Sapropēja ietekme uz graudaugu-zālaugu augsekas ražību un velēnu podzolēto augšņu auglību. Autoreferāts, p. 169 [Russian language]. Available: <http://www.dissercat.com/content/vliyanie-sapropelya-na-produktivnost-zernotravyanogo-zvena-sevooborota-i-ploodorodie-dernovo-#ixzz3xLeREbXp> [cited 15.01.2016].
- Līpenīte, I., Kārklīņš, A., 2011. Augsnes kvalitāte I. Problēmas nostādne un augsnes organiskā viela. *LLU Raksti* 26 (321), 31–17.

LVĢMA, 2013. Derīgo izrakteņu krājumu balance par 2012. gadu. Available: https://www.zm.gov.lv/public/ck/files/ZM/kartibas/ZMk_21_2014.pdf. [cited 07.01.2015].

Stankeviča, K., Burlakovs, J., Klavins, M., 2013. Organic rich freshwater sediments (sapropel) as potential soil amendment for cultivation of areas contaminated with heavy metals. *GeoConference on Resources, Forest, Marine and Ocean Ecosystems*, 595–601.

Stankeviča, K., Kļaviņš, M., 2013. Sapropelis un tā izmantošanas iespējas. *Material Science and Applied Chemistry*, 29, 109–125.

Zariņa, L., 2015. After-effect of sapropel fertilizer use on succeeding crop in soddy podzolic soil. Krāj.: Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. Latvijas Universitātes 73. zinātniskās konferences referātu tēžu krājums. Rīga: LU Akad. apgāds, 321–322.

LONG-TERM EFFECT OF MINERAL FERTILIZERS ON SOIL POTASSIUM DYNAMICS IN A SODDY-PODZOLIC SOIL

Livija ZARINA¹, Liga ZARINA²

¹ Institute of Agricultural Resources and Economics
E-mail: Livija.Zarina@priekuliselekcija.lv

² University of Latvia, Faculty of Geography and Earth Sciences
E-mail: Liga.Zarina@lu.lv

Introduction

Potassium (K) comprises 2.6% of the Earth's crust being the seventh most abundant element and the fourth most abundant mineral plant nutrient. Through weathering potassium is set free to the soil where its content varies between 0.1% and 3%, however, most frequently it is about 1%. Accordingly the total K contents in the upper 20 cm of soils range between 3000 and 100 000 kg K ha⁻¹ (Schroeder, 1980). More than 98% of this total K content is bound up in the minerals while less than 2% is found in organically bound or absorbed form or in the soil solution, thus – it is available to crops.

Potassium is a major plant nutrient which has to be accumulated in great quantity by roots and distributed throughout the plant and within plant cells (Gierth & Maser, 2007). At the same time, the availability of potassium to the plants is highly variable, due to complex soil dynamics, which are strongly influenced by root-soil interactions (Ashley *et al.*, 2006). Potassium is closely related to nitrogen (N) nutrition (Kayser & Isselstein, 2005). Should be noted that the soil K availability differ in different soil types. The clay and clay loam soils are most suitable for maintaining adequate soil K exchange when no or small applications of K fertilizer are made (Barré *et al.*, 2007; Serrano *et al.*, 2014). The content of chemical elements in soils in the Latvian territory is very variable (Gilucis & Segliņš, 2003), and the factors determining concentrations of the chemical elements in the soil have been studied (Gilucis, 2007). However, there is still a lack of information about cycling of soil K depending cropping systems.

It is generally known that the incorporation of fertilizers is increasing yield and, at the same time, it is leaving influence on soil properties. The long-term research conducted since 1958 at the Institute of Agricultural Resources and Economics in Priekuli investigates impact of the fertilization system and the different crop rotations on soil properties with the initial aim to study agroecological effects on soil agrochemical characteristics for finding farming practices towards more sustainable systems.

Materials and methods

Research was conducted basing on data of long-term field experimental program established in 1958 at the Institute of Agricultural Resources and Economics in Priekuli (57°19'N, 25°20'E). Respective local average precipitation is 690 mm, characteristic is a moisture

natural surplus and average temperatures during the analyzed years of experiments varied from -6.2°C in January to 16.7°C in July.

Experimental field has been arranged on a semi-natural meadow with soddy-podzolic sandy loamy soil that is typical for the area. The agrochemical soil characteristics before the experiment were as follows: pH_{KCl} – 5.9 to 6.1, available phosphorus (DL – method) 80–100 mg kg^{-1} , available potassium (DL – method) 100–120 mg kg^{-1} , organic matter content (Tyurin's method) – 21 g kg^{-1} . In 1959, 22 t ha^{-1} of lime were applied. No pesticides were used in the experiment for weed, pest and disease control.

Soil tillage technology was based on the traditional in Latvia – the soil was ploughed in the autumn and mineral fertilizers were spread on the soil before sowing. Soil samples were taken yearly from the 0–25 cm depth in autumn before ploughing. The size of each crop plot was 100×5.9 m. Design of the experimental field is given in literature (Zarina, 2000).

This study represents data of five crop rotations which include cereals, potatoes and mixture of perennial grasses and leguminous crops (clover/grasses). The clover used in rotations was red clover (*Trifolium pratense*), which was established as an under sown in spring barley (*Hordeum vulgare* L.).

Crop rotations were established in space and in time simultaneously and they were as follows:

- A: spring barley – potato – spring barley;
- B: spring barley – clover/grasses – potato;
- C: spring barley – clover/grasses – spring barley – winter rye – spring barley – potato;
- D: spring barley – clover/grasses – clover/grasses – winter rye – spring barley – potato;
- E: spring barley – clover/grasses – winter rye – potato.

In this study three different fertilizer treatments were compared:

- 0: Control (without fertilization);
- NPK: N66P90K135 (normal);
- 2NPK: N132P180K270 (double).

In the study the analytical methods of previous years and their precision were evaluated and the measurement data from archive was checked, verified and included in specially created MS Excel database for further analysis. In this study for soil potassium evaluation was used data about time period from 1964 until 1998.

Results and discussion

The study results demonstrate the accumulation of potassium (K) in the experimental plots where mineral fertilizers were used (Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4). The range of the increase of soil K values respective to fertilization treatment NPK was from 9.8 to 14.4 units and for fertilization treatment 2NPK it was from 24.8 to 32.7 units, accordingly representing increase of 2–2.9 times in case of fertilization treatment NPK and of 3.6–4.5 times for fertilization treatment 2NPK. Overall, during the analyzed observation period the ranging of soil K values in fertilized variants was large – for fertilization treatment NPK it was from 6.8 to 40 units and for fertilization treatment 2NPK it was from 7.2 to 45.3 units (Fig. 1). While in plots without fertilization the soil K content slightly decreased for from 2.4 to 3.8 units and soil K values did not exceed 10.8 units.

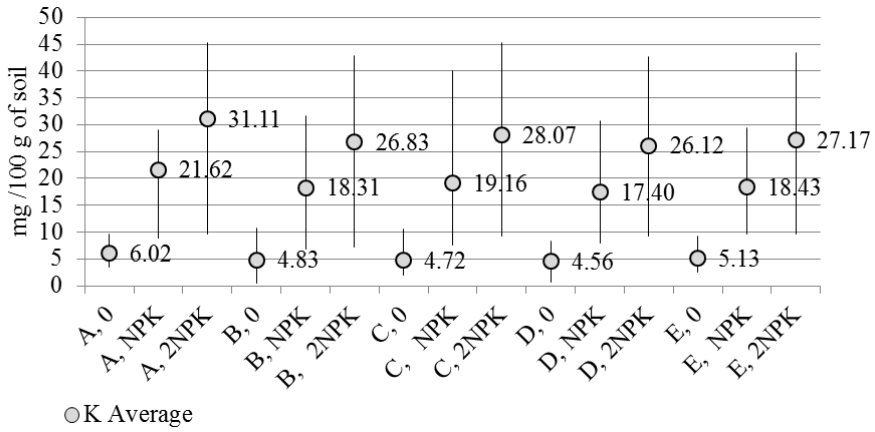


Fig. 1. Range of soil potassium (K) content during 35-year period depending on different crop rotations (A, B, C, D and E) and fertilization systems (0, NPK and 2NPK)

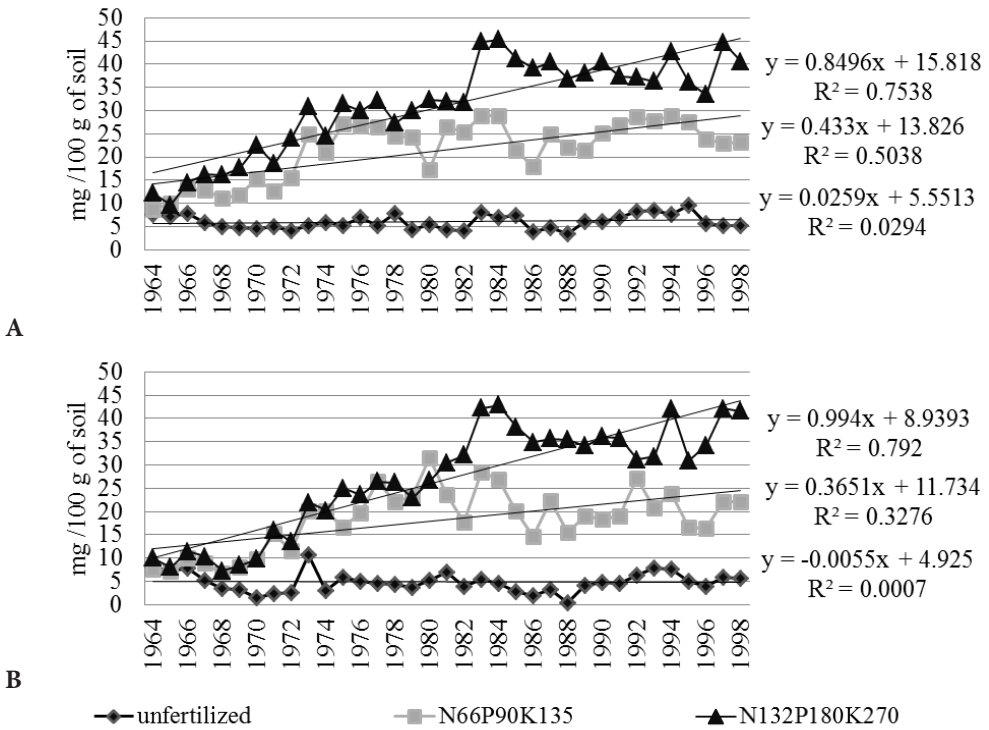


Fig. 2. Dynamics of soil potassium content in 3-field crop rotations with (B) and without (A) clover/grasses depending on fertilization systems. A: spring barley – potato – spring barley; B: spring barley – clover/grasses – potato

The study data indicate that the soil K content significantly differs ($\alpha = 0.05$) depending on fertilization system. However, in fertilized variants the evaluation of mean values did not show significant difference ($\alpha = 0.05$) depending on crop rotation within one fertilization system. Regarding to evaluation of the variance the only significant difference ($\alpha = 0.05$) corresponds to the fertilization treatment NPK between crop rotations C and E (Fig. 3, Fig. 4). Data from plots without fertilization shows significantly different variance ($\alpha = 0.05$) just between 3-field crop rotations A and B and evaluation of the mean values shows that crop rotation without clover/grasses is significantly different ($\alpha = 0.05$) from other crop rotations included in the study.

The study shows that the content of soil K decreased in plots without fertilization, but only up to a certain level, forward remaining in soil at more or less constant level (Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4). Whereas the soil in the experimental field is sandy loam, these findings coincide with results of other researchers (Serrano *et al.*, 2014) who have pointed that clay loam soils are most suitable for maintaining adequate exchangeable soil K where no fertilizer application is made.

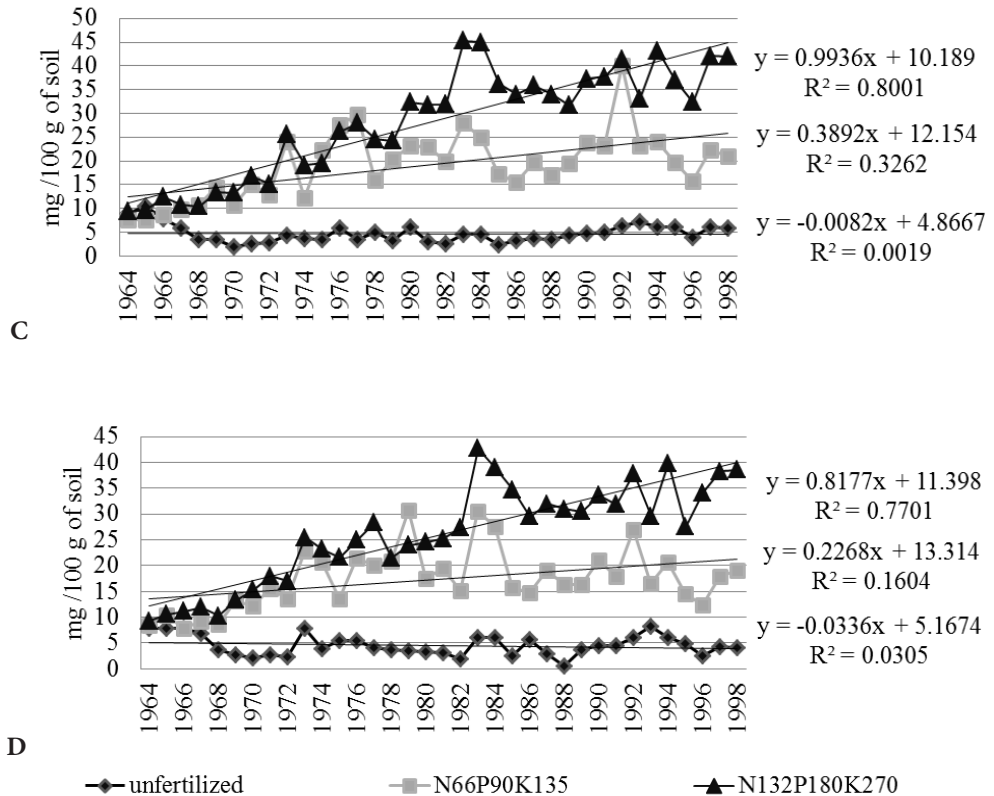


Fig. 3. Dynamics of soil potassium content in 6-field crop rotations with one (C) and two (D) clover/grasses fields depending on fertilization systems.
C: spring barley – clover/grasses – spring barley – winter rye – spring barley – potato;
D: spring barley – clover/grasses – clover/grasses – winter rye – barley – potato

Data of the fertilized plots from 3-field crop rotations shows that in the rotation without clover/grasses soil K accumulation is starting relatively more rapidly than in rotation with clover/grasses. After the first full rotation cycle the soil K content in plots with normal dose of mineral fertilizers NPK increased by 1.5 times in the crop rotation A, and by 1.3 times in the crop rotation B, but in plots with double dose of fertilizers 2NPK respectively by 1.2 and by 1.1 times. Since, there were no significant differences between 3-field crop rotations concerning accumulation of soil K in the fertilized plots within one fertilization treatment, the study suggest that short crop rotation structure of crop species groups included in the research (cereals, potato and perennial grasses) here generally does not make an impact. However, data shows that in rotation with clover/grasses soil K values fluctuate more pronounced. When looking at the data of the 6-field crop rotations (Fig. 3), accumulation of soil K has been more fluctuating in crop rotation with two clover/grasses fields (D) in comparison with crop rotation with one clover/grasses field (C).

The study shows that application of fertilizer in normal dose NPK is beneficial for increasing soil K content in all crop rotations (Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4) and generally it does not exceed the recommended level (18–24 mg 100 g of soil) for soddy-podzolic loamy soils as it is reported for Latvia conditions (Būmanis, 1999). Accumulation of soil K in experimental plots with double dose of fertilizers 2NPK is characteristic by fluctuation that occurs after a longer time period of relatively gradual increase of soil K content in comparison with fertilization treatment of normal dose NPK. When looking at the data of 6-field crop rotations (Fig. 3), the increase of soil K content after two rotation cycles can be considered as normal, but hereafter the accumulation is unacceptable because of discrepancy with sustainability of agricultural management. Similarly, in the soil K accumulation other crop rotations after 3 (crop rotation A) and 4 (crop rotations B and E) cycles becomes inappropriate for sustainable farming practices (Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4).

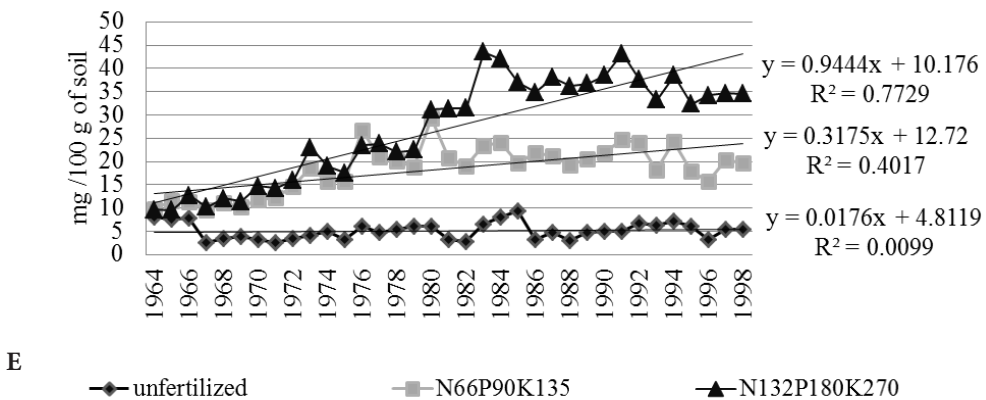


Fig. 4. Dynamics of soil potassium content in 4-field crop rotation (E) depending on fertilization systems
E: spring barley – clover/grasses – winter rye – potato

Publications about soil fertility experiments mostly focus on the long term effects on nutrient mineralization, fixation and availability (Bergkvist & Oborn, 2011). However, often such studies do not consider interaction of the mentioned aspects with other processes in

soil and also the kind of the fertilizers used (Borzenko *et al.*, 2007). Nutrient management aims to maintain chemical soil fertility in an agronomic desired and ecologically acceptable range (without accumulation), that would ensure supply of crops at the right time with the needed nutrients and minimize the losses of nutrients in soil (Wijnands, 1999). In practice, tracing the changes of certain soil properties is not always possible, due to great influence of naturally occurring independent factors, like the impact of climatic conditions on the plant nutrient uptake (Murell, 2000) among others. This study point to general tendencies depending on certain fertilization systems and various crop rotations in long-term period, but for wider interpretation about the fluctuating changes of the soil K content should be analyzed also other soil characteristics and influence factors. However, the found trends can give indications about the sustainability and agronomic efficiency of the mineral fertilizer application systems concerning potassium content in the soil.

Conclusions

Results of the study conducted show that the level of available potassium (K) in soddy-podzolic sandy loamy soil is relatively stable in long-term, and it is dependent on fertilization background. The question remaining is about specificity of soil K dynamics. Taking into account that the capacity of soil to supply potassium to crops over an extended period of time is dependent upon the quantity and the type of clay (secondary) minerals, there is a need for developing appropriate studies when planning sustainable farming practices. Data from long-term experimental field is a good base for the start-up.

References

- Ashley, M., K., Grant, M., Grabov, A., 2006. Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins. *J. Exp. Bot.*, 57, 425–436.
- Barré, P., Montagnier, C., Chenu, C., Abbadie, L., Velde, B., 2008. Clay minerals as a soil potassium reservoir: observation and quantification through X-ray diffraction. *Plant and soil*, 302 (1), 13–220.
- Bergkvist, G., Oborn, I., 2011. Long-term experiments in Sweden- what are they designed to study and what could they be used for? *Aspects of Applied Biology*, 113, 75–85.
- Borzenko, S. G., Sokolova, T. A., Prokoshev, V. V., 2007. Effect of Potassium Fertilizer Composition on the Potassium Status on Soddy-Podzolic Soils under Model Experimental Conditions. *Moscow University Soil Science Bulletin*, 62 (4), 208–214.
- Būmanis, P., 1999. *Labas lauksaimniecības prakses nosacījumi*. Latvijas Lauksaimniecības Universitāte, Jelgava, 99 p.
- Gierth, M., Mäser, P., 2007. Potassium transporters in plants-Involvement in K⁺ acquisition, redistribution and homeostasis. *Plant Transporters and Channels*. 581 (12), 2348–2356.
- Gilucis, A., 2007. *Mikro- un makroelementu satūra un izplatības likumsakarības Latvijas augšņu virsējās horizontos*. Dissertation, Doctoral Thesis.
- Gilucis, A., Segliņš, V., 2003. *Latvijas ģeoķīmijas atlants. Augšņu ģeoķīmiskās kartes*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, 88 p.
- Kayser, M., Isselstein, J. 2005. Potassium cycling and losses in grassland systems: a review. In: *Grass and forage science*, 60 (3), 213–224.
- Murell, T. S., 2011. Why are Soil Test Potassium Levels to Variable over Time in the Corn Belt? Available: <http://fyi.uwex.edu/discoveryfarms/files/2011/06/murrell-k-variability.pdf>. [cited 15.01.2016].
- Schroeder, D., 1980. Structure and weathering of potassium containing minerals. Potassium in the Soil/Plant Root System. *IPI Research Topics* Nr. 5, 5–26.

Serrano, S., Silva, J. M., Shahidian, S., 2014. Spatial and temporal patterns of soil available potassium on grazed permanent pastures-perspectives of differential fertilization. *Proceedings International Conference of Agricultural Engineering*, Zurich, 8 p.

Wijnands, F. G., 1999. Crop rotation in organic farming: theory and practice. *Proceedings from an International workshop 'Designing and testing crop rotations for organic farming'*. Danish Research Centre for Organic Agriculture, 21–35.

Zarina, L., 2000. Soil potassium and phosphorus in different crop rotation by influence of fertilisation system. In: *Potassium and phosphorus: fertilization effect on soil and crops*. Regional IPI/LIA Workshop, Lithuania, 202–205.

Jaunās tehnoloģijas, materiāli un produkti

ZEMES DZĪĻU UN TO NODERĪGO ĪPAŠĪBU PĒTĪJUMI VALSTS PĒTĪJUMU PROGRAMMAS OTRAJĀ POSMĀ

Valdis SEGLIŅŠ

LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte
E-pasts: Valdis.Seglins@lu.lv

Valsts pētījumu programma 2014.10-4/VPP-6/6 “Meža un zemes dziļu resursu izpēte, ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas” (ResProd) (2014–2017) kopumā aptver četrus nozīmīgus projektus, starp kuriem kā 4. projekts ir “Zemes dziļu resursu izpēte– jauni produkti un tehnoloģijas” (Zeme). 2015. gadā šī projekta galvenais mērķis bija veikt Latvijas zemes dziļu resursu (galvenokārt mālu, dolomītu, kūdras un sapropeļa) pētījumus un sākt pētījumu eksperimentālo un analītisko daļu.

Projekta kopējais mērķis ir veikt pētījumus, kuri ļautu ilgtspējīgi un racionāli izmantot dabas resursus, palielinot resursu izmantošanas pievienoto vērtību. Projekta realizācijā iesaistītie pētnieki to izprot kā mērķorientētus pētījumus racionālai, ilgtspējīgai Latvijas zemes dziļu resursu izmantošanai, attīstot jaunu produktu ražošanu no vietējām izejvielām, palielinot no tiem iegūstamās produkcijas pievienoto vērtību un konkurētspēju, kā arī pētījumu rezultātā palielināt vidi saudzējošo tehnoloģiju ieguldījumu vietējo resursu ražošanā, izstrādāt tehnoloģijas un produktus vides rekultivācijai un pasargāšanai no piesārņojuma. Minēto mērķu aktualitāti nosaka valstī noteiktās pētniecības prioritātes, tās tieši izriet no NAP2020, tās ir norādītas “Eiropa 2020” stratēģijā un Latvijas nacionālajā reformu programmā, “Latvija 2030”, “Horizonts 2020”, VNPC un kompetences centru dokumentos, Nacionālās industriālās politikas pamatnostādnēs 2013.–2020. gadam un Vides politikas pamatnostādnēs 2014.–2020. gadam. Minētais nodrošina projekta saistību ar vairākām izvirzītajām pētniecības prioritātēm dažādā to kontekstā un netieši veicina projekta izstrādņu nozīmīgumu un potenciālo ilgtspēju.

Nemot vērā pētījuma ārkārtīgi plašo tematisko aptvērumu, kā arī atvēlētā laika un finanšu ierobežojumus, VPP projektā pētniecība koncentrējas atsevišķos virzienos, kuri savulaik ir apspriesti un saskaņoti ar sociālajiem partneriem, projektu uzraugošajām institūcijām, kā arī ar pētniecības grupu iespējām sasniegt noteiktos rezultātus.

Tādēļ projektu veido vairāki (6) savstarpēji saistīti un papildinoši augstas sinerģijas apakšprojekti, un tos realizē abi projekta partneri – Latvijas Universitāte (Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Bioloģijas fakultāte, LU Mikrobioloģijas un biotehnoloģijas institūts) un Rīgas Tehniskā universitāte (Silikātu materiālu institūts un Vispārējās ķīmijas

tehnoloģijas institūts). Izceļams, ka visas projekta aktivitātes un pētījumi ir savstarpēji saistīti un integrēti arī pētniecības vidē ikdienā, un sekojošais izklāsts ļaus īsi raksturot 2015. gadā paveikto, bet konkrēto pētnieku veikums ir atspoguļots publikācijās un to apkopojumos (www.lu.lv/vpp/posmu-rezultati/).

Veiktie **zemes dziļu un resursu pētījumi** apskata plašu spektru Latvijas zemes dziļēs pieejamo derīgo izrakteņu, galvenokārt izceļas dolomīta un kūdras pētījumi. Ir pētīti arī smilts, māli un to veidoto iegulu izvietojuma likumsakarības, kā arī pārstrādei nozīmīgāko īpašību sadalījuma likumsakarības iegulās.

Detalizēti ir pētīti dolomīta resursi, to pieejamība un īpašības, un šī darbība ir rezultējiesies A. Stinkules un Ģ. Stinkuļa plašā pārskata monogrāfijā. Tāpēc turpmāk uzmanība būtu pievēršama tikai atsevišķu dolomīta paveidu apzināšanai, kuru tehnoloģiskās īpašības ir piemērotas augtas pievienotās vērtības produktu ražošanai. Savukārt 2015. gadā aizstāvētā D. Pipiras disertācija ir veltīta dolomīta zinātniskai izpētei un ļauj paplašināt noteiktu īpašību dolomīta izmantošanas prognozes.

Smilts, grants un māla nogulumu veidošanās apstākļu izziņai un pamata likumsakarību noskaidrošanai ir veltīts K. Lamstera promocijas darbs. Savukārt L. Zariņas promocijas darbs veltīts kramam – gan kā izejvielai, gan arī kā materiālam, no kura darinātie artefakti ir interpretējami daudz plašākā kontekstā.

Jāizceļ sasniegumi ģeofizikālo pētījumu metodiku attīstībā. J. Karuša promocijas darbā tie detalizēti apskatīti saistībā ar kūdru, bet metodiskām novitātēm – uzbērumu un grunts uzbērumu pētīšanai ar radiolokācijas metodi – ir veltīta atsevišķa monogrāfija. Minētās metodiskās izstrādes šobrīd ir nodotas uzņēmumiem aprobācijai.

Mālu sorbcijas īpašību un arī kosmētiskā izmantojamo īpašību pētījumi liecina, ka, izmantojot izsmidzināšanas žāvētavu, ir iespējams iegūt viendabīgas un blīvas mikrosfēras ar raupju virsmu. L. Bērziņas-Cimdiņas vadītajā pētniecības grupā veiktajos eksperimentos novērots, ka lielākā ietekme uz mikrosfēru izmēru ir gaisa spiedienam izsmidzināšanas sprauslā, savukārt pārējie pētītie parametri atstāj relatīvi nelielu ietekmi. Ar analītiskiem pētījumiem noskaidrots, ka mālu sastāvs ietekmē daļiņu virsmas raupjumu, un tādēļ turpmākajos pētījumos ir paredzēts novērtēt žāvējamās suspensijas stabilitātes ietekmi uz mikrosfēru morfoloģiju un spēju atkārtoti suspendēties pēc žāvēšanas.

Otrā pētniecības virzienā ar izsmidzināšanas žāvētavu iegūts mālu pulveris (frakcija zem 2 μm) brūnā krāsā, kas kosmētiskā nodrošina labāku krēma homogenitāti, nekā izmantojot pietā mehāniski saberztu pulveri, līdz ar to, lietojot šādu krēmu, uz ādas nav novērojami mālu aglomerāti. Lielākais iegūtais krēmu saules aizsardzības faktors (SPF) sasniegts 1,35 (pie mālu daudzuma krēmā 15%), un tas ļauj cerīgi raudzīties uz iespējam nākotnē izstrādāt mālu saturošus krēmus ar lielākām SPF vērtībām.

Praktiski nozīmīgs ir pētījums ar Latvijas illītu saturošo mālu (frakcijas zem 2 μm) pievienošanu emulsijai eļļa-ūdenī (iegūstot Pikeringa emulsiju), tas ļauj uzlabot emulsijas stabilitāti. Pētījumā konstatēts, ka, palielinoties Pikeringa emulsiju viskozitātei, attiecīgi uzlabojas to stabilitāte. Pētījumā visstabilākās emulsijas izveidojās, pievienojot mālus ar lielāku mālu minerālu koncentrāciju, kā arī palielinot pievienotās mālu frakcijas daudzumu līdz 10 masas %. Lielāka stabilitāte bija emulsijām ar pH 5,5 nekā ar pH 7–8, un tas netieši norāda uz turpmākiem darba virzieniem pētīt stabilitāti emulsijām ar mazāku eļļas daudzumu un emulsijām, kuras pagatavotas augstākā temperatūrā.

Izveidotas vairākas eksperimentālas suspensijas biodegradablu kompozītmateriālu iegūšanai, izmantojot 1–20 masas % Latvijas mālu. Novērots, ka, pievienojot vairāk nekā 10 masas % mālu, ievērojami palielinās kompozītmateriāla viskozitāte, un ir eksperimentāli noskaidrots mālu koncentrāciju diapazons (< 7 masas %), kurā veidojas nepieciešamās

konsistences slānis. Homogēna slāņa veidošanos ietekmē kompozītmateriālu veidojošo sastāvdaļu hidrofobās īpašības – tikai daļa izveidoto kompozītmateriālu sastāvu, kuriem pievienotas mālu daļiņas, veido homogēnu pārklājuma slāni, un turpmākajos pētījumos ir jāieģūst biodegradablu pārklājumu slāņi un jāizpēta to fizikālās īpašības atkarībā no pievienoto mālu daudzuma.

Pētījumā noskaidrots, ka dobo sfēru granulas, kas apdedzinātas 1000 °C, uzrāda vislielākās organisku savienojumu adsorbcijas spējas, piemēram, diēļdegvielas un benzīna adsorbcija ir attiecīgi $0,30 \pm 0,002$ un $0,29 \pm 0,007$ g/g. Šīs granulas vismazāk adsorbēja organiskos šķīdinātājus toluolu un heksānu – aptuveni 0,24 g/g. Savukārt vismazākā adsorbcijas spēja bija granulām, kuras apdedzinātas 1100 °C – šo granulu adsorbcijas spēja nepārsniedza 0,2 g/g (toluola adsorbcijas). Maksimālā materiālu adsorbcijas spēja praktiski tiek sasniegta pirmajās piecās izturēšanas minūtēs, un tas liecina, ka turpmāk ir jāpēta ar kombinēto metodi iegūta poraina mālu saturoša sorbenta ieguve un jāveic organisku savienojumu sorbcijas īpašību pētījumi.

Pētījumi **jaunu keramikas tehnoloģiju un produktu izstrādē** liecina par porainas kordierīta keramikas, kas sintezēta no $MgCO_3$ un Bāles smilšu kompozīcijām ar 30–35% illīta mālu un $Al(OH)_3$ piedevu, elastības moduļa izmaiņām temperatūras triecienu 800–1000 °C / 20 °C ietekmē. Ir noteikts, ka, pieaugot temperatūras triecienu diferencei, kā arī temperatūras ciklu skaitam, poru keramikas elastības modulis no 95–75 GPa samazinās caurmērā par 25–40 GPa vienībām, kas ir pieļaujāmās robežās, lai šo poru materiālu lietotu kā augsttemperatūras filtru (piem., atējošo dūmgāzu attīrīšanai), pakļaujot to relatīvi krasām temperatūras izmaiņām.

Šajā posmā G. Sedmales vadībā tiek turpināti pētījumi ar nanolīmeņa augsttemperatūras pulverveida dažādu krāsu toņu materiāliem, kas iegūti no illītu $Al(OH)_3$ saķepinātām 1000–1100 °C kompozīcijām pielietošanai temperatūras izturīgu krāsu izstrādei. Līdzīgi tiek turpināti arī darbi pie zemtemperatūras ar sārnu aktivētu materiālu izstrādes – ir sagatavoti Prometeja (karbonātus saturoši māli) un Lažas atradnes māli (mazkarbonātu māli) salīdzinošiem pētījumiem par ķīmiskās apstrādes ietekmi uz to spēju pazeminātās temperatūrās (100–150 °C) veidot cietējošus saistmateriālus.

Ir sagatavoti karbonātus saturoši māli (Ugāles/Usmas, Prometeja atradnes) ražošanas atlikumu – A/S “Sakret” ražotnes pelnu – iestrādei mālu maisījumos, lai mēģinātu izstrādāt keramikas materiālu ar palielinātu porainību. Veikta arī pelnu fažu pārvērtību izpēte, izmantojot diferenciālo termisko analīzi, un ir sagatavotas izejas kompozīcijas.

R. Švinkas vadībā tiek turpināti pētījumi iegūt **augsti porainu keramiku ar aktivētu virsmu**. Galvenie veikto pētījumu rezultāti un secinājumi ir saistīti ar pierādījumiem, ka jauniegūtajiem materiāliem piemīt selektīva sorbcijas spēja attiecībā uz dažām neorganiskajām un organiskajām ūdeni piesārņojošām vielām. Eksperimentāli noteikts, ka sorbcijas spējas lielums ir atkarīgs no vairākiem faktoriem: māla izejvielu ķīmiskā un mineraloģiskā sastāva, apdedzināšanas temperatūras un apstākļiem, kā arī no keramikas virsmas papildu apstrādes, t. i., no nanodispersa pārklājuma vai apstarošanas ar paātrinātajiem elektroniem.

Eksperimentāli noteikts, ka materiālu īpašību uzlabošanai ir iespējams izmantot atsevišķas organiskas izcelsmes izejvielas un svarīga loma ir materiālu porainībai. Savukārt atkarībā no izmantojamā māla ķīmiskā sastāva un apdedzināšanas temperatūras arī pats materiāls var ietekmēt attīrāmās vides pH, kas savukārt ietekmē sorbcijas procesus.

Veiktie pētījumi skaidri iezīmē turpmākos darba virzienus: papildus izmantot jaunas poras veidojošas piedevas; izmantot tādus nanodispersus pārklājumus, kur nanodaļiņas tiek iegūtas termiskās apstrādes procesā, kas varētu nodrošināt attiecīgu iegūto materiālu izmantošanu.

Kūdras, sapropēja, mālu īpašību un modifikācijas iespēju pētījumi M. Kļaviņa vadībā ir ļoti daudzpusīgi, un ir jāatzīmē jauniegūto modifikāciju praktiskās izmantošanas augstais potenciāls.

Māli ir plaši izplatīts, videi draudzīgs un salīdzinoši lēts materiāls, tāpēc pēdējos gados ir augusi interese par modificētiem mālu produktiem ar uzlabotām īpašībām. Modifikācijas rezultātā tiek būtiski mainītas mālu minerālu īpašības, kā, piemēram, virsmas laukums, porainība, termālā stabilitāte, sorbcijas kapacitāte un citas. Jauniegūtās īpašības nodrošina mālu izmantošanu dažādās vides tehnoloģiju nozarēs – sorbentu notekūdeņu attīrīšanā, augšnes ielabotāju un inovatīvu videi draudzīgu materiālu izstrādē. Pētījuma mērķis ir, izmantojot sintezētus un dabiskus Latvijā sastopamus mālus, izstrādāt efektīvu modifikācijas metodi inovatīvu materiālu ieguvei un perspektīvai to izmantošanai vides tehnoloģijās. Līdz šim veiktos pētījumos tika testētas vairākas mālu modifikācijas metodes, gan izmantojot organiskas, gan neorganiskas vielas. No organiskām vielām tika izmantotas virsmas aktīvās vielas (piemēram, benziltrimetilamonija hlorīds) un silīcijorganiskie savienojumi (piemēram, 3-aminopropiltrimetoksisilāns), kas ķīmisko reakciju rezultātā mālu minerāla starpplakņu telpā attiecīgi esošos neorganiskos katjonus aizvieto ar alkilamonija katjoniem un ar kovalento saišu palīdzību piesaista dažādas funkcionālās grupas, kā amino grupu (NH_2), būtiski palielinot starpslāņu telpu un sorbcijas kapacitāti. Savukārt no neorganiskām vielām tika izvēlēti dzelzs oksohidroksīds (FeOOH) un hidroksilapatīts ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), kuri būtiski izmaina māla struktūru, pārklājot virsmu attiecīgi ar dzelzs oksīda slānīti un hidroksilapatīta kristāliem. Modifikācijā galvenokārt tika izmantots rūpnieciski ražots mālu minerāla produkts *Montmorillonite K 10 (Sigma-Aldrich)* un dabiskie triasa perioda smektitā māli (Saltišķu atradne, Lietuva), kas sastopami arī dienvidrietumu Latvijā.

Mālu modifikācijas pētījumi var būtiski papildināt zināšanas par māliežu un māla minerālu vēl nepilnīgi apzināto potenciālu un iezīmēt tālāko pētījumu virzienus koloidālo materiālu izmantošanai vides tehnoloģijās ar augstu pievienoto vērtību.

O. Muteres vadībā pētnieku grupa pētīja **iekapsulētus mikroorganismu konsorcijus augšnes bioremediācijai un flotējošus biopreparātus naftas produktu biodegradācijai ūdenī**. Pētījumā izstrādāti divi atsevišķi pētniecības virzieni, kas rezultējušies tautsaimniecisku risinājumu izstrādei nākotnē. Šajā posmā saistībā ar flotējošiem biopreparātiem naftas produktu biodegradācijai ūdenī keramikas granulas tika veidotas no kvartāra māliem $1200\text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrā ar blīvumu $0,95\text{ g cm}^{-3}$. Granulu flotēšana tika pārbaudīta sintētiskajos notekūdeņos bez piedevām, kā arī notekūdeņiem pievienojot eļļu un naftas produktus degradējošo baktēriju konsorciju. Tika noskaidrots, ka eļļas klātbūtne labvēlīgi ietekmēja granulālu flotēšanu, un analītiski noteikts, ka šīs granulas ir piemērotas baktēriju imobilizācijai.

Pētījumu kopā "Imobilizēti mikrobioloģisko mēslošanas līdzekļu aktīvie komponenti" tika izstrādātas divas atsevišķas tēmas. Tā tika pētīta baktēriju *Streptomyces griseoviridis* un *Azotobacter* sp. imobilizēšana uz kūdras un uz māla granulām un imobilizēto baktēriju dzīvotspējas pārbaude, uzglabājot tās $20\text{ }^\circ\text{C}$, $4\text{ }^\circ\text{C}$ un $-18\text{ }^\circ\text{C}$. Salīdzinājumam tika pētīta arī baktēriju dzīvotspēja suspensijā bez substrāta. Gan *S. griseoviridis*, gan *Azotobacter* sp. dzīvotspēja vislabāk saglabājās $4\text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrā, ja kā imobilizācijas materiāls tika izmantota kūdra, bet, ja imobilizācijai tika izmantotas māla granulas, baktēriju dzīvotspēja vislabāk saglabājās $-18\text{ }^\circ\text{C}$.

Pētītas tika arī bioogles un *Trichoderma* spp. mijiedarbība atkarībā no ogles īpašībām un daļiņu izmēra. Testēta tika micēlijsēņu *Trichoderma viride* ietekme uz rudzu augšanu 3% koksnes bioogles klātbūtnē (smilšaina augsne, eksperiments podos), kā arī uz kukurūzas augšanu 3% kviešu salmu bioogles klātbūtnē (mālsmilts augsnes, minilauka eksperiments). Eksperimentā tika salīdzināta sēklu dīgšanas spēja, augu augšanas dinamika, biomasas ķīmiskais

sastāvs, augsnes mikroorganismu aktivitāte un tika konstatēts, ka testēto augu dīgtspēja bija būtiski augstāka variantos ar bioogli, neatkarīgi no ogles veida un augsnes īpašībām. Eksperimentos ar kukurūzu tika pierādīta testēto biopreparātu stimulējošā ietekme uz augu augšanu, salīdzinot ar kontroli, šādā secībā [*Trichoderma viride*] > [*Trichoderma viride* + salmu bioogle] > [salmu bioogle].

Iepriekš apskatīto atsevišķo pētnieku grupu sniegumus 2. programmas realizācijas posmā var apkopot skaitliskā izteiksmē. Tos atspoguļo 7 oriģinālas starptautiski citējamas publikācijas (referētas datu bāzēs SCOPUS un WoS), 2 nozīmīgas zinātniskas publikācijas (datu bāzēs ERIH A un B), 13 publikācijas citās datu bāzēs, ir iznākušas 4 monogrāfijas un šajā laikā posmā ir aizstāvēti 5 promocijas darbi. Par pētījumu rezultātiem ir ziņots vairāk nekā 10 dažādās zinātniskās konferencēs, un rezultāti ir tikuši arī popularizēti žurnālos, radio un TV, kas kopumā ļauj ar pētījumu rezultātiem un paveikto iepazīstināt daudz plašāku sabiedrību un veicina jauniešu piesaisti studijām un pētniecībai.

Vienlaikus akcentējams, ka iepriekš uzskaitītie snieguma rādītāji ir ļoti augsti un daudzveidīgi, tomēr ievērojami lielāka zinātnisko publikāciju daļa sekos nākamā posma laikā, kad tiks akcentēta rezultātu pārnese projekta sociālajiem partneriem un rezultāti daudz vairāk tiks izklāstīti tieši latviešu valodā. Otrā atšķirīgā iezīme būs pētniecības telpā iesaistīt aizvien vairāk citu nozaru pētnieku, kas jaunās metodikas un risinājumus varētu izmantot savu pētījumu attīstībā, sniedzot pilnvērtīgākus un augstākus zinātniskos rezultātus.

Mālu īpašību izpēte izmantošanai kosmētisko produktu, biodegradablu kompozītmateriālu un jauna granulveida sorbenta iegūšanai

Inga Dušenkova, Olīta Medne, Andrejs Šiškins, Agnese Stunda-Zujeva, Līga Bērziņa-Cimdiņa

Rīgas Tehniskā universitāte, Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte,
Vispārīgās ķīmijas tehnoloģijas institūts
E-pasts: inga.dusenkova@rtu.lv

Latvijā māli ir ļoti plaši izplatīts derīgais izrakteņš, un to daudzums ir viens no lielākajiem Ziemeļeiropā. To izmantošana un pētījumi galvenokārt saistīti ar būvmateriālu un dažādu keramikas materiālu ražošanu. Lai paplašinātu Latvijas mālu izmantošanas iespējas, ir nepieciešams izpētīt to īpašības un piemērotību jaunu produktu ar salīdzinoši augstu pievienoto vērtību ražošanai. Līdz ar to šī projekta mērķis ir pētīt Latvijas illīta mālu īpašības un piemērotību izmantošanai kosmētisko produktu, biodegradablu kompozītmateriālu un jauna granulveida sorbenta izstrādē.

UV starojuma aizsargkrēmos galvenokārt izmanto sintētiskus organiskus un neorganiskus savienojumus. No neorganiskajiem savienojumiem kā UV-filtrus bieži izmanto titāna dioksīdu TiO_2 un cinka oksīdu ZnO . Gan neorganisko, gan organisko savienojumu galvenais trūkums ir spēja izraisīt fotokatalītisko efektu, kas rada ādas bojājumus, kā arī tie var iesūkties ādā, tādējādi izraisot kairinājumu un alerģiskas reakcijas. Alternatīva iespēja ir izmantot mālu minerālus, kuri tiek lietoti arī citos kosmētikas produktos. Lielākā daļa kosmētisko produktu ir suspensiju un emulsiju formā, kas ir termodinamiski nestabilas un attiecīgās fāzes laika gaitā atdalās viena no otras. Suspensiju stabilitātes uzlabošanai izmanto stabilizatorus, kuri aizkavē cieto daļiņu sedimentēšanos vai izraisa to flokulāciju, bet pēc to sedimentācijas ir viegli suspendējamas šķīdumā. No mālu minerāliem kā cieto daļiņu stabilizatorus visbiežāk izmanto bentonītu un paligorskītu, bet retāk kaolīnītu, gan tīrā veidā, gan kopā ar organiskiem stabilizatoriem. Līdz šim ir pētīta tikai jauktā tipa smektītu-illīta mālu ietekme uz emulsiju stabilitāti.

Mūsdienās vides aizsardzība ir plaši atzīta par prioritāru jomu. Ikdienas pārklājuma materiālu (IPM) izmantošana ir būtiska atkritumu glabāšanas poligonos, un tie veic vairākas svarīgas funkcijas, lai samazinātu ietekmi uz poligona vidi. Poligonu ikdienas pārklājumu jeb biodegradablu kompozītmateriālu ir nepieciešams lietot katras darbadienas beigās vietās, kas pakļautas sadzīves atkritumiem. Kā vienu no alternatīviem ikdienas pārklājumiem atkritumu nosegšanai izmanto izsmidzināmu biodegradablu kompozītmateriālu, kura izveidei izmanto mālu minerālus. Līdz šim nav veikti pētījumi konkrēti par illītu izmantošanu biodegradablu kompozītmateriālu izveidē.

Arvien pieaugoša problēma, kas saistīta ar naftas produktiem, ir noplūdes, kas rodas transportēšanas laikā, un to seku likvidēšana. Sorbenta izveide no Latvijas māliem, kas palīdzētu likvidēt naftas produktu noplūžu sekas, būtu ļoti laba perspektīva mūsdienu ekonomiskajā situācijā. Latvijas mālus, atbilstoši apstrādājot, var izmantot arī kā ūdens uzturēšanas materiālu, kas lauksaimniecībā un māsaimniecībās varētu aizstāt dārgos importētos produktus.

Materiāli un metodes

Mālu paraugu iegūšana ar izsmidzināšanas žāvēšanas metodi. Izmantoti Latvijas māli no Lažas (Kvartāra perioda), Pavāru (Devona perioda) un Iecavas (dolomīta atradnes blakusprodukts) atradnēm. Mālu suspensijas pagatavotas no frakcijas ar daļiņu izmēriem zem 2 μm, koncentrācijās ~ 1,5, 8, 15 un 20 %. Izmēģināti 14 izsmidzināšanas režīmi. 1. tabulā ir attēloti labākie režīmi, kas tika pētīti detalizētāk. Izsmidzināšanai lietots laboratorijas tipa izsmidzinātājs *BUCHI Mini Spray Dryer B-290*.

1. tabula

Izsmidzināšanas režīmi

Režīma Nr.	Ieejošā gaisa temp., °C	Suspensijas padeves ātrums, %/mL/min	Gaisa spiediens, mm/normL/h
4	200	25/ 6,7	15/ 192
8	220	35/ 9,3	35/ 414
11	220	50/ 13,3	40/ 473
12	223	45/ 12,0	40/ 473
13	190	30/ 8,0	40/ 473

Mālu izmantošana kosmētisko produktu izveidē. UV starojuma aizsardzības noteikšanai izmantotas 50% glicerīna/ūdens šķīduma suspensijas ar māliem no 4 vietām Latvijā – Iecava (Ie), Laža (L), Prometejs (Pr) un Pavāri (Pa). 2. tabulā redzams mineraloģiskais sastāvs mālu frakcijai zem 63 μm, no kuras iegūta un izmantota frakcija zem 2 μm. Izmantoti dažādi apstrādāti paraugi – ķīmiski neapstrādāti, pēc karbonātu izšķīdināšanas ar sālsskābi (-HCl), pēc karbonātu izšķīdināšanas ar sālsskābi un dzelzs saturošu minerālu atdalīšanas (-D). Šīm suspensijām mērīta UV starojuma caurlaidība 290–400 nm diapazonā, kas izvēlēts, balstoties uz UV starojuma iedalījumu: UV-C (200–280 nm), UV-B (280–320 nm) un UV-A (320–400 nm). No iegūtajiem datiem aprēķināts saules aizsardzības faktors SPF (no angļu valodas – *sun protection factor*). Iegūtie rezultāti salīdzināti ar komerciāliem TiO₂ un ZnO saturošiem saules aizsargkrēmjiem.

2. tabula

UV aizsardzības spēju pētīšanai izmantoto neapstrādātu mālu (frakcija < 63 μm) mineraloģiskais sastāvs

Paraugi	Illīts	Kaolinīts	Hlorīts	Kvarcs	Laukšpati	Dolomīts	Kalcīts	Muskovīts
Ie	48–54	–	–	10–12	24–28	3–5	–	6–10
Pr	49–53	8–10	–	13–15	9–11	8–10	6–8	–
La	32–36	10–12	6–10	12–14	15–17	4–6	7–9	3–7
Pa	32–38	2–6	–	52–56	5–9	–	–	–

Emulsiju stabilizēšanā izmantoti Rīvas (R) un Iecavas (Ie) māli ar daļiņu izmēru < 2 μm. Mālu frakcija iegūta no ķīmiski neapstrādātiem māliem (paraugi R-neap un Ie-neap) un pēc karbonātu izšķīdināšanas ar sālsskābi (paraugi R-HCl un Ie-HCl). Mineraloģiskais sastāvs redzams 3. tabulā. Emulsijas pagatavotas no pārtikas tīrības olīveļļas un mālu suspensijas (mālu frakcijas koncentrācija 5 un 10 masas %) masas procentu attiecībā 40 : 60. No katra parauga tika pagatavotas divu veidu emulsijas – ar neizmainītu pH (aptuveni 7–8) un ar pH 5,5. Iegūtajām emulsijām noteikta viskozitāte, daļiņu izmēru sadalījums un stabilitāte centrālās spēka ietekmē (izmantojot centrifūgu) pēc 10–120 minūtēm.

3. tabula

**Emulsiju stabilizēšanā izmantoto mālu frakciju < 2 μm
mineralogiskais sastāvs**

Paraugi	Illīts	Kaolinīts	Hlorīts	Kvarcs	Laukšpati	Dolomīts	Kalcīts
Ie-neap	95-98	-	-	2-3	< 2	< 2	-
Ie-HCl	96-98	-	-	< 2	< 2	-	-
R-neap	60-63	15-16	7-9	4-5	3-5	2-3	5-6
R-HCl	63-65	17-19	8-11	3-4	3-4	-	-

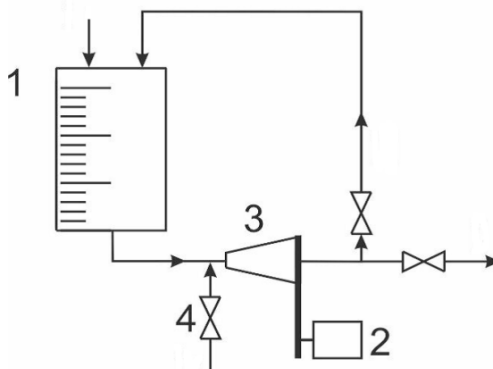
Mālu izmantošana biodegradablu pārklājumu izstrādē. Apkopota literatūra par būtiskākajiem mālu īpašību kritērijiem biodegradablu kompozītmateriālu izveidei. Kompozītmateriāla ūdens suspensiju iegūšanai galvenās izmantotās izejvielas ir poliakrilamīds, celulozes ēteris, funkcionālas celulozes šķiedras, lignosulfonāts, guāra sveķi, to sastāvi svārstās no 0,1 līdz 10 masas %. Izmantotie māli ir no vairākām vietām Latvijā – Iecavas, Plančiem, Rīvas, Lažas un Prometeja. Mālu suspensiju pagatavošanai izmantotas frakcijas zem 63 μm, un sastāvi svārstās no 1 līdz 20 masas %. Izmantoto mālu mineralogiskais saturs redzams 4. tabulā. Kompozīta materiāla suspensijas viskozitātes, homogenitātes un slāņa reoloģisko īpašību pētīšanai izmantoti 20 dažādu vielu kombinācijas maisījumā.

4. tabula

**Biodegradablu pārklājumu izstrādē izmantoto mālu
mineralogiskais sastāvs masas %**

Paraugs	Illīts	Kaolinīts	Hlorīts	Kvarcs	Laukšpati	Dolomīts	Kalcīts	Muskovīts
Iecava	67-70	-	-	7-9	16-18	3-4	-	5-7
Planči	33-36	10-11	5-7	11-14	15-18	3-4	8-9	3-4
Rīva	38-42	10-12	4-5	12-13	16-19	5-6	7-9	-
Laža	31-34	9-11	5-8	14-16	16-18	3-6	7-8	3-5
Prometejs	49-53	8-10	-	13-15	9-11	8-10	6-8	-

Mālu izmantošana jauna granulveida sorbenta izstrādei. Mālu keramikas putu paraugi (MKP) veidoti ātrgaitas maisītājā – dispersatorā, kura shematiskais attēlojums parādīts 1. attēlā. MKP paraugu izgatavošanai izmantotā ātrgaitas maisītāja dispersatora tvertne iepilda ūdensvada ūdeni un dispersantu (1% no mālu masas). Iekārtu ieslēdz uz 400 apgr./min. Pakāpeniski pievieno pulverveida mālus, nemainot iekārtas darbības parametrus. Pēc tam pievieno putojošo aģentu (5% no mālu masas) un iekārtas parametrus maina līdz 6000 apgr./min, vienlaicīgi pievadot gaisu caur ventili 4. Kad masas apjoms pieaudzis divas reizes, iekārtu pārslēdz recirkulācijas režīmā uz 1 minūti, un pēc tam iegūto masu ar sprauslu, kuras diametrs ir 2-4 mm, ievada granulātorā. Granulātorā notiek granulācijas process. Optimālais granulēšanas laiks ir 5 minūtes, tad paraugs tiek pārklāts ar 5. tabulā norādītajiem materiāliem.



1. att. Ātrgaitas maisītāja dispersatora shēma

Apzīmējumi: 1 – maisījuma tvertne, 2 – elektromotors, 3 – maisītājs dispersators, 4 – gaisa padeves ventilis

Granulas izgatavotas, izmantojot Liepas mālus. Granulētos paraugus novieto uz gofrēta kartona žūšanai uz 72 stundām 20 °C temperatūrā. Iegūtie MKP paraugi mufelkrāsni apdedzināti divās temperatūrās 950 °C un 1050 °C. Krāsns iestatīta režīmā ar temperatūras celšanas ātrumu 5 °C/min, maksimālā temperatūrā tie izturēti 30 minūtes. Granulu peldspējas eksperiments veikts ar 5 paralēliem mēģinājumiem. Stikla vārglāzē ielej 300 ml destilēta ūdens un paraugu ar pinceti ievieto tā, ka, paraugam saskaroties ar ūdens virsmu, tas tiek atlaists. Paraugu par peldošu uzskata, ja tas nenogrimst 30 minūtes. Paraugiem ir noteikta naftas produktu adsorbcijas spēja. Ar hidrostatiskās svēršanas metodi noteikta vaļējā porainība.

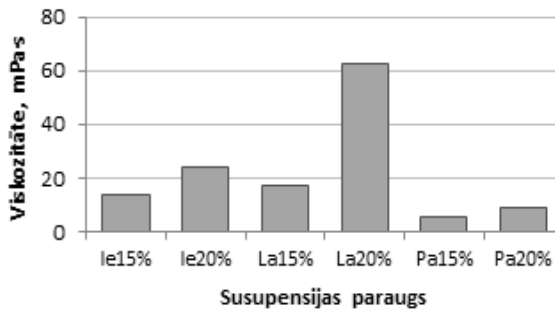
5. tabula

Granulu veidojošās izejvielas, g

Parauga Nr.	Māli	Ūdens	Putojošais aģents	Dispersants	Glikoze	Piezīmes
#1	650	300	32,5	6,5	150	Pārklāts ar pulverveida kūdru
#2	650	300	32,5	6,5	150	Pārklāts ar pulverveida māliem
#4	650	300	32,5	6,5	–	Pārklāts ar pulverveida māliem
#6	650	300	32,5	6,5	–	Pārklāts ar pulverveida kūdru
#7	650	300	32,5	6,5	–	Putas sajauktas ar cenosfērām (1 : 1), pārklāts ar pulverveida māliem

Rezultāti

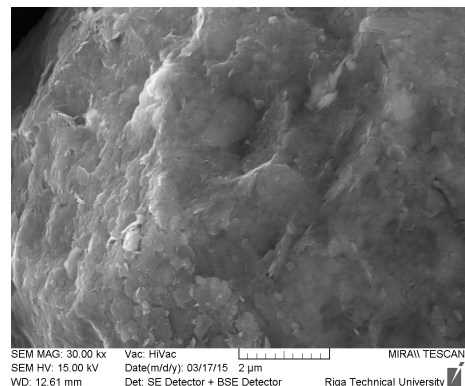
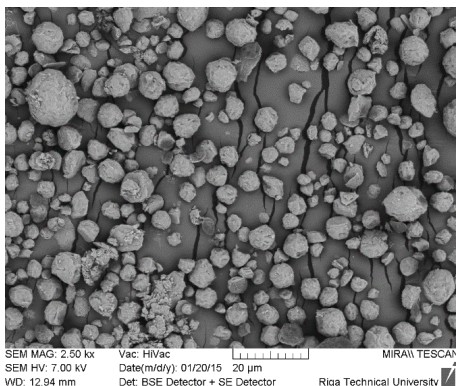
Mālu paraugu iegūšana ar izsmidzināšanas žāvēšanas metodi. Viskozitātes pētījumi uzrāda, ka koncentrētākajiem paraugiem pirmajās 100 s viskozitāte būtiski samazinās. Visaugstāko viskozitāti 62,8 mPa·s pie 200 apgr./min uzrāda 20% Lažas suspensija, kura bija 3,6 reizes viskozāka par 15% suspensiju, kā arī 2,7 un 7,3 reizes viskozāka par 15% Iecavas un Pavāru suspensijām (skat. 2. attēlu). Lēnākā ātrumā viskozitāte ievērojami palielinās. Uzņemtās šķidrā slāpekļa absorbcijas līknes raksturs granulām ir līdzīgs citu autoru konstatētajām dabiskā illīta absorbcijas līknēm. Virsmas laukums (t. sk. poru) ir vismaz 89 m²/g, un izsmidzināšanas režīms to praktiski neietekmē.



2. att. Mālu suspensiju viskozitāte pēc 10 min, maisot ar ātrumu 200 apgr./min

Vislielākās granulas, kuru vidējais izmērs ir $5,2 \pm 4,1 \mu\text{m}$, iegūst pie vismazākā gaisa ātruma izsmidzināšanas sprauslā (mazākā gaisa/suspensijas ātruma padeves attiecība), savukārt mazāko granulu vidējais izmērs ir $2,6 \pm 1,4 \mu\text{m}$. Novērojama cieša saistība starp granulu vidējo un maksimālo diametru, korelācijas koeficients ir 0,992.

Granulu izmēra sadalījums nedaudz atšķiras, salīdzinot izsmidzināšanas režīmus, tomēr visiem režīmiem ir vērojams maksimālais granulu izmērs diapazonā 2–5 μm , un lielākā daļa granulu ir ar izmēru, kas nepārsniedz 10 μm .

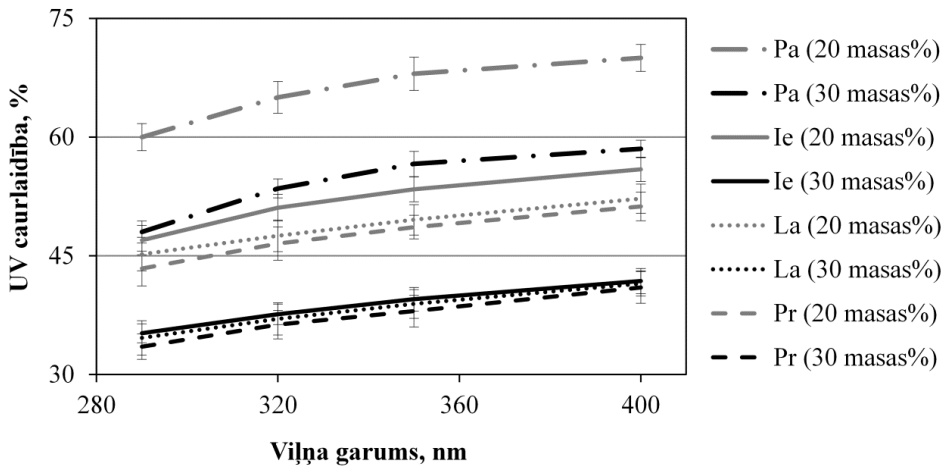


3. att. Izzāvēto mālu granulu SEM attēls

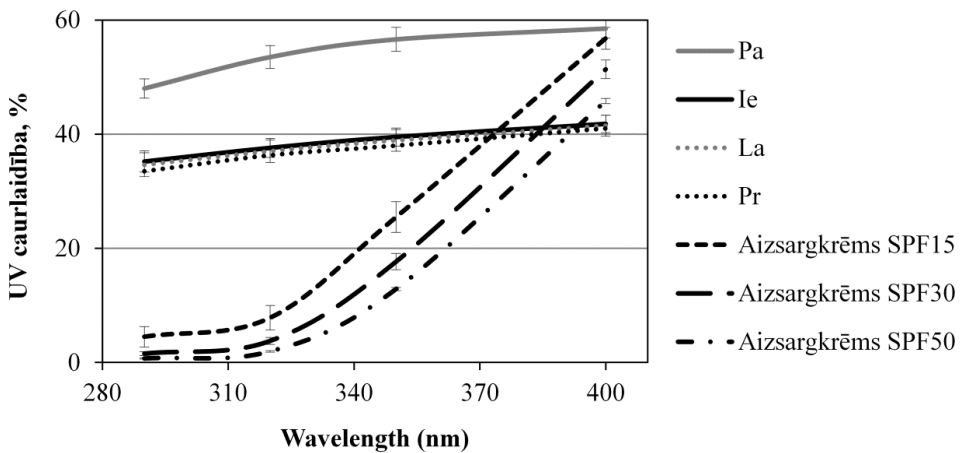
a) kopskats no Ie15%_4; b) relatīvi lielas Pa15%_4 granulas tuvināts skats

Granulu morfoloģija nav atkarīga no izsmidzināšanas režīma. Visas iegūtās granulas ir sfēriskas un ar pildītu vidu, dobas vai gredzena formas granulas neveidojas. Granulu virsma ir nelīdzena (skat. 3. attēlu) [1].

Mālu izmantošana kosmētikā. Suspensijas, kas pagatavotas no māliem pēc karbonātu izšķīdināšanas, uzrādīja par 5–10% lielāku UV caurlaidību nekā suspensijas ar neapstrādātiem māliem, bet pēc dzelzs savienojumu atdalīšanas caurlaidība palielinās visvairāk – aptuveni par 15–20% atkarībā no viļņu garuma. Tas nozīmē, ka UV starojuma aizsardzības spēja un attiecīgi arī SFP vērtības samazinās. Literatūrā esošā informācija rāda, ka, palielinoties hematīta koncentrācijai mālos, attiecīgi samazinās UV caurlaidība. Līdz ar to UV starojuma aizsargkrēmos ir lietderīgi izmantot dzelzs savienojumus saturošus mālu minerālus.



4. att. UV starojuma caurlaidība neapstrādātiem māliem atkarībā no mālu koncentrācijas



5. att. UV caurlaidība neapstrādātiem māliem ar koncentrāciju 30 masas % un komerciāliem saules aizsargkrēmiem

4. attēlā redzams, ka, palielinot mālu koncentrāciju par 10 masas % (no 20 uz 30), UV caurlaidība samazinās – Iecavas māliem par 26–27%, Lažas māliem par 21–23%, Prometeja māliem par 24–26% un Pavāru māliem par 18–21%. Līdz ar to attiecīgi arī palielinās SPF vērtības: Iecavas māliem $2,6 \pm 0,1$, Lažas māliem $2,7 \pm 0,1$, Prometeja māliem $2,8 \pm 0,1$, bet Pavāru māliem $1,9 \pm 0,1$. Pavāru māli uzrāda vislielāko UV caurlaidību, jo satur vismazāk dzelzs savienojumu.

Komerציālie saules aizsargkrēmi daudz intensīvāk aiztur UV starojumu visā UV-B un UV-A sākuma diapazonā (skat. 5. attēlu), līdz ar to tiem ir attiecīgi lielākas SPF vērtības. Neskatoties uz salīdzinoši zemajām mālu SPF vērtībām, mālu minerālus var izmantot UV aizsargkrēmos. Lielai daļai TiO_2 saturošo krēmu speciāli pievieno dzelzs oksīdu pigmentu, lai produkts iegūtu gaiši brūnu nokrāsu, jo tīrs TiO_2 ir balts. Tā kā lielākā daļa Latvijā esošo mālu ir dabīgi brūni, tos varētu izmantot kā pigmentu, piemēram, tonālajos krēmos [2].

Ar izsmidzināšanas žāvētavu iegūts mālu pulveris brūnā krāsā nodrošina labāku krēma homogenitāti, nekā izmantojot piestā mehāniski saberztu pulveri, līdz ar to uz ādas nav novērojami mālu aglomerāti. Lielākais iegūtais krēmu SPF (saules aizsardzības faktors) ir 1,35 (mālu daudzums 15 masas %).

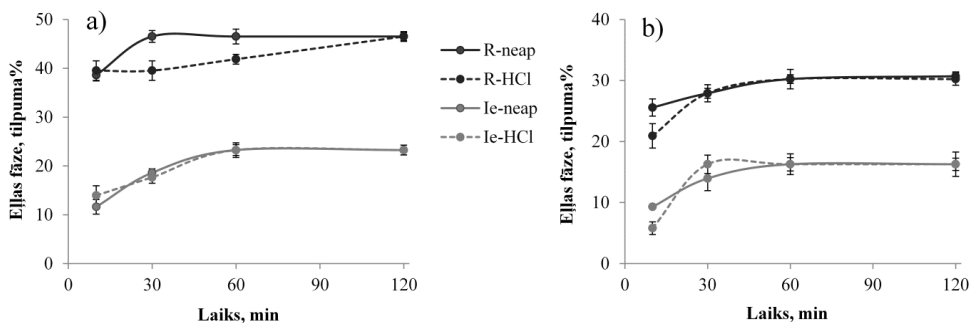
Emulsijas, kas gatavotas no māliem pēc karbonātu izšķīdināšanas (Ie-HCl un R-HCl), uzrādīja lielāku viskozitāti nekā emulsijas, kas gatavotas no neapstrādātiem māliem. Lielāku viskozitāti uzrādīja paraugs Ie-neap (skat. 6. tabulu).

Stabilitāte tiek novērtēta, skatot no emulsijas atdalījušās eļļas fāzes attiecību pret kopējo eļļas daudzumu emulsijā (izteikts tilpuma %), kas redzams 6. attēlā. Iecavas mālu saturošās emulsijas uzrādīja vislielāko stabilitāti (vismazāk atdalījusies eļļas fāze), kas ir pamatojams ar lielāku mālu minerālu daudzumu (skat. 3. tabulu). Emulsiju stabilitāte palielinās, samazinot emulsiju pH līdz 5,5, jo palielinās emulsiju viskozitāte.

6. tabula

Emulsiju viskozitātes (mPa·s) pie apgriezienu ātruma 5 apgr./min

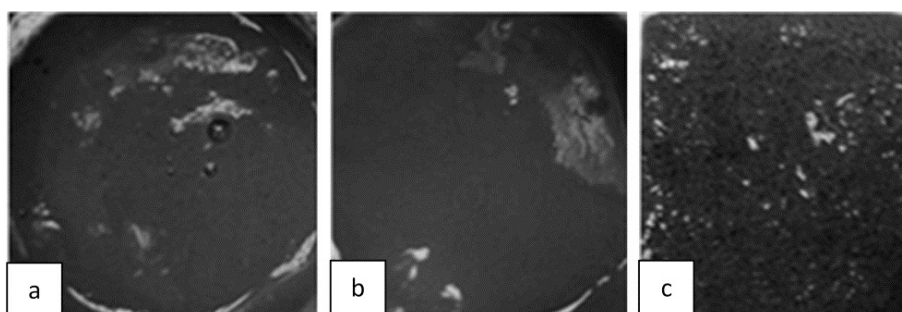
Paraugs	Mālu konc. 5 masas%		Mālu konc. 10 masas%	
	pH 7–8	pH 5,5	pH 7–8	pH 5,5
Ie-neap	100 ± 10	160 ± 8	850 ± 10	930 ± 9
Ie-HCl	110 ± 13	160 ± 10	910 ± 15	1050 ± 12
R-neap	60 ± 4	80 ± 6	760 ± 13	810 ± 10
R-HCl	65 ± 6	90 ± 7	830 ± 8	870 ± 7
Tira emulsija	40 ± 5		40 ± 5	



6. att. Stabilitāte emulsijām ar mālu koncentrāciju 5 masas %, ja a) pH 7–8 un b) pH 5,5

Mālu izmantošana biodegradablu pārklājumu izstrādē. Balstoties uz vairākiem literatūras datiem, secināts, ka pārklājuma veidošanai iesaistītajām mālu daļiņām jābūt ar dažādu granulometrisko sastāvu, piemēram, diapazonā 0,001–0,1 mm. Alternatīvā ikdienas pārklājuma materiālos tiek lietots atšķirīgs mālu procentuālais sastāvs, kas svārstās no 10 līdz 90% no kopējā sastāva. Lai gan, pamatojoties uz reoloģiskajām īpašībām (plastiskums un viskozitāte), visbiežāk tiek izmantoti montmorilonītu saturoši māli, arī illītu mālu reoloģiskās īpašības var tikt izmantotas biodegradablu kompozītmateriālu izstrādē izmantošanai ikdienas pārklājumos poligonos. Jāņem vērā viskozitāti ietekmējošie mālu minerālu sastāvi, kas veicina vienmērīgāku slāņa uzklāšanos, kā arī adsorbcijas spējas – smago metālu adsorbcijā. Atrasts iespējams mālu minerālu sastāvs, ko vajadzētu pielāgot biodegradabla kompozītmateriāla izveidei.

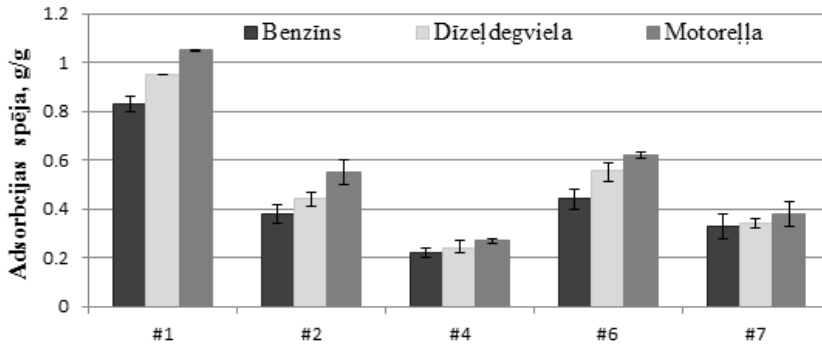
Paralēli ir sagatavotas suspensijas ar dažāda sastāva izejvielu saturu un procentuālo daudzumu. Smidzināmajam ikdienas pārklājuma materiālam jābūt ar piemērotu viskozitāti, tādēļ jāņem vērā iespējamās izejvielu un mālu plastiskās īpašības, kad tie tiek samitrināti ar noteiktu ūdens daudzumu, mazāk plastiski ir illīta un hlorīta, bet jo īpaši kaolinīta māli [3]. Eksperimentāli konstatēts, ka, pievienojot mālus vairāk nekā 10 masas %, ievērojami palielinās kompozītmateriāla viskozitāte, bet homogenitāti ietekmē pievienoto mālu mineraloģiskais sastāvs. Nehomogenizēta suspensija ar Lažas un Iecavas māliem uzrādīja visviendabīgāko maisījumu (skat. 7. attēlu), un tas ir svarīgi tālākajā praktiskajā pielietojumā reālos apstākļos (poligonā). Lažas un Planču māli ir brūnā krāsa, bet Iecavas – zaļganpelēki.



7. att. Nehomogenizētas suspensijas a) Lažas māli b) Iecavas māli c) Planči

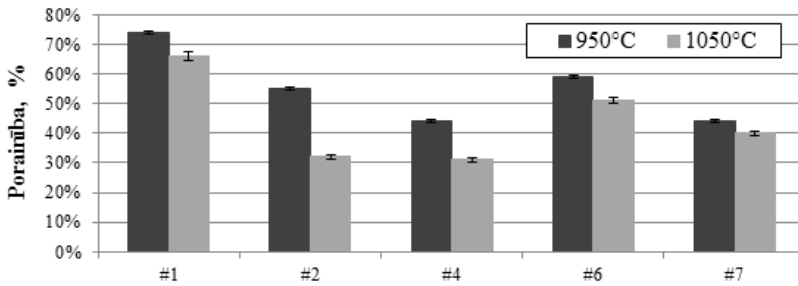
Lai veidotos slānis, kas spētu vienmērīgi noklāt atkritumus, tam ir jāpiemīt noteiktai tiksotropijai. Eksperimentāli noteikts, ka pat neliels biezinātāja daudzums var padarīt suspensiju ļoti tiksotropu, un, maisījumu uzklājot uz virsmas, tas noslid vai veido recekli.

Mālu izmantošana jauna granulveida sorbenta izstrādei. 8. attēlā redzama naftas produkta maksimālā adsorbcijas spēja, ja paraugs apdedzināts 950 °C temperatūrā. Redzams, ka vislielākā adsorbcijas spēja raksturīga paraugam #1, motoreļļas adsorbcijas kapacitāte ir 1,08 g/g, dīzeļdegvielas 0,94 g/g un benzīna 0,83 g/g. Tas pierāda literatūras avotos atrasto informāciju, ka porainība pieaug, ja parauga izgatavošanas laikā masai tiek pievienota glikoze. Glikozes pievienošanas hipotēzi apstiprina arī #2 un #4 parauga datu atšķirība, kur glikoze ir pievienota konkrēti paraugam #2. Viszemākā adsorbcijas spēja ir paraugam #4, jo benzīna adsorbcijas kapacitāte ir 0,21 g/g, dīzeļdegvielas 0,22 g/g un motoreļļas 0,25 g/g. Var novērot sakarību, ka, pieaugot naftas produkta viskozitātei, palielinās adsorbētās masas daudzums. Viskozitāte benzīnam ir 6 mPa·s, dīzelim – 48 un eļļai – 287,3. Veicot naftas produktu sorbcijas eksperimentu, noteikts, ka granulas ir piesātinātas ar šiem produktiem jau 5 minūtes pēc saskares ar tiem.



8. att. Paraugu adsorbcijas spēja paraugiem pēc apdedzināšanas 950 °C temperatūrā

Palielinot paraugu apdedzināšanas temperatūru, to naftas produktu adsorbcijas spēja samazinās. Tas skaidrojams ar to, ka, palielinot temperatūru, notiek mālu saķepināšanās un veidojas blīvāks un mazāk porains materiāls. Granulu porainības izmaiņas atkarībā no to apdedzināšanas temperatūras un tās ietekme uz paraugu atvērto porainību attēlota 9. attēlā. Redzams, ka granulām, kuru apdedzināšanas temperatūra ir 1050 °C, vaļējā porainība ir mazāka nekā 950 °C apdedzinātajām granulām.



9. att.

Apdedzināšanas temperatūras ietekme uz atvērto porainību

Veicot peldspējas noteikšanas eksperimentu, noskaidrots, ka censofēru pievienošana nodrošina gaidīto rezultātu un granulas peld. Iegūtie rezultāti apkopoti 7. tabulā.

7. tabula

Paraugu peldspēja

Paraugs	Apdedzināšanas temperatūra 950 °C	Apdedzināšanas temperatūra 1050 °C
#1	Grimst	Grimst
#2	Grimst	Grimst
#4	Grimst	Grimst
#6	Grimst	Grimst
#7	Peld	Peld

Secinājumi

1. Izmantojot izsmidzināšanas žāvētavu, var iegūt viendabīgas un blīvas mikrosfēras ar raupju virsmu. Lielākā ietekme uz mikrosfēru izmēru ir gaisa spiedienam izsmidzināšanas sprauslā, savukārt pārējie pētītie parametri atstāj relatīvi nelielu ietekmi. Mālu sastāvs ietekmē granulu virsmas raupjumu.
2. Vislabāko UV aizsardzības spēju nodrošina ķīmiski neapstrādāta mālu frakcija. Neskatoties uz to, ka TiO_2 un ZnO saturošie komerciālie saules aizsargkrēmi daudz intensīvāk aiztur UV starojumu, dzelzs minerālus saturošajiem Latvijas illīta māliem ir potenciāls izmantošanai kosmētikā ar UV aizsardzības īpašībām, piemēram, tonālajos krēmos, vienlaicīgi piešķirot nepieciešamo brūno toni un palielinot produkta saules aizsardzības faktoru.
3. Latvijas illītu saturošo mālu (frakcijas zem $2 \mu\text{m}$) pievienošana emulsijai eļļa-ūdenī uzlabo tās stabilitāti. Palielinoties emulsiju viskozitātei, attiecīgi uzlabojas to stabilitāte.
4. Analizējot literatūru, secināts, ka jau esošo biodegradablu kompozītmateriālu veidošanai tiek izmantoti mālu minerāli. Eksperimentāli noskaidrots mālu koncentrāciju diapazons (< 7 masas %), pie kura veidojas nepieciešamās konsistences slānis. Homogēna slāņa veidošanos ietekmē kompozītmateriālu veidojošo sastāvdaļu hidrofofās īpašības – tikai daļa izveidoto kompozītmateriālu sastāvu, kuriem pievienotas mālu daļiņas, veido homogēnu pārklājuma slāni.
5. Vislabākās sorbcijas īpašības ir granulām, kuru pagatavošanā izmantota glikoze un kuras pārklātas ar pulverveida kūdru.

Literatūra

- A. Stunda-Zujeva, V. Stepanova, L. Bērziņa-Cimdiņa. Effect of spray dryer settings on the morphology of illite clay granules. *Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference "Environment. Technology. Resources"*, 2015, Vol. I, 216–222.
- I. Dušenkova, I. Kusiņa, J. Mālers, L. Bērziņa-Cimdiņa. Application of Latvian illite clays in cosmetic products with sun protection ability. *Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference "Environment. Technology. Resources"*, 2015, Vol. I, 28–32.
- O. Medne, R. Serzane, L. Berzina-Cimdina. Composition for alternative daily cover materials with a perspective of usage of Latvian local resources. *Material Science and Applied Chemistry*, 2015, No. 32, 45–48.

MĀLU SUSPENSIJAS SASTĀVA IETEKME UZ IZZĀVĒTU GRANULU MORFOLOĢIJU UN SPĒJU ATKĀRTOTI DISPERĢĒTIES ŪDENĪ

Agnese Stunda-Zujeva, Inga Dušenkova, Valentīna Stepanova, Līga Bērziņa-Cimdiņa

RTU Rūdolfa Cimdiņa Rīgas Biomateriālu inovāciju un attīstības centrs, Vispārīgās ķīmijas tehnoloģijas institūts, Materiālzinātņu un lietišķās ķīmijas fakultāte, Rīgas Tehniskā universitāte

E-pasts: agnese.stunda-zujeva@rtu.lv

Māli ir viens no biežāk sastopamajiem Latvijas derīgajiem izrakteņiem. Saskaņā ar Latvijas Republikas Tūrisma likumu māli var tikt klasificēti arī kā dabas dziednieciskie resursi un būt daļa no veselības tūrisma. Kūrortoloģijā, SPA un estētiskajā medicīnā vispopulārākais mālu izmantošanas veids ir aukstu vai karstu komprešu veidā: māliem pievieno ūdeni (ģeoterapija), sālsūdeni vai minerālūdeni (peloterapija) vai parafīnu (mālu-parafīna kompreses) (Vecstaudža *et al.* 2012).

Šobrīd illīta mālus visā pasaulē un arī Latvijā pārsvarā izmanto keramikas ražošanā, tomēr, salīdzinot būvkeramiku vai smalkkeramiku, augstākas pievienotās vērtības produkti ir, piemēram, kosmētika, kuras cena bieži pārsniedz 14 Eur/kg un var sasniegt arī vairāk nekā 140 Eur/kg. Latvijas tirgū 25% no šķidrājiem produktiem, kuru sastāvā ir mālu minerāli, cena pārsniedz 420 Eur/kg, turklāt absolūti lielākā daļa šo kosmētisko produktu ir importēti, jo Latvijā tiek saražoti tikai 3% no produktu klāsta (Vecstaudža *et al.* 2012). Mūsu pētījumi rāda, ka Latvijas illīta māli var tikt izmantoti kā sorbenti sejas maskās (Pura *et al.* 2015), kā viens no UV filtriem saules aizsargkrēmos (Dušenkova *et al.* 2015) un kā biezinātājs glicerīnu saturošos krēmos un losjonos (Dusenkova *et al.* 2015).

Parasti māli visbiežāk pirms lietošanas ir jābagātina vai jāveic to frakcionēšana, turklāt, jo augstvērtīgāks pielietojums, jo lielāka priekšapstrāde ir nepieciešama (Carrado *et al.* 2006). Pētījumos par mālu minerālu īpašībām un izmantošanu visbiežāk lieto mālu frakciju ar daļiņu izmēru zem 2 μm, ko iegūst ar slapjās sijāšanas metodi un sedimentēšanu gravitācijas vai centrālās spēka ietekmē (Lagaly 2006). Rezultātā tiek iegūta mālu frakcijas suspensija, kuras koncentrācija lielā mērā ir atkarīga no mālu frakcijas koncentrācijas sākotnējā paraugā. Lai šādu paraugu uzglabātu vai iekonzentrētu, to parasti žāvē. Viena no populārākajām metodēm suspensiju žāvēšanai ir izsmidzināšanas žāvēšana. Šajā žāvēšanas procesā ir liela šķidrums virsma, tāpēc žūšana notiek ļoti ātri salīdzinājumā, piemēram, ar ietvaicēšanu, šķidrums vārot, turklāt iegūtās daļiņas ir sfēriskas un relatīvi līdzīga izmēra, kas atvieglo to tālāku izmantošanu – tās neput un ir ar labu plūstamību. Žāvējot izsmidzināšanas veidā, ir iespējams lietot temperatūras jutīgas piedevas, jo pievadītais silums tiek patērēts ietvaicošanai un paraugs sakarst relatīvi nelielā mērā. Kosmētikā ir svarīga arī produkta tekstūra: šādas apaļas daļiņas sniedz patīkamu zīdainu sajūtu pretstatā graudainajai tekstūrai, ko dod samalts pulveris (Tokubo *et al.* 1988). Tā kā Latvijā ir pilsētas, piemēram, Liepāja un Jūrmala, kas kūrortoloģiju un veselības tūrisma ir atzinušas par savu prioritāti, tad jaunu kosmētisko un medicīnisko produktu izstrāde no Latvijas dabas resursiem ir ļoti aktuāla.

Izsmidzināšanas žāvētavā iegūto granulu morfoloģiju ietekmē suspensijas sedimentācijas stabilitāte (Bertrand *et al.* 2005), un disperģentu pievienošana veido dobās vai

barankas formas (*dougnut shape* – no angļu val.) granulas, ja granulas čaula nav pietiekami izturīga (Mondragon *et al.* 2012). Ši pētījuma mērķis ir noteikt mālu granulu, kas iegūtas izsmidzināšanas žāvētavā, spēju atkārtoti disperģēties ūdenī un noteikt granulu morfoloģijas atkarību no suspensijas sastāva.

Materiāli un metodes

Šajā darbā tika turpināts pētīt Iecavas un Lažas atradņu mālus, kuri ir sīkāk raksturoti iepriekšējos pētījumos (Dusenkova *et al.* 2015; Stunda-Zujeva *et al.* 2015). Izmantota mālu frakcija ar izmēru < 2 μm, kas iegūta, izmantojot centrifūgu. Pagatavotas suspensijas ar koncentrāciju 15 masas % un pH 5 un 9, pievienojot 1 M NaCl un NaOH, attiecīgi. Vienai no suspensijām ar pH 9 tika pievienots dispersants nātrija heksmetaforsfāts (NaPO₃)₆ – 0,5% no mālu masas. Līdz ar to katrai atradnei tika iegūti paraugi ar pH 9, pH 5 un pH 9 ar dispersantu.

Paraugiem veikts vizuāls suspensijas stabilitātes novērtējums pēc 72 stundām un viskozitātes mērījumi pirms izsmidzināšanas (reometrs *RheolabQC*, *Anton Paar*) pie 200 apgr./min. Daļiņu izmēra sadalījums pirms un pēc izsmidzināšanas noteikts ar lāzergranulometru *Analissette 22* (*Fritsch GMBH*), izmantots gaismas laušanas koeficients 0,01. Paraugu suspensiju granulometrija veikta pēc 24 stundām kopš to pagatavošanas. Resuspendētās suspensijas granulometrija veikta, izžāvēto pulveri berot iekārtā cirkulējošā ūdenī sausā veidā un uzņemot tikai pirmo un otro mērījumu.

Mālu paraugu pulveris suspensiju pagatavošanai iegūts un pagatavoto suspensiju izsmidzināšanai izmantota laboratorijas mēroga izsmidzināšanas žāvētava *BUCHI Mini Spray Dryer B-290* ar divu fluidu izsmidzināšanas sprauslu, šķidrums padeves ātrumu 8 mL/min, gaisa spiedienu 473 normL/h un ieejas temperatūru gaisam 190 °C, sausās granulas no gaisa plūsmas atdalītas ar ciklonu.

Granulu virsmas laukums un porainība noteikta ar šķidrā slāpekļa adsorbcijas metodi, *QuadraSorb SI* iekārtu, izmantojot BET analīzi, paraugs iepriekš atgaisots 24 stundas 100 °C, parauga masa 0,2 g. Paraugu morfoloģija analizēta ar augstas izšķirtspējas mikroskopu *Tescan Mira/LMU*. Daļiņu izmēri noteikti ar attēlu apstrādes programmu *Image PRO plus 6.0*, analizējot vismaz 200 granulas katram paraugam.

Rezultāti un diskusija

Minerālais sastāvs

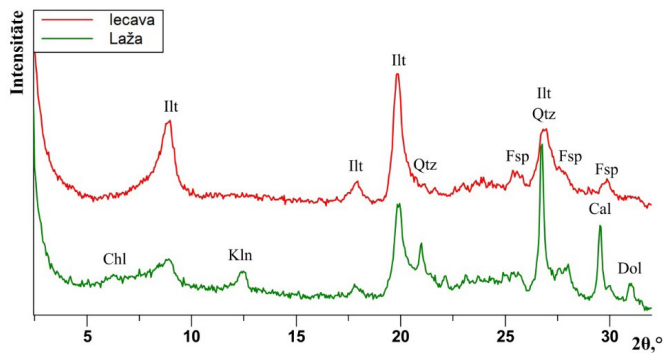
Abu atradņu minerālā sastāva atšķirības parādītas 1. attēlā. Iecavas mālu paraugs sastāv galvenokārt no illīta, novērojami arī nelieli kvarca un laukšpata piemaisījumi. Lažas māli bez illīta satur arī nedaudz kaolīnīta un hlorīta, bet kā piemaisījumi ir kvarcs, laukšpati, dolomīts un kalcīts.

Viskozitāte un sedimentācijas stabilitāte

Pagatavoto mālu suspensiju sedimentācijas īpašības atšķirās. Vislielākā viskozitāte 0,015 ± 0,003 Pa·s un 0,012 ± 0,003 Pa·s bija Iecavas paraugiem ar pH 5 un 9, pārējiem paraugiem tā bija ievērojami zemāka, ap 0,005 ± 0,003 Pa·s, kas tomēr ir vairāk nekā tīram ūdenim (0,001 Pa·s). Koncentrētas mālu suspensijas ir neņūtona šķidrums – tās maisot, viskozitāte samazinās (Dusenkova *et al.* 2013), kas arī vērojams šajā paraugu sērijā – viskozākie paraugi maisīšanas rezultātā nedaudz sašķidrinās. Daļiņu savstarpējā mijiedarbība ievērojami

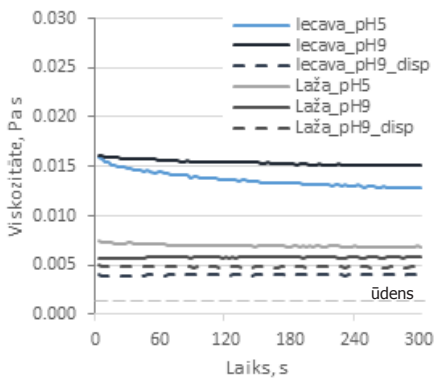
atšķiras arī, paraugus nostādinot 72 stundas istabas temperatūrā. Kā redzams 2. attēlā, visvairāk noslāņojušies ir paraugi ar pH 5, savukārt paraugiem pH 9 ar un bez dispersanta praktiski nav izveidojies dzidrais slānis, bet paraugiem ar dispersantu ir novērojama rupjāko daļiņu noslāņošanās.

Mālu suspensiju viskozitāti un stabilitāti ietekmē minerālais sastāvs, daļiņu izmēra sadalījums un vides pH, kas nosaka daļiņu savstarpējo mijiedarbību un trīsdimensionālās struktūras veidošanos (Dušenkova 2015). Paraugiem ar dispersantu viskozitāte ievērojami samazinās un vērojams rupjāko daļiņu nosēdumu slānis. No tā var secināt, ka dispersanta pievienošana izjauc mālu daļiņu specifisko trīsdimensionālo struktūru, radot stabilu koloidālu sistēmu, kurā rupjākās daļiņas nosēžas, jo tās vairs nav ieslēgtas starp mālu minerālu daļiņām, kā arī to sedimentācijas ātrums ir pieaudzis, jo suspensijas viskozitāte ir samazinājusies. Savukārt paraugi ar pH 5 sedimentējas strukturāli (Lagaly 2006), un veidojas lielāks dzidrā slāņa augstums. Šiem paraugiem viskozitāte ir nedaudz lielāka nekā paraugiem ar dispersantu, un tas liecina par mālu daļiņu savstarpējās mijiedarbības palielināšanos, salīdzinot ar paraugiem ar pH 9.

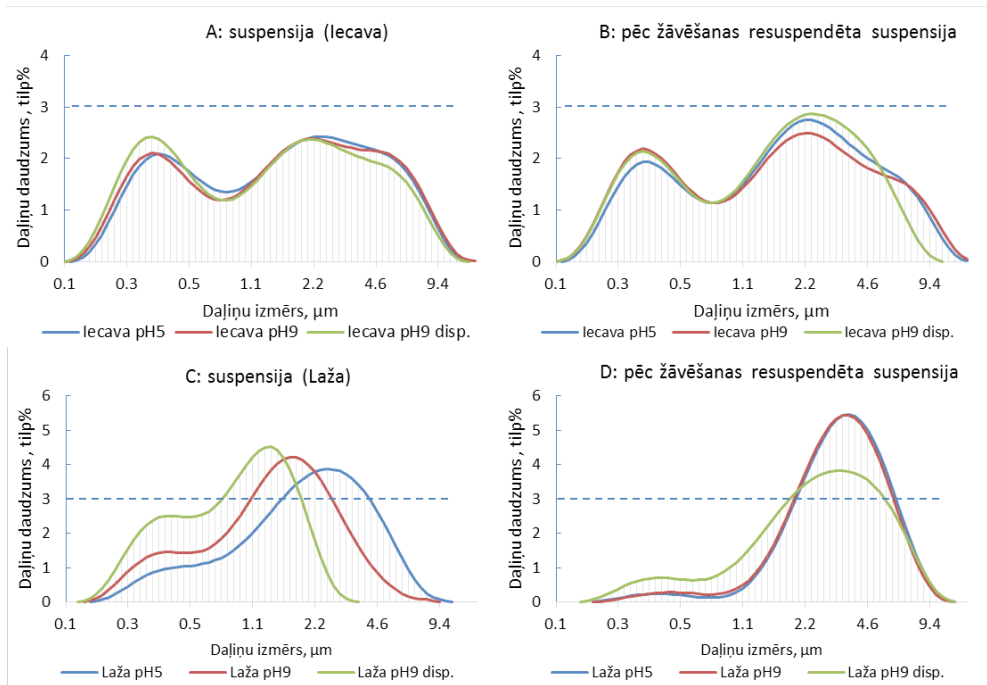


1 att. lecas un lažas mālu frakcijas < 2 μm rentgenodifraktogrammas

(Illt – illīts; Kln – kaolīnīts; Chl – hlorīts; Qtz – kvarcs; Fsp – laukšpati; Dol – dolomīts; Cal – kalcīts)



2. att. Mālu suspensiju viskozitāte pirms izsmidzināšanas (pa kreisi) un sedimentācijas stabilitāte (pa labi). Ar raustītu līniju atzīmēts visvairāk noslāņojušās suspensijas līmenis, ar aplīti – cietās fāzes frakcionēšanās



3. att. Daļiņu izmēra sadalījums dažāda sastāva paraugiem suspensijai un atkārtoti suspendētam paraugam pēc žāvēšanas

Salīdzinot granulometrijas datus suspensijām (3. attēlā A un C), var redzēt, ka daļiņu izmēra sadalījums Lažas paraugiem mainās – pazeminot pH, palielinās rupjo daļiņu jeb aglomerātu daudzums, bet, pievienojot dispersantu, aglomerācija un attiecīgi arī daļiņu izmērs samazinās. Savukārt Iecavas paraugiem, kas jau sākotnēji satur vairāk smalko daļiņu, dispersanta pievienošana salīdzinoši nedaudz palielina daļiņu daudzumu ar izmēru zem 0,7 μm, sašķeļot aglomerātus ar izmēru virs 3 μm, bet pH samazināšana Iecavas paraugam praktiski nemaina daļiņu sadalījumu.

Suspensijas daļiņu izmēra sadalījums pirms un pēc žāvēšanas

Viens no svarīgiem parametriem mālu žāvēšanā, lai tos vēlāk lietotu kosmētikā pusšķidrās produktos, ir mālu daļiņu aglomerācija žūšanas laikā un spēja atkārtoti suspendēties jeb resuspendēties. Salīdzinot granulometrijas datus pirms un pēc žāvēšanas (1. tab. un 3. att.), ir vērojams, ka Iecavas paraugiem daļiņu izmērs d_{50} pēc žāvēšanas un pēc atkārtotas suspensijas izveides atšķiras par mazāk nekā 10%, kas ir tuvu kļūdas robežai, savukārt Lažas atradnes paraugiem izmērs pieaug ievērojami, paraugam Laža pH9 – divas reizes, bet Laža pH9 disp – pat trīs reizes, galvenokārt samazinoties daļiņām ar izmēru līdz 1 μm un pieaugot daļiņu daudzumam ar izmēru 3,2–4,2 μm. Veicot granulometriju ilgāku laiku, daļiņu izmērs Lažas paraugiem nedaudz samazinās, un tas skaidrojams ar aglomerātu pakāpenisku sadalīšanos. Salīdzinot daļiņu izmērus Lažas paraugiem pēc resuspendēšanās savstarpēji, paraugam ar dispersantu ir mazākas daļiņas nekā paraugiem Laža pH9 un Laža pH5.

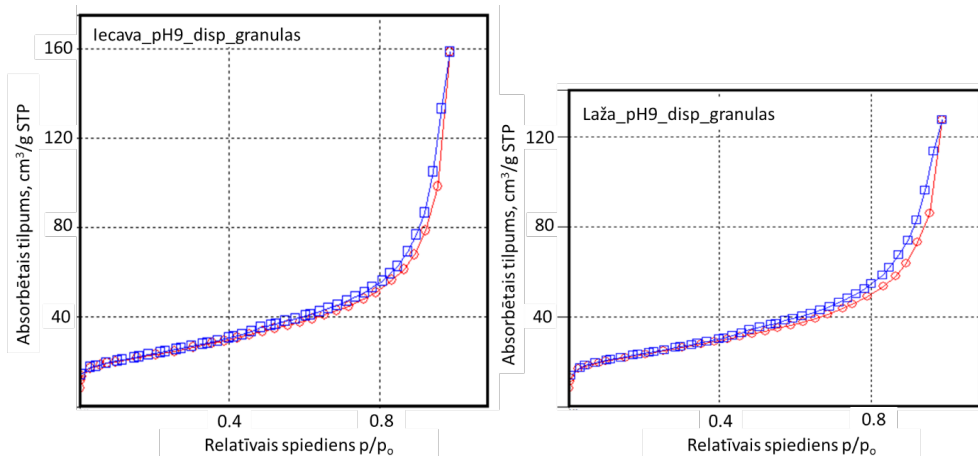
Daļiņu izmēri (d_{50}) suspensijai un atkārtoti suspendētam paraugam pēc žāvēšanas

Paraugs	Daļiņu izmēri d_{50} , μm	
	Suspensija	Resuspendēts
Iecava pH5	1,65	1,79
Iecava pH9	1,65	1,64
Iecava pH9 disp.	1,43	1,61
Laža pH5	2,07	3,40
Laža pH9	1,43	3,30
Laža pH9 disp.	0,91	2,72

Iecavas paraugam daļiņu ar izmēru zem $1 \mu\text{m}$ bija vairāk nekā Lažas paraugiem pirms izsmidzināšanas, un pēc izsmidzināšanas izmēra sadalījums mainījās minimāli. Kā iespējamo izskaidrojumu varētu minēt paraugu atšķirīgo minerālo sastāvu un pastiprinātu aglomerāciju, ko, iespējams, veicina Lažas sastāvā esošais dolomīts un kalcīts, kas darbojas kā saķepināšanas aģents, tādējādi neļaujot sausajām granulām sadalīties tik strauji kā Iecavas paraugam. Lažas paraugam dispersanta pievienošana būtiski samazina daļiņu aglomerāciju gan pirms, gan pēc žāvēšanas.

Izzāvēto granulu morfoloģija

Izsmidzināšanas žāvētavā iegūto granulu īpatnējā virsma ir līdzīga: vislielākā tā ir paraugiem ar pH 9. Tā nedaudz samazinās, pievienojot dispersantu, un par vismaz 10% samazinās, pazeminot pH, turklāt Lažas paraugiem izmaiņa ir lielāka. Arī paraugu mezo un mikro porainība visiem paraugiem ir ļoti līdzīga, histerēzes cilpa starp absorbcijas un desorbcijas līknēm platāka ir paraugiem ar dispersantu (4. att.), un tas liecina, ka šiem paraugiem mālu daļiņas granulās nesakļaujas tik cieši kā paraugiem bez dispersanta.



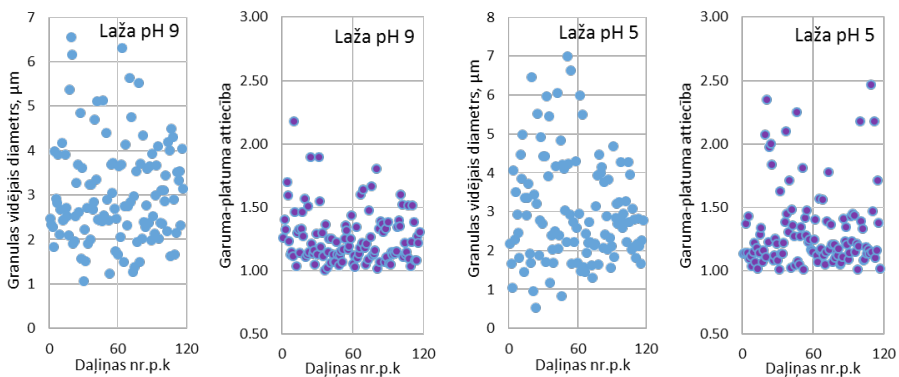
4. att. Absorbcijas-desorbcijas izoterma izsmidzināšanas žāvētavā iegūtām mālu granulām ar dispersantu

2. tabula

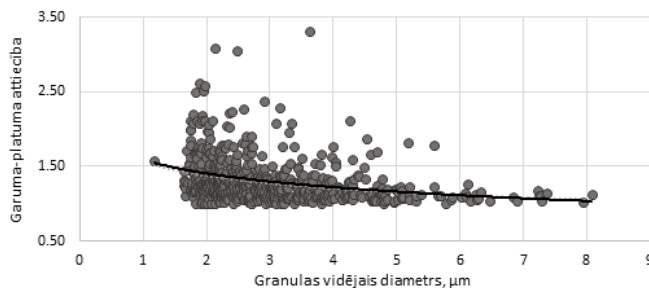
Mālu granulu īpatnējā virsma un poru tilpums

Paraugs	Īpatnējā virsma, m ² /g	Poru tilpums, cm ³ /g
Iecava pH5	76	0,21
Iecava pH9	84	0,19
Iecava pH9 disp.	81	0,24
Laža pH5	73	0,20
Laža pH9	87	0,17
Laža pH9 disp.	81	0,20

Vidējais granulu diametrs visiem paraugiem ir $3 \pm 1 \mu\text{m}$, daļiņu forma nedaudz iegarena ar vidējo garuma–platuma attiecību $1,33 \pm 0,06$. Granulu vidējā diametra izkliede neatbilst Gausa sadalījumam (5. att.) – lielāko daļiņu apgabalā vērojama lielāka izkliede. Tas ir skaidrojams ar žāvēšanas procesa īpatnību, ka daļiņu izmēru visvairāk ietekmē izsmidzinātās suspensijas piliena izmērs, kas ir atkarīgs no sprauslā padotā gaisa un šķidrums plūsmu attiecības. Kā redzams 6. attēlā, mazākajām daļiņām formas faktors ir lielāks, savukārt lielākajām granulām tas tiecas uz 1, kas raksturo ideālu sfēras proporciju, tāpēc ka lielākās daļiņas rodas, saplūstot pilieniem žāvētavā, savukārt mazākās daļiņas rodas, granulām sašķeļoties, ja tās nav pietiekami mehāniski izturīgas.

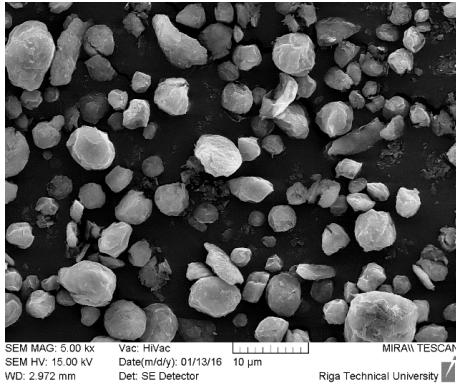


5. att. Granulu vidējā diametra un garuma–platuma attiecības izkliede Lažas paraugiem ar pH 9 un pH 5

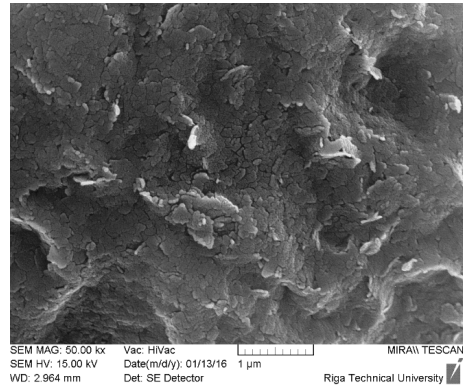


6. att. Granulas formas faktora (garuma–platuma attiecības) atkarība no granulas vidējā diametra

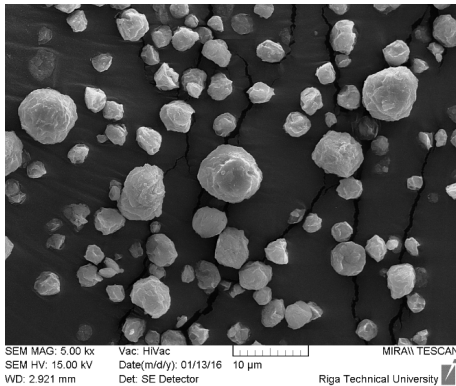
A: Iecava pH9 ar dispersantu (paliel.: 5000×)



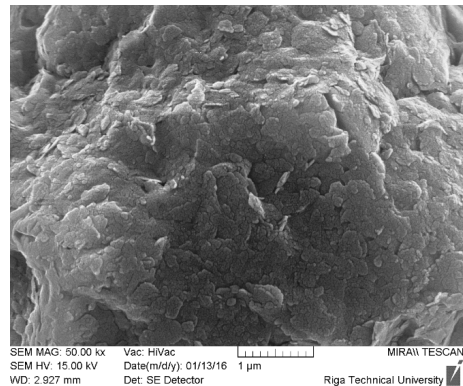
B: Iecava pH9 ar dispersantu (paliel.: 50 000×)



C: Laža pH9 ar dispersantu (paliel.: 5000×)



D: Laža pH9 ar dispersantu (paliel.: 50 000×)



7. att. Mālu granulu elektronmikroskopijas attēli

Nosakot granulu vidējo diametru, aprēķinos netika ņemtas vērā daļiņas, kuru šķērsriezuma laukums bija mazāks nekā $1 \mu\text{m}$. Kā redzams 7. A attēlā, blīvas un noapaļotas formas granulas ir ar diametru $> 1 \mu\text{m}$, bet mazākās daļiņas ir atsevišķi aglomerāti vai sadrupušas granulas. Visvairāk sīko daļiņu bija Iecavas paraugam ar dispersantu, savukārt pārējiem paraugiem (piemēram, 7. C attēls) šādas daļiņas praktiski nebija novērojamas vai bija ļoti minimālā skaitā.

Granulu virsmas morfoloģija paraugiem bija līdzīga – granulas bija blīvas un sfēriskas, bez lielām porām, tukšumiem vai iedobumiem (7. B un D att.). Granulu virsma bija nelidzena, nedaudz raupjākas granulas ar izteiktākiem izliekumiem bija sastāviem ar dispersantu.

Secinājumi

Mālu granulu izmēru un morfoloģiju suspensijas sastāvs un fizikālās īpašības (viskozitāte un sedimentācijas stabilitāte) praktiski neietekmē. Visu sastāvu paraugi veidoja sfēriskas, blīvas granulas ar raupju virsmu. Dispersanta pievienošana nedaudz palielina granulu porainību, veidojot spraugas starp mālu daļiņām. Daļiņu spēju atkārtoti suspendēties ūdenī ievērojami ietekmē mālu sastāvā dabiski esošais dolomīts un kalcīts. Iecavas atradnes

māliem, kas nesatur šīs cementējošās piedevas, pievienojot dispersantu, veidojas mehāniski neizturīgākas granulas nekā pārējiem paraugiem, savukārt Lažas paraugiem dispersanta pievienošana samazina aglomerāciju gan pirms, gan pēc žāvēšanas.

Izsmidzināšanas žāvēšana ir robusta metode, jo suspensijas sastāvs ļoti minimāli ietekmē iegūto mālu granulū formu un morfoloģiju. Tomēr, lai granulas izmantotu kosmētikas ražošanā, jāņem vērā iegūto granulū ķīmiskās un fizikālās īpašības, kas ir atkarīgas no izsmidzinātās suspensijas sastāva. Kā šīs metodes priekšrocība jāmin granulū ātrā sadalīšanās praktiski tajās pašās daļiņās atkārtotās suspendēšanas laikā, ja sastāvā nav cementējošās piedevas.

Pateicība

Pētījums tapis Valsts Pētījumu programmas 2014-2017 6. programmas 4. projekta “Zemes dziļu resursu izpēte – jauni produkti un tehnoloģijas (Zeme)” 2. apakšprojekta ietvaros.

Izmantotā literatūra

Bertrand, G., Roy, P., Filiatre, C., Coddet, C., 2005. Spray-dried ceramic powders: A quantitative correlation between slurry characteristics and shapes of the granules. *Chemical Engineering Science*, 60 (1), 95–102.

Carrado, K. A., Decarreau, A., Petit, S., Bergaya, F., Lagaly, G., 2006. Synthetic clay minerals and purification of natural clays. In: Bergaya, F., Theng, B. K. G., Lagaly, G. (eds.), *Handbook of clay science*, Chapter 4. Elsevier, pp. 115–139.

Dusenkova, I., Malers, J., Berzina-Cimdiņa, L., 2015. Rheological properties of purified illite clays in glycerol/water suspensions. *Journal of Physics: Conference Series*, 602, 1–5.

Dušenkova, I., 2015. Latvijas mālu sagatavošanas tehnoloģijas izstrāde un īpašību pētījumi izmantošanai kosmētiskajos produktos. Promocijas darbs, 106. lpp.

Dusenkova, I., Stepanova, V., Vecstaudza, J., Lakevics, V., Malers, J., Berzina-Cimdiņa, L., 2013. Viscosity and plasticity of Latvian illite clays. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 10 (4), 449–454.

Dušenkova, I., Kusiņa, I., Mālers, J., Bērziņa-Cimdiņa, L., 2015. Application of Latvian illite clays in cosmetic products with sun protection ability. *Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference “Environment. Technology. Resources”*, Vol. I, pp. 28–32.

Lagaly, G., 2006. Colloid clay science. In: Bergaya, F., Theng, B. K. G., Lagaly, G. (eds.), *Handbook of Clay Science*, Chapter 5. Elsevier, pp. 141–245.

Mondragon, R., Jarque, J. C., Julia, J. E., Hernandez, L., Barba, A., 2012. Effect of slurry properties and operational conditions on the structure and properties of porcelain tile granules dried in an acoustic levitator. *Journal of the European Ceramic Society*, 32, 59–70.

Pura, A., Dusenkova, I., Malers, J., 2014. Adsorption of organic compounds found in human sebum on Latvian illitic, kaolinitic and chloritic phyllosilicates. *Clays and Clay Minerals*, 62 (6), 500–507.

Stunda-Zujeva, A., Stepanova, V., Bērziņa-Cimdiņa, L., 2015. Effect of spray dryer settings on the morphology of illite clay granules. *Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference “Environment. Technology. Resources”*. Vol. I, 216–22.

Tokubo, K., Yamaguchi, M., Suzuki, J., Yoshioka, T., Kanda, F., Fukuda, M., Ikeda, T., Kawaura, T., Yagita, Y., 1988. Spherical clay mineral powder, process for its production, and composition containing same. Patents.

Tūrisma likums. Pieejams: <http://likumi.lv/doc.php?id=50026> [skatīts 15.01.2016.].

Vecstaudža, J., Stunda-Zujeva, A., Irbe, Z., Bērziņa-Cimdiņa, L., 2012. Komerčiālo kosmētisko mālu sastāvs un Latvijas mālu piemērotība lietojumam kosmētikā. *Rīgas Tehniskās universitātes zinātniskie raksti: Materiālzinātne un lietišķā ķīmija*, 26, 42–49.

Māli un keramika arheoloģiskos pētījumos

Dekoratīvie elementi vēlā bronzas laikmeta keramikā Latvijas teritorijā

Vanda Visocka

Latvijas Universitāte, Vēstures un filozofijas fakultāte

E-pasts: vanda.visocka@lnvm.lv

Pētījums ir veltīts vēlajā bronzas laikmetā sastopamo dekoratīvo elementu klasificēšanai. Izdalāmas sešas pamatgrupas – auklas nospiedumi, bedrītes, nagiespiedumi, ovāli izcilniši, svītru iegriezumi un valniši. Izdalāmas arī trīs divu ornamentu kompozīcijas – auklas ar svītru iegriezumiem, auklas ar bedrītēm un svītru ar bedrītēm. Visiem šiem dekoratīvajiem elementiem analogijas sastopamas ne tikai dažādos Latvijas reģionos, bet arī visā Eiropā, piemēram, Nīderlandē, Polijas DR, Dānijā u. c.

Ievads

Dažādi dekoratīvie elementi uz māla trauku virsmas sastopami jau kopš neolīta (5400.–1800. g. pr. Kr.), kad parādījās pirmie zināmie māla trauki. Neolītā sastopamā keramika ir bagātīgi rotāta, un tas īpaši izpaudās ķemmes-bedrišu keramikas kultūrā, šo trauku virsma ir blīvi nosepta ar ļoti standartizētiem ornamentiem (Bērziņš, Vasks 2013: 59). Šai keramikai raksturīgi ķemmes un bedrišu spiedoga iespaidumi, kuri izkārtoti horizontālās joslās, zigzagveida likločos u. c., nosedzot trauku daļēji vai pilnīgi (Vasks, Grāvere 1997: 66).

Bronzas laikmeta sākumā pastāvēja t.s. Lubānas tipa keramika, kas, turpinot ķemmes bedrišu keramikas tradīcijas, bijusi krāšņi ornamentēta (Vasks 2015: 106). Lubānas tipam bija raksturīgas daudzveidīgas dekoratīvo elementu motīvu kompozīcijas, kurās izmantoti ķemmes spiedogi, ievilkta līnijas, auklas nospiedumi, kā arī dažādu formu bedrītes (Vasks, Grāvere 1997: 70). Situācija mainījās vēlajā bronzas laikmetā (ap 1100. g. pr. Kr.), kad izplatījās švikātā, gludā, agrā apmestā un arī tekstilā keramika. Šajā laikposmā pārtrūka trauku bagātīgās ornamentācijas tradīcija, rezultātā dekoratīvie elementi uz trauku virsmas praktiski nav sastopami (Vasks 2015: 106).

Savas retās sastopamības dēļ ornamentu vēlā bronzas laikmeta keramikā nav piesaistījuši lielu uzmanību pētnieku vidū. Vienīgais arheologs, kurš pievērsies vēlā bronzas (un arī senākā dzelzs) laikmeta keramikas dekoratīvo elementu sīkākai analīzei Latvijā sastopamajos arheoloģiskajos pieminekļos, ir Andrejs Vasks (Backs 1991: 19, 23, 47–55, 73–78, 86). Kopš šī pētījuma ir pagājis vairāk nekā divdesmit gadu, kuru laikā ir notikuši ne tikai arheoloģiskie

izrakumi dažādos pieminekļos, bet arī gūtas jaunas atziņas par keramiku un dažādām tajā sastopamajām pazīmēm.

Darba mērķis ir klasificēt dekoratīvo elementu veidus, kas sastopami vēlā bronzas laikmeta pilskalnos, veikt ornamentu statistisko un salīdzinošo analīzi. Dekoratīvo elementu sīkāka analīze palīdz noteikt keramikas ornamentēšanas tradīcijas dažādos Latvijas reģionos, kā arī salīdzināt tās ar citu valstu reģioniem, kas ļautu izteikt minējumus par dažādu kultūru savstarpējo ietekmi citai uz citu.

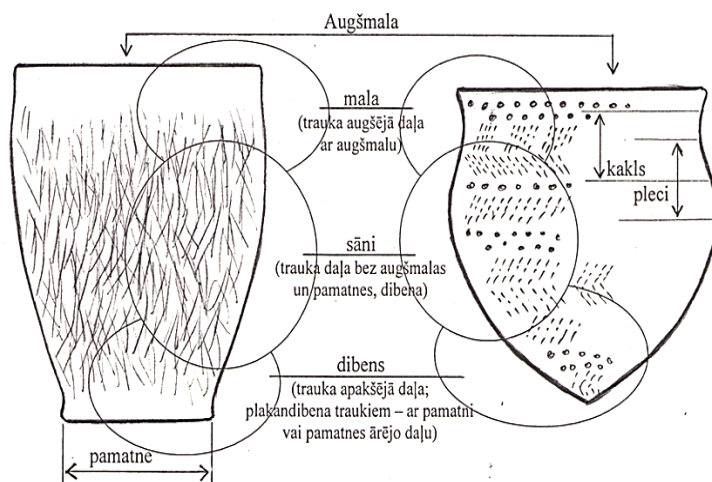
Materiāls, metodes un terminoloģija

Pētījums balstās uz keramikas kolekcijām, kas arheoloģiskajos izrakumos atrastas pilskalnos. Šī dzīvesvietu tipa izvēlei ir vairāki iemesli:

- 1) tie parādās vēlajā bronzas laikmetā, tāpēc ir spilgtākais laikposma liecinieks;
- 2) pilskalnos konstatēti aktīvi maiņas sakari, kas, arheoloģiskajā materiālā var vispilnvērtīgāk atspoguļot kultūru un to tradīciju mijiedarbību (Vasks 2012:17);
- 3) kapulaukos apbedījumu inventārā sastopama tikai niecīga daļa no visas izveidotās keramikas, tāpēc nevar veikt pilnīgu statistisko un salīdzinošo analīzi;
- 4) māla trauki ar ornamentu lielākoties sastopami tieši pilskalnu keramikas kolekcijās.

Darbā izanalizēti septiņu pilskalnu keramikas kolekciju fragmenti ar dekoratīvajiem elementiem – Dievukalna, Kļauģukalna, Krievukalna, Ūvitukalna, Mūkukalna, Paplakas un Vinakalna.

Terminoloģija, kura izmantota šajā darbā, aizgūta no Baibas Dumpes Latvijas Nacionālā vēstures muzeja vajadzībām veidotā uzskates materiāla “Trauku daļu apzīmējumi”. Trauks ir sadalīts trīs zonās – mala, sāns un dibens. Katrai no trauka zonām tiek dota attiecīgā definīcija: mala – trauka augšējā daļa ar augšmalu; sāns – trauka daļa bez augšmalas un pamatnes dibena; dibens – trauka apakšējā daļa. Konkrētākām trauka daļām izmantoti apzīmējumi – trauka augšmala, kakls, pleci un pamatne (1. att.).

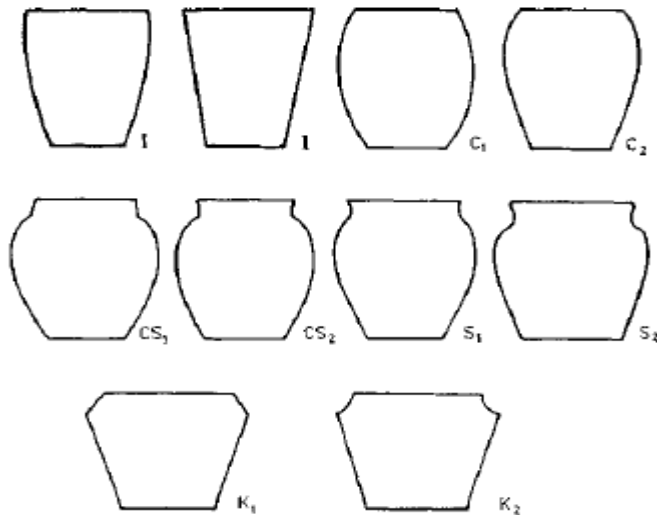


1. att. Trauku daļu apzīmējumi (veidojusi B. Dumpe)

Keramikas trauku raksturs lielākoties ir fragmentārs, tas iekļauj sevī arī lauskas ar ornamentu, kā rezultātā nav iespējams spriest par to kompozīciju (Bacck 1991: 23). Šajā gadījumā A. Vasks piedāvā ornamentus klasificēt pēc atsevišķiem elementiem, formas un veidošanas paņēmieniem (Bacck 1991: 23). Tāpēc darba autore savā klasifikācijā balstīsies uz šī principa.

Lai noteiktu ornamentēto podu raksturīgākās īpašības un tendences, statistiskajā analizē tiks aplūkotas ne tikai skaitliskās attiecības starp traukiem ar dekoru un bez tā, bet arī dažādas to iezīmes – virsmas apdares tips (švikāta, gluda, apmesta, tekstila), profila forma, diametrālais izmērs. Precīzākai statistikas izveidei, lai izvairītos no neprecizitātēm, savienojamas trauku lauskas un tādas, kuras pēc visām pazīmēm atbilst vienam podam, tiek uzskaitītas kā viens fragments. Balstoties uz A. Vaska atzinumu, jāatzīmē, ka iegūtās procentuālās un skaitliskās vienības atspoguļos vienīgi dekorēto un nedekorēto fragmentu, nevis veselo trauku attiecības (Vasks 1994: 50).

Analizējot trauku profila formas, pamatā tiek izmantota Rimutes Rimantienes klasifikācija: I, C, CS, S, K (Rimantienē 2005: 45) (2. att.).



2. att. Trauku profila formas (no Bacck 1991: Puc. 1)

Izmantojot šo klasifikāciju praksē, rodas zināmas problēmas, Valdis Bērziņš atzīmē, ka bieži vien I formas trauku fragmentus nevar atšķirt no C, jo ne vienmēr ir iespējams precīzi orientēt trauka malas fragmentu pret mutes plakni, šādos gadījumos pareizāk ir lietot apzīmējumu IC (Bērziņš 2003: 55). Svarīgi, ka izteikta K forma novērojama salīdzinoši reti, biežāk sastopams taisns, bet viegli ieliekts kakls, kas tiks apzīmēts ar IK.

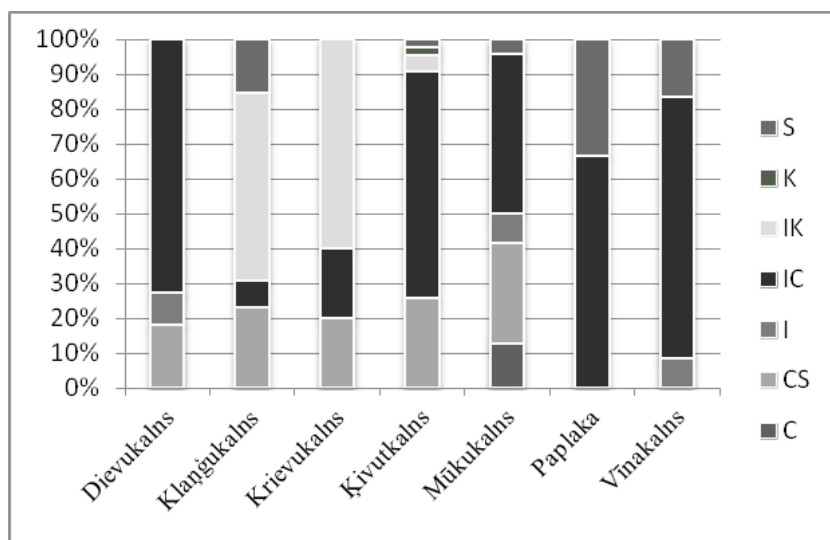
Rezultāti

Vēlā bronzas laikmeta pilskalnos trauku fragmenti ar dekoru lielākoties nepārsniedz 1% barjeru, kā izņēmumi šajā kontekstā jāmin Brikuļu (1,42%) un Mūkukalna (1,02%) pilskalni, salīdzinoši liels īpatsvars sastopams arī Vinakalnā (1%).

Pirms dekoratīvo elementu veidu klasifikācijas un detalizētas aprakstīšanas jābilst, ka rotātu trauku fragmentu, kuriem ir nosakāma profila forma, ir ļoti maz, tāpēc to sīkāka analīze nespēj iezīmēt vispārīgās tendences, kas vērojamas dažādu ornamentu tipu podiem.

Taču ir iespējams vispārīgi raksturot profila formu tendences traukiem ar dekoratīvajiem elementiem kopumā (3. att.).

Datu diagrammā redzams, ka dominējošās profila formas traukiem ar dekoratīvajiem elementiem lielākajā daļā no izanalizētajiem pilskalniem ir IC (Dievukalnā 73%, Ķivutkalnā 65%, Mūkukalnā 46%, Paplakā 67%, Vīnakalnā 75%) un CS (Dievukalnā 18%, Kļauģukalnā 23%, Krievukalnā 20%, Mūkukalnā 29%). Atšķirībā no citiem pilskalniem, Kļauģukalnā un Krievukalnā izteikti dominē IK forma, respektīvi, 54% un 60% no visiem sastopamajiem ornamentētajiem malū fragmentiem.



3. att. Dekoratīvo elementu fragmentos sastopamās profila formas

Tāda pati situācija novērojama arī fragmentiem, kuriem ir nosakāms diametra lielums. Šī iemesla dēļ tiks aplūkotas rotāto trauku diametrālo lielumu vispārīgās tendences kopumā. Neskaitot Brikuļu pilskalnā atrastos ornamentētos miniaturtrauciņus (diametrs mazāks par 10 cm), dekoratīvie elementi lielākoties sastopami uz vidējiem (11–20 cm diametrā) – 65 %, retāk uz lielajiem traukiem – 35% no visu izanalizēto fragmentu kopskaita (Vasks 1994: 54).

Aplūkojot dekoratīvos elementus vēlā bronzas laikmeta pilskalnos, tos var klasificēt šās pamatgrupās:

- 1) auklas nospiedumi;
- 2) bedrītes;
- 3) svītru iegriezumi;
- 4) nagiespiedumi;
- 5) ovāli izcilniši un
- 6) valniši (1. tab.).

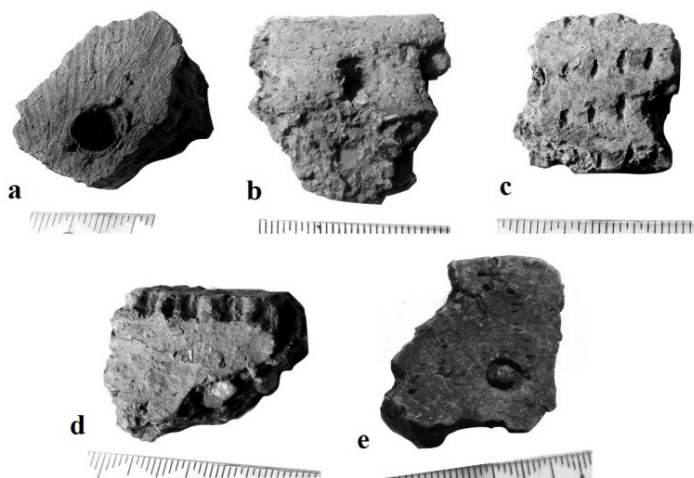
1. tabula

Pilskalnos sastopamie dekoratīvo elementu veidi

Dekoratīvo elementu veidi	Pilskalni						
	Dievukalns	Klaņģukalns	Krievukalns	Ķivutkalns	Mūkukalns	Paplaka	Vīnakalns
Auklas nospiedumi	1/ 3%	-	-	19/ 16%	8/ 9%	-	-
Auklas nosp. + bedrītes	-	-	-	3/ 2%	4/ 5%	-	-
Auklas nosp. + svītru	-	-	-	-	1/ 1%	-	-
Bedrītes	27/ 79%	30/ 94%	13/ 30%	81/ 67%	64/ 69%	-	22/ 73%
Nagiespiedumi	1/ 3%	-	23/ 52%	-	4/ 4%	6/ 86%	-
Ovāli izciļņi	-	-	5/ 11%	2/ 2%	-	-	-
Svītru iegriezumi	3/ 9%	2/ 6%	-	-	4/ 4%	-	2/ 7%
Svītru iegriez. + bedrītes	-	-	-	9/ 8%	4/ 4%	-	-
Valnītis	2/ 6%	-	3/ 7%	6/ 5%	4/ 4%	1/ 14%	6/ 20%
KOPĀ:	34/ 100%	32/ 100%	44/ 100%	120/ 100%	93/ 100%	7/ 100%	30/ 100%
% no keramikas kolekcijas kopskaita	0,97	0,86	0,6	0,32	1,02	0,8	1

Kā pats izplatītākais dekoratīvais elements, kurš lielā skaitā sastopams praktiski visu analizēto pilskalnu keramikas kolekcijās, izņemot Paplakas, ir **bedrīšu ornamenti**. Lielākā daļa no bedrītēm ir apaļas (a), taču ir sastopamas arī ovālas (b), iegarenas (c), kantainas (d), kā arī riņķveida (e) formas (4. att.).

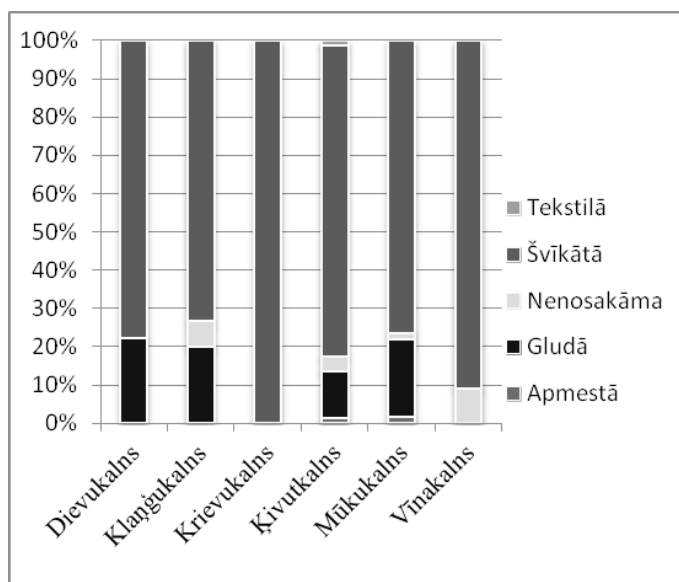
Bedrītes veidotas, iespiežot dažādu formu kociņus ieslīpi vai taisni uz trauka virsmas (Vasks 1994: 50). To iespieduma raksturs ir dažāds, bedrītes var būt iespiestas gan pavisām, veidojot neregulāru formu, gan rūpīgi, mazāk kā milimetru vai pat līdz 4 mm dziļumā. Šis dekoratīvais elements pārsvarā iespiests uz poda augšmalas, retāk kakla un pleciem, pārsvarā vienā rindā, bet sastopamas arī divās vai trīs rindās klātas (Баскк 1991: 47). Divos gadījumos konstatētas bedrītes vismaz četrās rindās – Ķivutkalnā (X laukums, 9. kārta, pavards) un Mūkukalnā (Inv. Nr. A11848: 1167).



4. att. Bedrīšu ornamenta veidi

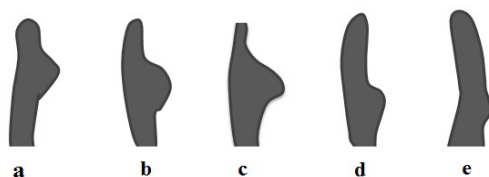
(Foto – V. Visocka; a, b, c – Ķivutkalns, VIII laukums – 4. kārts; II lauk. – 6. k.; X lauk. – 9. k., LNVM; d – Krievukalns, I un IV lauk. Starpprofils – 2. k. – 4. kvadrāts, LNVM; e – Mūkukalns, XIX lauk. – 2. k., LNVM)

Sīkāk aplūkojot keramikas virsmas apdares īpatnību un bedrīšu ornamenta procentuālo attiecību, 5. attēlā redzams, ka šis dekoratīvais elements pārsvarā sastopams uz švīkāta (Dievukalnā 78%, Kļauņukalnā 73%, Krievukalnā 100%, Ķivutkalnā 82%, Mūkukalnā 77%, Vīnakalnā 91%), retāk uz gludā tipa traukiem (Dievukalnā 22%, Kļauņukalnā 20%, Ķivutkalnā 12%, Mūkukalnā 20%) (5. att.).



5. att. Keramikas tipi, kuros sastopamamas bedrītes

Diezgan bieži sastopami dekoratīvie elementi ir **valnīši**. Šim ornamenta veidam pēc profila formas var izšķirt vairākus apakštipus – trīsstūrveida (a), apaļi (b), ovāli (c), izliekti (d) un neizteikti (e) (6. att.).

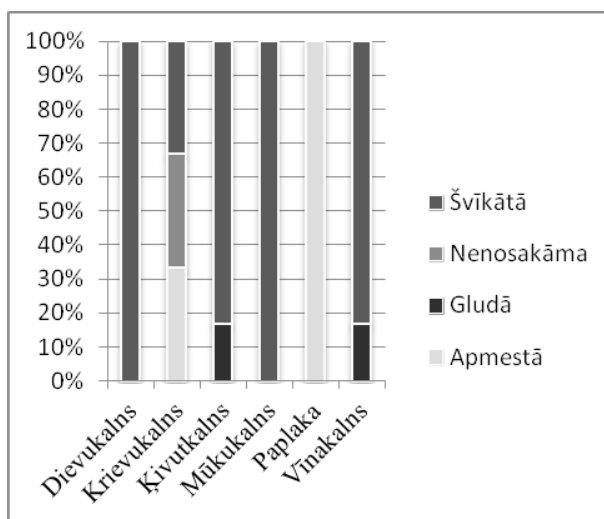


6. att. **Valnīšu ornamenta profila formas**

(a, c, d – Ķivutkalns, V lauk. – 2. k., IX lauk. – 4. k., X lauk. – 6. k., LNVM; b – Vīnalkalns, II lauk. – 2. k., LNVM; e – Mūkukalns, III lauk. – 2. k., LNVM)

Valnīši veidoti, tikko izgatavotam, vēl neapdedzinātam traukam augšmalā piestiprinot māla lenti un pēc tam to nogludinot (Graudonis 1989: 49). Šis dekoratīvais elements pārsvarā piestiprināts pie trauka plecu daļas, veidojot mākslīgu lūzumu trauka profilā.

Kā redzams 7. attēlā, šis dekoratīvais elements lielākoties sastopams uz švīkāta tipa keramikas (Dievukalnā 100%, Krievukalnā 50%, Ķivutkalnā 83%, Mūkukalnā 100%, Vīnalkalnā 83%) (7. att.).

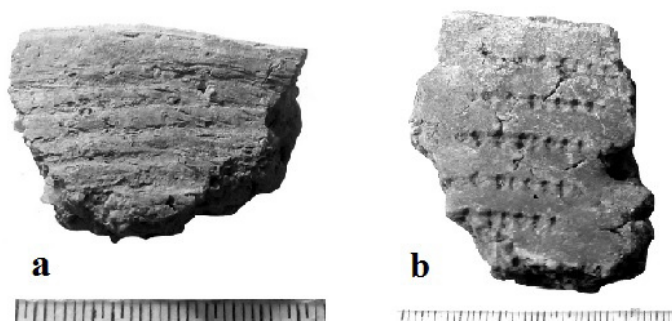


7. att. **Keramikas tipi, kuros sastopami valnīši**

Krievukalna (34%) un Paplakas (100%) pilskalnos valnītis veidots uz apmesta, savukārt Ķivutkalna (17%) un Vīnalkalna (17%) – uz gluda tipa traukiem.

Salīdzinoši nelielā skaitā sastopami **svītru iegriezumi**. Trauka virsmā ar dažāda biezuma līnijām tiek mēģināts izveidot dažādas kompozīcijas – zigzagus, vertikālas, horizontālas vai ieslīpas svītras, kā arī ķeksisīveida iegriezumus augšmalā. Šis ornaments klāj trauku vienā, retāk divās vai trīs rindās (Backs 1991: 49). Diemžēl fragmentu niecīgā skaita dēļ nav iespējams sniegt adekvātu virsmas apdares un svītru iegriezumu ornamenta procentuālo attiecību, tāda pati problēma attiecināma arī uz pārējiem tiptiem – auklas nospiedumiem, nagiespiedumiem un ovāliem izcilnišiem.

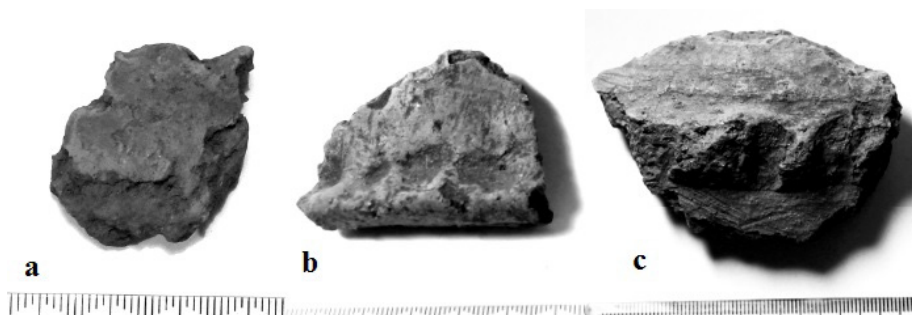
Savdabīgs dekoratīvais elements ir **auklas nospiedumi**. Šo dekoratīvo elementu tipu pieņemts iedalīt divos apakštipos, kas abi sastopami dažās analizētajās keramikas kolekcijās – aptītās auklas (a) un auklas mezglu (b) nospiedums (Vasks 1994: 52) (8. att.).



8. att. **Auklas nospiedumu veidi** (foto – V. Visocka; a, b – Ķivutkalns, I lauk. – 3. k., II lauk. – 3. k., LNVM)

Auklas nospiedumi veidoti ar tievam, apaļam kociņam vai nažveida šķīlai aptītu auklu, un tie pārsvarā izkārtoti slīpu vai horizontālu līniju grupās trauka augšdaļā (Vasks 1994: 50). Ir pieņemts, ka šis dekoratīvais elements sakņojas auklas keramikas tradīcijās, kas raksturīgas jau minētajam neolīta laika posmam (Cimermane 1976: 37).

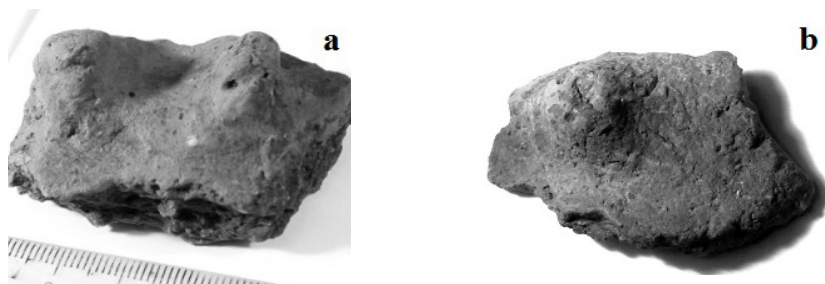
Nagiespiedumi visās savās variācijās relatīvi lielā skaitā sastopami vien Krievukalna pilskalnā (52% no visu ornamentēto trauku kopskaita). Aplūkojot šo dekoratīvo elementu, bija iespējams izdalīt trīs apakšgrupas – nagiespiedumi augšmalā (a), nagiespiedumi pēdā (b) un nagiespiedumi valnīti (c) (9. att.).



9. att. **Nagiespiedumu veidi** (foto – V. Visocka; a – Paplaka, II lauk. – 3. k., LNVM; b, c – Krievukalns, I lauk. – 2. k. – 5. kv., IV lauk. – 3. k. – 7. kv., LNVM)

Šis ornaments ir izveidots, iespējot trauka virsmā ar vienu vai diviem pirkstiem, ar nagu viegli iebakstot pusmēness vai svītriņas formu (Cimermane 1976: 35). Izanalizējot vēlā bronzas laikmeta pilskalnu keramikas kolekcijas, visbiežāk sastopamais rotājuma radišanas veids ir iespiedums ar vienu vai diviem pirkstiem.

Kā īpaši reti dekoratīvie elementi Latvijas teritorijā minami **ovāli izcilniši**. Tie nelielā skaitā sastopami vien Krievukalna (11%) un Ķivutkalna (2%) pilskalnās, tāpēc ir visai netipisks ornaments Latvijas teritorijā. Pēc formas tie var būt ovāli, iegareni “izaugumi” (a) vai arī mazi ovāli izvirzījumi (b) (7. att.).



7. att. **Ovālo izcilņu veidi**

(foto – V. Visocka; a – Krievukalns, VII lauk. – 3. k. – 3. kv., LNVN; b – Ķivutkalns, VII lauk. – 1. k., LNVN)

Ovāli izcilniši, līdzīgi kā valniši, ir vai nu veidoti kopā ar trauku, vai arī pielipināti klāt vēlāk, par ko liecina dažu noplīsušu izcilnišu fragmenti. Izciņņi ir orientēti salīdzinoši tuvu cits citam, piemēram, vienam fragmentam atstarpe starp ovālajiem “izaugumiem” ir viens centimetrs.

Atsevišķiem fragmentiem ir novērojama dekoratīvo elementu mijiedarbība, t. i., divu ornamentu kompozīcija, kas veido dažādus motīvus. Pavisam var izdalīt trīs divu ornamentu kompozīcijas veidus: 1) auklas nospiedumi ar bedrītēm (sastopami tikai Ķivutkalna un Mūkukalna keramikas kolekcijās); 2) auklas nospiedumi ar iegrieztām svītrām (tikai Mūkukalnā) un 3) svītru iegriezumi ar bedrītēm (Ķivutkalnā un Mūkukalnā).

Diskusija

Viens no svarīgākajiem jautājumiem, kas rodas, analizējot vēlā bronzas laikmeta keramiku un tās ornamentiku, zinot iepriekšējo laika posmu kontekstu, ir, kāpēc notiek tik straujš dekoratīvo elementu klāsta zudums?

Sākotnēji varētu domāt, ka iepriekšējā laikmeta kultūras sākušas panīkt, un tas spēcīgi ietekmējis arī materiālās kultūras tradīcijas. Taču A. Vasks, ņemot vērā to, ka iepriekšējā laikmeta sīkplastika un ornaments bijis reliģisko rituālu un maģijas atribūts, norāda, ka dekoratīvo elementu zudums vēlajā bronzas laikmetā, visticamāk, ir saistīts ar jaunu reliģisko tradīciju ieviešanos (Vasks 2015: 144). Reliģisko priekšstatu maiņa uzskatāmi atspoguļojas jaunajās apbedīšanas tradīcijās – kapu uzkalniņos, mirušo kremācijā, kā arī cilvēku neapbedīšanā dzīvesvietu tuvumā (Vasks 2015: 144).

Interesanti, ka Austrumzvidrijas teritorijā arī novērojama dekoratīvo elementu izzušanas tendence keramikā (Karlenby 2010: 149). Zviedru arheologs Leifs Karlenbijs šo procesu skaidro kā iepriekšējās etniskās identitātes un tās tradīciju izzušanu, ienākot jaunai (Karlenby 2010: 149). Varētu teikt, ka Karlenbijs šīs tradīcijas maiņu skaidro ar kultūru mijiedarbību, kad jaunas un vairāk saistošas tradīcijas nomaina vecās.

Pievēršot uzmanību kultūru mijiedarbībai, nevar noliegt, ka dekoratīvajos elementos tā vismaz daļēji atspoguļojas. Šis apgalvojums balstās uz faktu, ka lielākajai daļai ornamentu, kas sastopami vēlā bronzas laikmeta keramikā, ir atrodamas analogijas ne tikai Baltijas jūras piekrastē, bet gan arī visā Eiropā. Piemēram, Brikuļu ornamentētā keramika gan pēc trauku formas, gan pēc dekoratīvo elementu veida ir izteikti līdzīga Igaunijā esošajiem Asvas tipa traukiem, kas norāda uz iespējamiem kultūras sakariem starp abām dzīvesvietām (Langs 2007: 127). Tāpat ir ar auklas nospiedumiem, nagiespiedumiem un svītru iegriezumiem augšmalā, kas sastopami ne tikai Igaunijas un Lietuvas teritorijā, bet arī Ziemeļnīderlandē (*De Zilk-Sportlaan apmetnē*) (Bloo, Briels 2015: 125). Kā īpaši atzīmējami ir ovāli izcilniši, jo šī dekoratīvā elementa izplatības areāls ir īpaši plašs, tas spilgti pārstāvēts Lužicas kultūrā, kā arī Ibērijas pussalā esošā El Argārā, Belāru salās – Maljorkā un Menorkā, Dienvidrumānijā – Ezerovā, arī Dānijā – Borum Eshojā (Fokkens, Harding 2013: 599, 626, 800, 882; Rydh 1926: 37; Gorski 2009: 47).

Savukārt, aplūkojot dekoratīvo elementu attiecības Latvijas teritorijā sastopamajos pilskalnos (skat. *1. tab.*), iespējams saskatīt dažādas ornamentikas tendences atsevišķos reģionos. Bedrīšu ornaments sastopams gandrīz visos izanalizētajos pilskalnos, izņemot Paplaku, savukārt neviens valniša fragments netika fiksēts Kļauņģukalnā. Nagiespiedumi visvairāk sastopami Krievukalna un Paplakas pilskalnā, tādējādi var apgalvot, ka šis ornaments vairāk raksturīgs Rietumlatvijas dzīvesvietās. Savukārt auklas nospiedumi, kā arī to papildinošie svītru iegriezumi un bedrītes sastopami vienīgi Daugavas lejtecē esošajos pilskalnos – Dievukalnā, Ķivutkalnā un Mūkukalnā. Svītru iegriezumi un to papildinošās bedrītes nav sastopamas Rietumlatvijā esošajos pilskalnos – Krievukalnā un Paplakā. Visbeidzot ovāli izcilniši nelielā skaitā sastopami vienīgi Krievukalna un Ķivutkalna pilskalnos, tādējādi padarot to par netipisku ornamentu Latvijas teritorijā esošajiem pieminekļiem. Abi ir savdabīgi bronzas apstrādes centri, tādējādi, iespējams šis Latvijas teritorijai netipiskais ornaments turp kultūras sakaru rezultātā.

Tāpat rodas jautājums, kāda bijusi ornamentēto trauku funkcija? Vai tie ir lietoti ikdienas vajadzībām vai arī paredzēti kādam īpašam notikumam? Vai ornamentētos traukus ir veidojis viens cilvēks, kurš vadījis pēc saviem estētiskajiem priekšstatiem? Valters Langs apgalvo, ka cilvēki, kuri pētāmajā laika posmā izmantoja ornamentētus priekšmetus, bija sociāli augstāki par pārējiem (Langs 2007: 233). Balstoties uz šo atziņu, ir iespējams izteikt versiju, ka pilskalnos sastopamos traukus ar ornamentiku izmantoja augstāka ranga personas. Taču arheoloģiskais materiāls pašlaik nesniedz ziņas par šādu trauku funkciju.

Secinājumi

Dekoratīvie elementi vēlā bronzas laikmeta pilskalnos sastopami visai maz, tie sastāda ne vairāk kā 1,5% no keramikas kolekcijas kopskaita. Vislielākais dekoratīvo elementu īpatsvars sastopams Brikuļu, Mūkukalna un Vinakalna pilskalnos. Vēlajā bronzas laikmetā pēc ornamentu veida izdalāmi seši tipi – auklas nospiedumi, bedrītes, svītru iegriezumi, nagiespiedumi, ovāli izcilniši un valniši. Lai gan reti, bet sastopamas arī divu elementu kompozīcijas – auklas ar bedrītēm, auklas ar svītru iegriezumiem un bedrītes ar svītru iegriezumiem.

Kā visizplatītākie ornamenti dažādos Latvijas teritorijas pilskalnus atzīmējami bedrītes un valniši, kas sastopami sešās no visām analizētajām keramikas kolekcijām. Bedrītes nav sastopamas Paplakas, savukārt valniši – Kļauģukalna pilskalnā.

Visbiežāk ornaments sastopams uz mucveida (IC) un profilētiem (CS, S) traukiem. Savukārt, apskatot keramikas tipu un ornamentu procentuālās attiecības, secināts, ka švikātajā keramikā ornaments sastopams salīdzinoši biežāk nekā citu veidu keramikā.

Visticamāk, ornamenta izzušana saistīta ar jaunu reliģisko priekšstatu veidošanos vai etniskās identitātes maiņu. Dekoratīvajos elementos daļēji atspoguļojas kultūru mijiedarbība, jo Latvijas teritorijā sastopamajiem ornamentiem rodamas analogijas ne tikai Baltijas jūras piekrastē, bet arī visā Eiropā.

Saisinājumi

Latvijas Nacionālais vēstures muzejs – LNVM

Arheoloģija un etnogrāfija – AE

Avoti

LNVM. Arheoloģijas departaments. Doles pag. Kļauģukalna pilskalns: A 9960.

LNVM. Arheoloģijas departaments. Ikšķiles pag. Vinakalna pilskalns: keramikas kolekcija nav pieņemta.

LNVM. Arheoloģijas departaments. Kokneses pag. Mūkukalna pilskalns: A 11848.

LNVM. Arheoloģijas departaments. Lielvārdes pag. Dievukalna pilskalns: keramikas kolekcija nav pieņemta.

LNVM. Arheoloģijas departaments. Rīgas HES ūdenskrātuve. Ķivutkalna pilskalns: keramikas kolekcija nav pieņemta.

LNVM. Arheoloģijas departaments. Skrundas pag. Krievukalna pilskalns: A 13957; A 139578; A 11160; SA 9069; SA 1969.

LNVM. Arheoloģijas departaments. Virgas pag. Paplakas pilskalns: A 12438.

Literatūra

Bērziņš, V., 2003. Sārnates apmetnes keramikas klasifikācija un statistiska analīze. *AE, XXI*. Rīga, 53.–74. lpp.

Bērziņš, V., Vasks, A., 2013. Latvijas aizvēsture (līdz 800. gadam). *Latvieši un Latvija, I sējums, Latvieši*. Rīga: Latvijas Zinātņu Akadēmija, 51.–82. lpp.

Bloo, S., Briels, I., 2015. Late bronstijdboeren en hun potten in de Oude Duinen bij De Zilk (gemeente Noordwijkerhout). *Metaaltijden 2. Bijdragen in de studie van de metaaltijden*. Leiden: Sidestone Press, p. 125–134.

Cimermane, I., 1976. Mālu trauku ornamenta veidi Latvijā m.ē. I gadu tūkstoši. *Zinātniskās atskaites sesijas materiāli par arheologu un etnogrāfu 1975. gada pētījumu rezultātiem*. Rīga: Zinātne, 33.–39. lpp.

Fokkens, H., Harding, A., ed. 2013. *The Oxford handbook of the European Bronze age*. Oxford University press, p. 1016.

Gorski, J., 2009. “Taronobrzeski” wariant trzcinniecko – Łużyckiej zimiany kulturowej, zagadnienia problemowe. *Tarnobrzezka kultura Łużycka – źródła i interpretacje*. Rzeszów, s. 41–52.

Graudonis, J., 1989. Nocietinātās apmetnes Daugavas lejtecē. Rīga: Zinātne, 155. lpp.

- Karlenby L., 2010. Pottery in the Well – The Significance of Late Neolithic/ Early Bronze Age Decorated Pottery in East Sweden. *Baltic Prehistoric Interactions and Transformations: The Neolithic to the Bronze Age*. Gotland University Press, p. 141–152.
- Lang, V., 2007. The Bronze and Early Iron Ages in Estonia. Tartu University Press Humaniora: archaeologica, p. 298.
- Rimantienė, R., 2005. Die Steinzeitfischer an der Ostseelagune in Litauen. Vilnius: Litauisches national museum, s. 523.
- Rydh, H., 1926. Natur och kultur kvinnan i nordens forntid. Tryckeri aktiebolaget thule, Stockholm, s. 214.
- Vasks, A., 1994. Brikuļu nocietinātā apmetne : Lubāna zemiene vēlajā bronzas un dzelzs laikmetā (1000. g. pr. Kr. – 1000. g. pēc Kr.). Andrejs Vasks. Rīga: Preses nams, 121. lpp.
- Vasks, A., 2012. Sakari un maiņa bronzas laikmetā Latvijas teritorijā. *Latvijas Universitātes Raksti, 764. sēj. Vēsture*. LU, 10.–20. lpp.
- Vasks, A., 2015. No medniekiem un zvejniekiem līdz lopkopjiem un zemkopjiem: Latvijas aizvēstures senākais posms (10500. – 1. g. pr. Kr.). Zinātne, 183. lpp.
- Vasks, A., Vaska, B., Grāvere, R., 1997. Latvijas aizvēsture: 8500. g. pr. Kr. – 1200. g. pēc Kr. Rīga: Zvaigzne ABC, 223. lpp.
- Васк, А., 1991. Керамика эпохи поздней бронзы и раннего железа Латвии. Рига: Зинатне, с. 197.

IESPIEDUMI UZ TRAUKU MALĀM KURŠU KERAMIKĀ – IZPLATĪBAS UN HRONOĻĪJAS JAUTĀJUMI

Baiba DUMPE

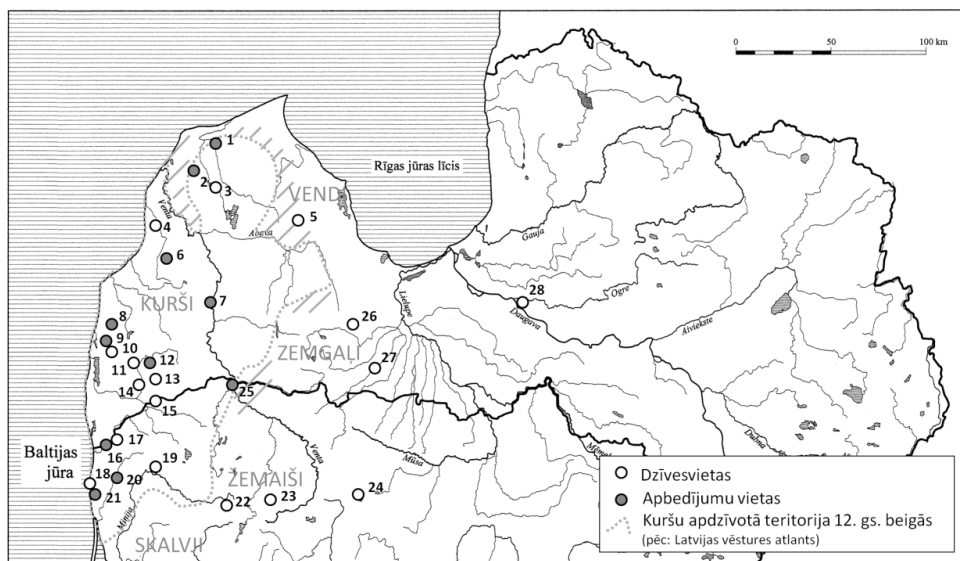
Latvijas Nacionālais vēstures muzejs
E-pasts: baiba.dumpe@lnvm.lv

Viena no kuršu keramikas savdabīgām iezīmēm ir rotājoši iespaidumi trauku augšdaļā. Tie veidoti ar pirkstu galiem vai dažāda veida rotāšanas rīkiem. Šī pētījuma mērķis – precizēt kuršu keramikas rotājuma pazīmes, izplatības areālu un lietošanas laiku. Pētījumā izmantota keramika no Latvijas un Lietuvas rietumu daļas dzīves vietām un apbedījumu vietām, kas izmantotas laikā no 3. gs. pr. Kr. līdz 14. gs. Iegūtie rezultāti izmantojami tālākiem kuršu kultūras izcelsmes un attīstības pētījumiem.

Ievads

Vēlā dzelzs laikmeta (800.–1200. g.) arheoloģiskie pieminekļi Latvijas rietumu daļā pieder divām sentautām – kuršiem (baltiem) un vendiem (Baltijas somiem) (1. att.). Šo etnisko grupu izveidošanos un savstarpējās attiecības, kā arī saskarsmi ar citām blakus esošām sentautām iespējams pētīt, izmantojot keramiku, kas izgatavota un lietota šajā teritorijā ilgākā laika posmā. Viena no bezripas keramikas savdabīgām iezīmēm, kas novērota kuršu senvietu arheoloģiskajā izpētē, ir rotājoši iespaidumi trauku augšdaļā (piemēram: Cimermane 1959, 6). Šis novērojums tomēr ir nepietiekams, lai ļautu spriest par keramikas kompleksu kopumā. Tādēļ nepieciešams precizēt kuršu keramikas rotājuma pazīmes, izplatības areālu un lietošanas laiku.

Tradicionāli par keramiku ar nagu iespaidumiem tiek uzskatīta tāda, kur nagu iespaidumi un/vai kniebumi klāj lielāko daļu trauka virsmas. Tādā veidā tā klasificēta izrakumu pirmdokumentācijā, publikācijās, kā arī reģistrējot keramiku muzeju krātuvēs. Šī keramikas tipa apzīmēšanai biežāk lietotie nosaukumi ir *nagiespiestā* un *kniebtā* keramika atkarībā no nagu iespaidumu veida trauka virsmā. Tomēr zināms, ka ar pirkstu iespaidumiem rotātas arī tikai atsevišķas trauka daļas, piemēram, augšmala vai plecu daļa. Šis iespaidumu veids netiek izmantots atsevišķa keramikas tipa noteikšanai, bet tiek uzskatīts par vienu no keramikas rotājuma veidiem. Pētījumā kā visus pirkstu iespaidumu veidus vienojošs apzīmējums tiek piedāvāts Adolfa Stubava lietotais vispusīgi aprakstošais – *keramika ar nagu un pirkstu galu iespaidumiem* (Stubavs 1976). Savukārt *pirkstu galu/pirkstu/nagu iespaidumi* trauka malā tiek saīsināti nosaukti par *pirkstu iespaidumiem*.



1. att. Kuršu apdzīvotā teritorija vēlajā dzelzs laikmetā un rakstā minētās senvietas ar rotājošiem iespiedumiem trauku augšmalā

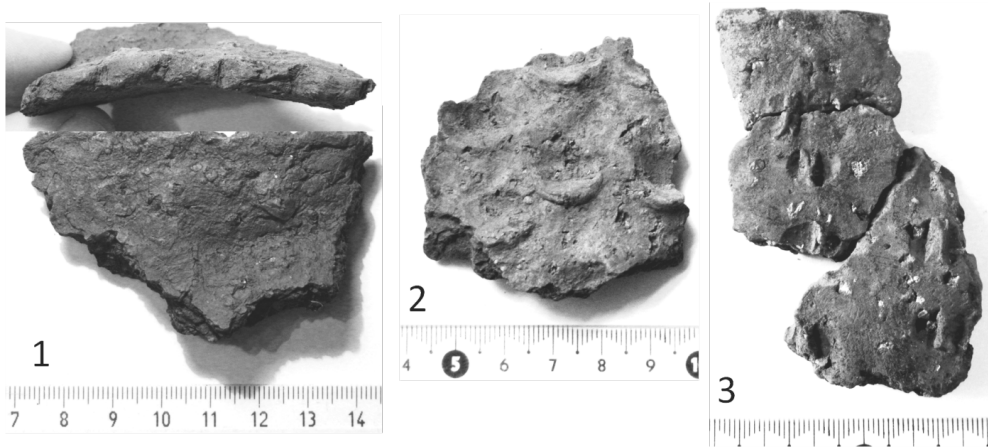
- 1 – Ances senkapi; 2 – Lazdu senkapi; 3 – Puzes pilskalns; 4 – Sises ceļa apmetne; 5 – Mežītes pilskalns; 6 – Kalniņu senkapi; 7 – Kapenieku senkapi; 8 – Ošenieku senkapi; 9 – Strautiņu senkapi; 10 – Grobiņas pilskalns un apmetne; 11 – Vārtājas pilskalns; 12 – Bunkas senkapi; 13 – Paplakas pilskalns; 14 – Strazdu apmetne; 15 – Saušu un Raču apmetnes; 16 – Ģeistautu senkapi; 17 – Ķišķu-Čūkānu apmetne; 18 – Birutes kalns-Palangas pilskalns un senkapi; 19 – Imbares pilskalns; 20 – Kurmaiču senkapi; 21 – Dzirkaļu senkapi; 22 – Paplienijas pilskalns; 23 – Šatrijas pilskalns; 24 – Lieporu apmetne; 25 – Griezes senkapi; 26 – Ošu apmetne; 27 – Tērvetes pilskalns un apmetne; 28 – Ķentes pilskalns un apmetne

Agrākie pētījumi

Kuršu keramika līdz šim pētīta tikai apbedīšanas rituālu kontekstā (Sadauskaitē-Mulevičienē 1965; Ozere 1986; Bliujiēnē 2005; Šulte 2015), bet priekšstati par saimniecībā izmantoto keramiku ir visai nenoteikti. Tie balstīti uz fragmentāriem pieminējumiem publikācijās, kas saistītas ar dažāda perioda senvietu apzināšanu un arheoloģisko izpēti (piemēram: Vasks 1980, 115).

Līdz šim vienīgais mēģinājums sistematizēt keramikas rotāšanas paņēmienus plašākā kontekstā, to skaitā nagu un pirkstu iespiedumu veidus, ir arheoloģes Ievas Cimermanes pētījums par māla trauku ornamenta veidiem Latvijas teritorijā pirmajā gadu tūkstoši (1976, 35; 1980, 73). I. Cimermane secinājusi, ka pirkstu iespiedumi trauku augšmalā sastopami jau 1. g.t. pr. Kr., bet tie izzuduši pirmajos gadsimtos pēc Kr., izņemot Austrumlatviju, kur ilgāk tikusi lietota švikātā keramika ar šādu rotājumu. Interesants ir atzinums, ka paņēmieni rotāt trauku malas ar nagu iespiedumiem Rietumlatvijā atkārtoti ieviesies pirmā gadu tūkstoša otrajā pusē – 7.–9. gadsimtā, kad vērojami kuršu kontakti ar skandināviem. Minētās publikācijas tomēr atspoguļo tikai autoras secinājumus, bet nedod iespēju izsekot to rašanās kontekstam.

Šis raksts tapis pētījuma par bezripas keramiku Latvijas teritorijā vidējā un vēlajā dzelzs laikmetā (5.–12. gs.) ietvaros un ir daļa no šī perioda keramikas virsmas apstrādes un rotājuma izpētes. Iepriekšējo pētījumu laikā (Dumpe, B. “Ko vēsta nagu iespaidumi mālos?” Referāts nolasīts LNVN zinātniskos lasījumos 2014. g. 6. maijā) secināts, ka visu keramiku ar nagu un pirkstu galu iespaidumiem var iedalīt trīs lielās grupās: 1) pirkstu galu iespaidumi; 2) nagiespaidumi; 3) kniebumi (2. att.). Keramikā ar pirkstu iespaidumiem trauku augšmalā vidējā un vēlajā dzelzs laikmetā koncentrējas Latvijas rietumu daļā, bet atsevišķas lauskas ar šādu rotājumu sastopamas arī Latvijas vidusdaļas senvietās.



2. att. Keramikā ar nagu un pirkstu galu iespaidumiem

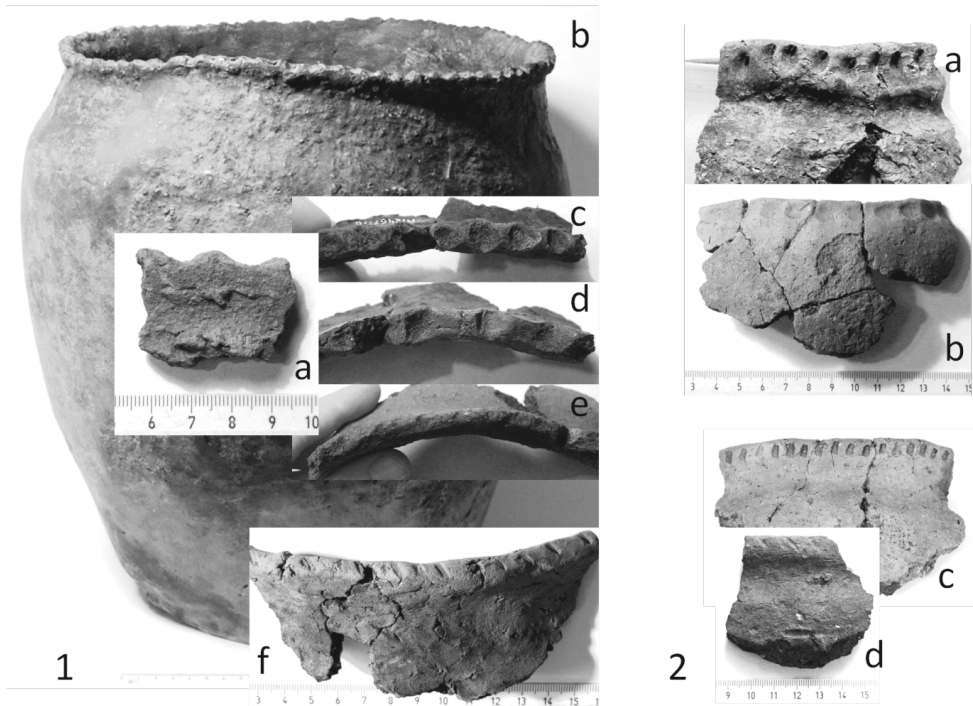
1 – pirkstu galu iespaidumi (Strazdu apmetne, A 12467: 16); 2 – nagiespaidumi (nagiespiestā) (Sises ceļa apmetne, A 11580: 221); 3 – kniebumi (kniebtā) (Mežītes pilskalna apmetne, A 13861: 275)

Materiāli un metodes

Pētījumā izmantota bezripas keramika no dzelzs laikmeta dzīvesvietām un apbedījumu vietām Latvijas rietumu daļā un Lietuvas ziemeļrietumos (1. attēls), t. i., teritorijā, kas vēlajā dzelzs laikmetā saistāma ar kuršu dzīves telpu (Latvijas Nacionālā vēstures muzeja, Liepājas muzeja, Ventspils Vēstures muzeja, Lietuvas Nacionālā muzeja, Šauļu muzeja “Aušra” un Telšu muzeja “Alka” krājuma materiāli). Keramikas izpētei izvēlēto senvietu vidū dominē tādas, kas izmantotas vidējā un vēlajā dzelzs laikmetā (400.–1200. g.), bet tēmas izpratnei pievienoti arī senākā (500.–1. g. pr. Kr.) un agrā (1.–400. g.) dzelzs laikmeta materiāli, kā arī apskatīta keramika no pieminekļiem, kuru izmantošanas laiks iesniedzas viduslaikos (1200.–1400. g.). Pētīto senvietu datējums attēlots 1. tabulā pielikumā; datējuma precizēšana veikta, balstoties uz informāciju, kas atrodama arheoloģiskās izpētes pirmdokumentācijā un publikācijās. Gadījumos, kad šādi dati nebija pieejami, lūgta konsultācija LNVN pētniecei Ingridai Virsei un Arheoloģijas departamenta vadītājam Jānim Ciglim.

Izpētei atlasīti keramikas paraugi no 30 senvietām, kurās konstatēti rotājoši iespaidumi trauku malā: pavisam 195 trauku fragmenti zīmēti, fotografēti, veidots pazīmju apraksts. Viena trauka fragmenti skatīti kā viena vienība neatkarīgi no tam atbilstošo lausku

daudzuma. Rotājuma elementi sagrupēti pēc iespiedumu veidiem, un to skaits katrā senvietā attēlots 2. tabulā pielikumā. Senvietu izkārtojumā saglabāta iepriekš izveidotā (1. tabula) hronoloģiskā secība.



3. attēls. Keramikā ar pirkstu iespiedumiem un to aizstājējiem

1 a-f – trauka augšmalā: a – Paplakas pilskalns (A 12438: 13); b, c, d, e – Strazdu apmetne (A 12467: 14, 15, 16); f – Ķišķu-Čukānu apmetne (LM 41508); 2 a-d – trauka augšmalas ārpusē: a – Kalniņu senkapi (A 11744: 36), b – Saušu apmetne (A 12347: 5), c – Kapenieku senkapi (A 7635: 28), d – Grobiņas apmetne s. a. (LM 6912).

Rezultāti

Keramikā ar pirkstu galu iespiedumiem var iedalīt divās apakšgrupās. Pirmajam trauku veidam iespiedumi ar rādītājpirkstu veidoti trauka augšmalā. Tie var būt dziļi iespiesti, novietoti blīvi cits pie cita, nedaudz retināti vai arī iespiesti viegli, tikko manāmi (3. att.: 1 a–e). No iespiedumu intensitātes atkarīgs trauka augšmalas izskats – tā veidota vairāk vai mazāk robota vai tikai viegli viļņota (3. att.: 1 a–b). Kā šīs grupas paveidu jāapskata keramika, kam pirkstu galu iespiedumi aizstāti ar cita veida iespiedumiem (3. att.: 1 f). Parasti tie veidoti ar asšķautņainu priekšmetu, iespējams, koka skaidu vai šauru spiedogu, kas imitē nagu iespieduma svītriņu. 2. tabulā redzams, ka dažādi spiedogi trauku augšmalas rotājumā izmantoti ievērojami mazāk, kā pirkstu iespiedumi, turklāt tie reti sastopami hronoloģiski senākos pieminekļos, bet to lietošana pieaug jaunākās senvietās.

Otro grupu veido trauki, kam pirkstu galu, domājams, ikšķa nospiedumu, rinda veidota augšmalas ārpusē (3. att.: 2 a, b). Arī šai grupai ir paveids ar pirkstu galus aizstājošiem iespaidumiem (3. att.: 2 c, d). 1. un 2. tabulas salīdzinājums parāda, ka pirkstu iespaidumi augšmalas ārpusē, tāpat kā tos aizvietojošie iespaidumi, parādās tikai senvietās, kas pastāvējušas pēc 12. gadsimta (t.i., viduslaikos), turklāt tie no šeit pētītajiem paraugiem konstatēti tikai Latvijas senvietās, t.i., teritorijā, kas atbilstošajā laika posmā piederēja Livonijas konfederācijai.

Jāpiemin, ka ar iespaidumiem augšmalā un augšmalas ārpusē tikuši rotāti gan gludi, gan apmesti trauki, turklāt katram atsevišķam traukam tas parasti ir vienīgais rotājuma veids. Retāk starp pētītajiem paraugiem atrodami tādi trauki, kam kopā ar iespaidumiem augšmalā veidota arī rotājošu iespaidumu josla plecu daļas lūzumā. Vienā gadījumā tā ir ar rozešveida spiedogu veidota divrindu iespaidumu josla (Palangas pilskalns, AR 639: 87). Pārējos gadījumos šai joslā ir nagu iespaidumu vai kniebumu rinda (Lieporu apmetnē – 1, Šatrijas pilskalnā – 2, Paplienijas pilskalnā – 3 no pētītajiem paraugiem). Kā redzams, tie pieder apskatīto senvietu dienviņu grupai, kas vismaz daļēji saistāma ar agrāku apdzīvotības laiku, bez tam šajās trīs dzīvesvietās sastopami arī citi nagu iespaidumu veidi (2. tab.: 3, 7, 10).

Secinājumi un diskusija

Paskatoties uz pieminekļu teritoriālo izvietojumu, redzams, ka senvietas, kurās iespaidumi trauku malās ir vienīgais pirkstu iespaidumu veids un kurās nav neviena nagiespiestās/kniebtās keramikas parauga, saistītas ar kuršu vai kuršu priekšteču kultūras izplatību (1. att.; salīdzināt arī: Gricuvienē 2009, 10, 92, 232, 390), savukārt tie pieminekļi, kur pirkstu iespaidumi trauku malās atrodami kopā ar nagiespiesto un kniebto keramiku, atrodas ārpus kuršu apdzīvotās teritorijas vai tās robežjoslā (2. tab.: 3–5, 7, 8, 10, 11, 21). Lidz ar to Latvijas rietumu daļu var nosaukt par *no keramikas ar nagu iespaidumiem brīvu zonu* un secināt, ka iespaidumi uz trauku malām ir keramikas rotāšanas paņēmiens, kam redzama cieša saistība ar vienas etniskas grupas – kuršu – materiālās kultūras attīstību.

Tabulās uzskatāmi redzams, ka pirkstu galu iespaidumi trauku augšmalā ir ārkārtīgi noturīgs keramikas rotāšanas veids vienā teritorijā apmēram pusotru tūkstoši gadu. Tā pirmsākumi Latvijas teritorijā meklējami pirmajā gadu tūkstoši pirms Kristus (senākajā dzelzs laikmetā), un bez podnieka virpas izgatavotie trauki ar gandrīz nemainīgu intensitāti šādi rotāti līdz to izgatavošanas beigām četrpadsmitajā gadsimtā. Diskutējams tomēr paliek jautājums par pirkstu iespaidumu rotājuma izzušanu pirmā gadu tūkstoša sākumā (agrajā dzelzs laikmetā) un tā atdzimšanu pirmā gadu tūkstoša vidū (vidējā dzelzs laikmetā). Keramikas paraugu salīdzināšana liek domāt, ka šāda pārrāvuma tomēr nav bijis, jo iespaidumu raksturs saglabājas nemainīgs visu apskatāmo laika posmu. Ja tradīcija tiktu pilnībā pārtraukta un pēc četriem gadsimtiem atjaunotos ārēju kontaktu ietekmē, tad tā neizbēgami atspoguļotu kādas jaunas iezīmes, kas ļautu to konstatēt. Kā redzams 1. tabulā, diskutējamā periodā vairums pētīto senvietu nav izmantotas, izmantotas vāji vai arī to izmantošana nav droši pierādīta. Tādēļ šķietamā rotājuma izzušana drīzāk saistāma ar kopējo apdzīvotības intensitātes samazināšanos agrajā dzelzs laikmetā un nepietiekamu šī perioda pieminekļu pētniecību (Vasks 2001, 188).

Podniecības tradīciju noturība, ko raksturo vienots, salīdzinoši nemainīgs trauku rotāšanas veids, ietver arī citu keramikas izgatavošanas paņēmienu konsekventu nepieņemšanu (2. tab.). Kā minēts iepriekš, kuršu senvietās nav atrasta neviena kniebtās vai nagiespiestās keramikas lauska, kādas ir neiztrūkstoša žemaišu un vendu keramikas sastāvdaļa (2. tab.: 3,

7, 10 un 8, 21) un kādas ir nedaudz atrodamas arī zemgaļu dzīvesvietās (2. tab.: 4, 11). Tāpat arī jāsecina, ka kurši vienīgi no Austrumbaltijas sentautām turpināja bezripas keramikas izgatavošanu vēl četrpadsmitajā gadsimtā, savukārt citviet šī podniecības tradīcija bija izzudusi jau divpadsmitā gadsimta gaitā. Tādēļ īpaši interesanta ir jauna, tikai šai teritorijai raksturīga rotājuma veida – pirkstu iespiedumu trauku malas ārpusē – parādīšanās viduslaikos Livonijas teritorijā. Šī pazīme būtu pētāma turpmāk un, iespējams, izmantojama salīdzinošai atradumu datēšanai.

Apskatot senietas, kurās pirkstu iespiedumi atrodami kopā ar dažādiem citiem nagu iespiedumu veidiem, var redzēt, ka tās pieder Baltijas somu jeb vendu (1. att.: 4, 5), zemgaļu (1. att.: 26, 27) un žemaišu (1. att.: 22, 23, 24) apdzīvotajiem apgabaliem. Keramikas ar pirkstu iespiedumiem esamība Sises apmetnē un Mežītes pilskalnā (1. att.: 4, 5) nepārsteidz, jo zināms, ka otrā gadu tūkstoša sākumā notikusi kuršu dzīves telpas paplašināšanās ziemeļaustrumu virzienā, ietverot arī vendu apdzīvotos apvidus (Gricuvienē 2009, 232, 233). Šī procesa rezultāts ir arī *kuršu keramikas* atradums Ošu apmetnē, kurā, pēc izrakumu vadītāja novērojumiem, sākot ar 10. gs. saskatāma kuršu un Baltijas somu ietekme (1. att.: 26; Atgāzis 1982, 39). Neparasts tomēr ir salīdzinoši lielais skaits keramikas ar pirkstu iespiedumiem Tērvetē, kā arī šādas keramikas esamība Ķentes pilskalnā.

Paskatoties uz senietu hronoloģisko tabulu, var redzēt, ka ir iespējami divi periodi, kad notikusi *kuršu keramikas* pazīmju pārnešana austrumu virzienā. Pirmkārt, tas varētu būt noticis senākajā dzelzs laikmetā, kad apdzīvoti bijuši pieci no pētītajiem pilskalniem (1. tab.: 1, 5, 7, 11, 14). Tas šķiet īpaši ticami tādēļ, ka keramika ar pirkstu galu iespiedumiem no Paplakas un Imbares pilskalniem ir ārkārtīgi līdzīga Tērvetē un Ķentē atrastajām lauskām.

Otra iespējamā kontaktu epizode varētu būt meklējama piektajā gadsimtā, kad aizsākusies vai atsākusies vairāku te aplūkoto senietu izmantošana. Šāds no kuršu kultūras epicentra uz Lielupes baseinu un Daugavas lejteci vērsts sakaru virziens varētu izskaidrot Tērvetes keramikas īpatnības un minētās keramikas nonākšanu Ķentes pilskalnā.

Saisinājumi

- A – Latvijas Nacionālā vēstures muzeja Arheoloģijas departamenta kolekciju krājuma šifrs
- AA – Latvijas Nacionālā vēstures muzeja Arheoloģijas departamenta dokumentu krājuma šifrs
- AR – Lietuvas Nacionālā muzeja Arheoloģijas nodaļas kolekciju krājuma šifrs
- LNVM – Latvijas Nacionālais vēstures muzejs
- VI – Latvijas Universitātes Latvijas vēstures institūta kolekciju šifrs (kolekcijas glabājas Latvijas Nacionālajā vēstures muzejā)
- LM – Liepājas muzejs
- LNМ – Lietuvas Nacionālais muzejs
- ŠM – Šauļu muzejs “Aušra”
- TM – Telšu muzejs “Alka”
- VVM – Ventspils Vēstures muzejs

1. pielikums

1. tabula. Pētīto senvietu hronoloģija

Nr.	Pētītās senvietas	Senvietas datējums*/ gadsimts														Atsauce datējumam					
		5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	11	12	13	14
1	Papilakas pilskalns																				Vāks 1978
2	Ošnieku senkapi																				Vāks, Virse 1990
3	Lieporiu gyvenvietē (Lieporu apmetne)																				Salatkienē 2000
4	Tērvetes apmetne																				Brīvkalne 1959, 258; Dumpe 2014a, 29
5	Ķentes pilskalns un apmetne																				Stubavs 1976; Dumpe 2014b
6	Ģeistautu senkapi																				Ozere 1986
7	Paplieniņas pilskalnis (Paplieniņas pilskalns)																				Zabiela 2005, III: 128; Valatka 2004, 122
8	Sises ceļa apmetne																				Vankina 1960
9	Ošu apmetne																				Atgāzis 1981, 31; Atgāzis 1982, 40
10	Šatrijos piliakalnis su gyvenvietē (Šatrijas pilskalns)																				Karalienē 2010, 45
11	Tērvetes pilskalns																				Brīvkalne 1959; Dumpe 2014a, 29
12	Bunkas senkapi																				Šturms 1934; Ciglis: konsultācija
13	Strazdu apmetne																				Vāks 1980
14	Imbarēs piliakalnis su gyvenvietē (Ceklis)																				Zabiela 2005, I: 444
15	Saušu apmetne																				Vāks 1977, 75
16	Raču apmetne																				Vāks 1977, 75
17	Vārtiņas pilskalna apmetne																				Stepiņš 1964
18	Palangas kapinynas (Palangas senkapi)																				Gricuviēnē 2009, 437
19	Girkalīnai kapinynas (Dzirkaļu senkapi)																				Gricuviēnē 2009, 427
20	Kapenieku senkapi																				Šturms 1932, 8
21	Mežītes pilskalna apmetne, 3., 4. laukums																				Lazdiņa, Vāks 2012
22	Strautiņu senkapi																				Virse: konsultācija
23	Grobīņas apmetne un savrupatrādumi																				Petrenko, Urtāns 2012
24	Ķišķu-Cūkānu apm.																				Urtāns 1992
25	Griežes kapinynas (Griezes senkapi)																				Gricuviēnē 2009, 428
26	Puzes pilskalns																				Vāks 2004
27	Ances senkapi																				Lūsēns 1992
28	Birutēs kalnas su gyvenvietē (Palangas pilskalns)																				Žulkus 1997, 281-287
29	Kāliniņu senkapi																				Cimermane 1960, 13
30	Lazdu senkapi																				Lūsēns 2000

Ar tumšākiem laucīņiem iezīmēts iespējams pētītās keramikas lietošanas laiks.

2. pielikums

2. tabula. Keramikā ar nagu un pirkstu galu iespiedumiem pētītajās senvietās

Nr.	Pētītā senvieta	Nagu/ pirkstu iesp. augšmalā	Atzīstā ar citiem iesp.	Nagu/ pirkstu iesp. malas ārpusē	Atzīstā ar citiem iesp.	Kniebumi vertikāli	Kniebumi šīpi	Kniebumi horizontāli	Iespiedumi vertikāli	Iespiedumi šīpi	Iespiedumi horizontāli	Iespiedumi divvirzenu	Ornamentāli kniebumi un iespiedumi	Iespiedumi sekli	Nagu/pirkstu iespiedumi augšmalā, malas ārpusē paraugi: skaits (%)	Cita veida nagu/pirkstu iespiedumi paraugi: skaits (%)	Kolekcijas Nr.
1	Papilakas pilskalns	6													6 (100)	0	A 12438
2	Ošnieku senkapi	1													1 (100)	0	A 290; A 13172
3	Lieporiu gyvenvietē (Lieporu apmetne)	2			4				1	1	1		1		2 (100)	8 (100)	ŠM
4	Tērvetes apmetne	4							1						4 (100)	1 (100)	VI 22
5	Ķentes pilskalns un apmetne	1								1	2	1	1		1 (100)	10 (2)	VI 31
6	Ģeistautu senkapi	2													2 (100)	0	A 9909-9929
7	Paplienijs piliakalnis (Paplienijs pilskalns)	4							3	1	1		4		4	10	TM
8	Sīses ceļa apmetne	2							4	3	2				2 (100)	14 (12)	A 11580
9	Ošu apmetne		1												1 (100)	0	VI 238
10	Satrijos piliakalnis su gyvenvietē (Satrijas pilskalns)	4	2						7	3	2	7	1		6	20	TM
11	Tērvetes pilskalns	2							2		2				2 (100)	5 (83)	VI 24 a-g
12	Bunkas senkapi	4													4 (100)	0	A 8746; 8751
13	Strazdu apmetne	6	2												8 (100?)	0	A 12467
14	Imbarēs piliakalnis su gyvenvietē (Ceklis)	15	1												16	0	LNIM
15	Saušu apmetne	4													4 (100?)	0	A 12347
16	Raču apmetne	8	2	1											11 (100?)	0	A 12346

2. tabulas turpinājums

Nr.	Pētītā senvieta	Nagu/ pirkstu iesp. augšmalā	Aizstāti ar citiem iesp.	Nagu/ pirkstu iesp. malas ārpusē	Aizstāti ar citiem iesp.	Kniebumi vertikāli	Kniebumi šīpi	Kniebumi horizontāli	Iespiedumi vertikāli	Iespiedumi šīpi	Iespiedumi horizontāli	Iespiedumi divvirzienu	Ornamentāli kniebumi un iespiedumi	Iespiedumi sekli	Nagu/pirkstu iespiedumi augšmalā, malas ārpusē paraugi: skaits (%)	Cita veida nagu/pirkstu iespiedumi paraugi: skaits (%)	Kolekcijas Nr.
17	Vārtājas pilskalna apmetne	2	2	1	1										6 (100?)	0	A 12283; LM 16294
18	Palangas kapīnyņas (Palangas senkapi)	1	6												7	0	LNM, AR 396
19	Girkalīai kapīnyņas (Dzirkaļu senkapi)		2												2	0	LNM, Nr. 2007: 32; AR 492
20	Kapenieku senkapi	2	4	1	1										8	0	A 7611-7635
21	Mežītes pilskalna apmetne, 3., 4. laukums	1				3			1	1					1 (100)	5 (19)	A 13861; 13862
22	Strautiņu senkapi			2											2 (100)	0	A 10793
23	Grobiņas apmetne un s.a.	5	1	1	1										8 (100)	0	A 13834; LM 6908, 6910, 6912, 8197
24	Ķišķu-Čukānu apm.		2												2 (100)	0	LM 41507; 41508; 41509
25	Grižētes kapīnyņas (Grižezes senkapi)	1													1 (100)	0	LNM, AR 185
26	Puzes pilskalns	1													1 (100)	0	VVM 2930
27	Ances senkapi			2											2 (100)	0	VVM 1139; 27866; 27873; 27874
28	Bīrutēs kalns su gyvenvietē (Palangas pilskalns)	6	5												11	0	LNM, AR 639
29	Kalniņu senkapi	3	3	7	3										16 (100?)	0	A 11739-11748
30	Lazdu senkapi			1											1 (100)	0	VVM 2883; 2886; 2887 PL; 27309

Avoti un literatūra

Manuskripti

Atgāzis, M., 1981. *Pārskats par arheoloģiskiem izrakumiem Dobeles Ošu apmetnē un Bāļu Šķērstaīņu senkapos 1981. gadā*. LNVN, Arheoloģijas departaments, Nr. AA 833

Cimermane, I., 1959. *Pārskats par izrakumiem Alsungas Kalniņos 1959. g. 5.–9. maijā*. LNVN, Arheoloģijas departaments, Nr. AA 372.

Stepiņš, P., 1964. *Senpilsētas vieta pie Vārtajas pilskalna, Liepājas raj. Gaviezies c. l/a "Brīvība"*. LNVN, Arheoloģijas departaments, Nr. AA 350.

Šturms, E., 1934. *Ziņojums par izrakumiem Bunkas muižas grantsbedrēs 1933. gada jūnijā*. LNVN, Arheoloģijas departaments, Nr. AA 59.

Šulte, A., 2015. Containers of Meaning. *Proceedings of the conference Prehistoric Pottery Across the Baltic-Regions, Influences and Methods, 7–9 March 2013*. Lund: The Laboratory for Ceramic Research, GeoBiosphere Science Centre, Quaternary Sciences. (iesniegts publicēšanai).

Vankina, L., 1960. *Pārskats par arheoloģiskiem izrakumiem apmetnē pie Sises ceļa Sārnotes ezera novadgrāvja malā 1959. g. 5.–7. augustā*. LNVN, Arheoloģijas departaments.

Publicētie avoti un literatūra

Atgāzis, M., 1982. Izrakumi Dobeles Bāļu-Šķērstaīņu un Ošu senvietās. *Zinātniskās atskaites sesijas materiāli par arheologu un etnogrāfu 1980./81. gada pētījumu rezultātiem*. Rīga: Zinātne, 33.–41. lpp.

Bliujienē, A., 2005. Baltu palaiđuojimū indai, arba kad dūšia nejaustū trokškulio ir alkio. *Lietuvos archeologija*, 28. Demedžio leidykla, Vilnius, p. 81–96.

Brīvkalne, E. P., 1959. Gorodishche Tervete i ego istorichesoe znachenie. *Trudi Pribaltiiskoi obēdinennoi kompleksnoi ekspedicii, 1. Izdatel'stvo Akademii nauk, Moskva*, s. 254–272.

Cimermane, I., 1976. Māla trauku ornamenta veidi Latvijā m.ē. 1. gadu tūkstoī. *Zinātniskās atskaites sesijas materiāli par arheologu un etnogrāfu 1975. gada pētījumu rezultātiem*. Rīga: Zinātne, 33.–39. lpp.

Cimermane, I., 1980. Keramikā I tisiachiletiā n. e. kak istochnik dlia issledovaniā etnicheskoī istoriī Latvii. *Iz drevneishei istoriī baltskih narodov*. Rīga, s. 70–79.

Cimermane, I., 1961. Urtāns, V. Latvijas PSR Vēstures muzeja izrakumi 1960. gadā. *Referātu tēzes zinātniskai sesijai par 1960. g. arheoloģiskām un etnogrāfiskām ekspedīcijām*. Latvijas PSR Zinātņu akadēmijas Vēstures institūts, Latvijas PSR Kultūras ministrija, Rīga, 12.–13. lpp.

Dumpe, B., 2014a. Bezripas keramikā Tērvetes senvietās. *Latvijas Nacionālā vēstures muzeja zinātniskie lasījumi 2011–2013*. Latvijas Nacionālā vēstures muzeja raksti Nr. 20, Rīga, 23.–32. lpp.

Dumpe, B., 2014b. Podniecība Ķentes pilskalnā – pa Adolfa Stubava pētījumu pēdām. *Arheoloģija un Etnogrāfija* 28. LU Latvijas vēstures institūts, Rīga, 32.–48. lpp.

Gricuvienē, E., 2009. *Kuršiai. Genties kultūra laidosenos duomenimis: Baltu archeologijos paroda katalogas*. Lietuvos nacionalinis muziejus, Latvijas nacionālais vēstures muzejs, Vilnius, p. 462.

Karalienē, D., 2010. Pašatrijos piliakalnis ir papēdēs gyvenvietē. *Archeologiniai tyrinėjimai Lietuvoje 2009 metais*. Lietuvos archeologijos draugija, Vilnius, p. 38–45.

Lazdiņa, I., Vasks, A. 2012. Arheoloģiskie pētījumi Mežites pilskalna apmetnē 2010. un 2011. gadā. *Arheologu pētījumi Latvijā 2010.–2011. gadā*. Rīga: Nordik, 39.–44. lpp.

Lūsēns, M., 1992. Izrakumi Ances pagasta centra senkapos. *Zinātniskās atskaites sesijas materiāli par arheologu 1990. un 1991. gada pētījumu rezultātiem*. Rīga: Zinātne, 72.–75. lpp.

Lūsēns, M., 2000. Arheoloģiskie pētījumi Popes pagasta Lazdu senkapos. *Arheologu pētījumi Latvijā 1998. un 1999. gadā*. Rīga: Latvijas vēstures institūta apgāds, 128.–132. lpp.

Ozere, I., 1986. Miniatiurnie glinianie sosudi v kurshskih pogrebeniiah V–IX vekov. *Latvijas PSR Zinātņu akadēmijas vēstis*, Nr. 1 (462), Rīga: Zinātne, 48.–58. lpp.

- Petrenko, V., Urtāns, J., 2012. *Grobiņas arheoloģijas pieminekļi*. Rīga: Nordik, 101 lpp.
- Sadauskaitē-Mulevičienē, I., 1965. Lietuvas X–XVI amžiu kapinynu keramika. Lietuvas TSR Mokslu akademijas darbai, serija A, 2(19), p. 41–68.
- Salatkienē, B., 2000. Lieporiu 1-osios gyvenvietēs. *Archeologiniai tyrinėjimai Lietuvoje 1998 ir 1999 metais. Piliakalniai ir geležies amžiaus gyvenvietės*. Vilnius: Diemedžio leidykla, p. 103–106.
- Stepiņš, P., 1964. Liepājas novadpētniecības muzeja arheoloģiskie izrakumi 1963. gadā. *Zinātniskās atskaites sesijas referātu tēzes par 1963. gada arheoloģiskām un etnogrāfiskām ekspedīcijām*. Rīga: Zinātne, 16.–18. lpp.
- Stubavs, A., 1976. Ķentes pilskalns un apmetne. Rīga: Zinātne, 143 lpp.
- Šturms, E., 1932. *1931. gada ieguvumi archaioloģijā* (Atsevišķs novilkums no Izglītības Ministrijas Mēnešraksta, Nr. 1. 1932).
- Urtāns, J., 1992. Pētījumi Rucavā un Vilcē. *Zinātniskās atskaites sesijas materiāli par arheologu 1990. un 1991. gada pētījumu rezultātiem*. Rīga: Zinātne, 100.–102. lpp.
- Valatka, V., 2004. Paplinioju gyvenvietē. Žemaičiu žemės tyrinėjimai. Knyga I. Archeologija. Vilnius, p. 104–122.
- Vasks, A., 1977. Izrakumi Dienvidkurzemē 1976. gadā. *Materiāli par arheologu un etnogrāfu 1976. gada ekspedīciju darba rezultātiem*. Rīga: Zinātne, 73.–76. lpp.
- Vasks, A. 1978. Jauns agro metālu laikmeta piemineklis Rietumlatvijā. *Latvijas PSR Zinātņu Akadēmijas Vēstis*, Nr. 3 (368), 65–74.
- Vasks, A., 1980. Izrakumi Pukuļu kapulaukā un Strazdu apmetnē Liepājas rajonā. *Zinātniskās atskaites sesijas materiāli par arheologu un etnogrāfu 1979. gada pētījumu rezultātiem*. Rīga: Zinātne, 113.–115. lpp.
- Vasks, A., 2001. Agrais dzelzs laikmets. 1.–400. g. *Latvijas senākā vēsture. 9. g. t. pr. Kr.–1200. g.* Rīga: Latvijas vēstures institūta apgāds, 186.–231. lpp.
- Vasks, A., 2004. Arheoloģiskie izrakumi Puzes pilskalnā. *Arheologu pētījumi Latvijā 2002. un 2003. gadā*. Rīga: Zinātne, 41–43. lpp.
- Vasks, A., Virse, I. 1990. Izrakumi Vērgales Ošeniekos. *Zinātniskās atskaites sesijas materiāli par arheologu un etnogrāfu 1988. un 1989. gada pētījumu rezultātiem*. Rīga: Zinātne, 170–173. lpp.
- Zabiela, G., 2005. *Lietuvas piliakalnai atlasas I, II, III*. Vilnius: “Briedis” leidykla (pieejams arī: <http://www.piliakalniai.lt>).
- Žulkus, V., 1997. *Palangos viduramžiu gyvenvietės*. Acta historica Universitatis Klaipediensis. IV. Klaipėdos universiteto, Vakarų Lietuvos ir Prūsijos centras, Klaipėda, p. 350.

AGRĀS RIPAS KERAMIKAS IZGATAVOŠANAS SĀKUMS LATVIJAS TERITORIJĀ (11.–13. gs.)

Alise ŠULTE

Latvijas Nacionālais vēstures muzejs
E-pasts: alise.sulte@gmail.com

Pētījums ir veltīts agrās ripas keramikas sākuma posmam Latvijas teritorijā (11.–13. gs.). Agrās ripas keramika Latvijas austrumos un rietumos ir vizuāli atšķirīga. Daugavas un Gaujas baseinos atrastā keramika ir līdzīga austrumslāvu un igauņu agrās ripas keramikai. Latvijas austrumos šī keramika tiek pieņemta ļoti ātri. Latvijas rietumu agrās ripas keramika ir vairāk līdzīga Lietuvas materiālam. Tas liecina par ilgāku jauno un veco keramikas veidošanas tradīciju integrāciju, kad abas tradīcijas lietotas vienlaicīgi.

Ievads

Arheoloģiskās keramikas pētniecība un precīza klasifikācija ļauj noteikt tās hronoloģiju, izplatības areālus un gūt ieskatu kultūru mijiedarbībā un savstarpējos sakaros. Darba mērķis ir aplūkot vēlā dzelzs laikmeta agrās ripas keramiku Latvijā: veikt gan Latvijas robežās, gan ārpus tām konstatēto trauku formu un citu pazīmju salīdzinošo analīzi. Agrās ripas keramikas pazīmju variāciju pārskats atvieglotu arheoloģiskos izrakumos iegūtā materiāla fiksāciju, kā arī ļautu izdarīt spriedumus par kultūru kontaktu virzieniem.

Informācija par agrās ripas keramiku un tās izplatību

Agrās ripas keramika (saukta arī par: *Baltic ware*, *Osterseekeramik*, *Slav pottery*, *Wheel-thrown pottery*, гончарная керамика) ir māla trauku tips, ko raksturo tās tapšanas veids – lēni rotējošas podnieka ripas izmantošana trauku gatavošanā. Agrās ripas keramika 10.–12. gs. ir atrodamā slāvu zemēs un visā Baltijas jūras reģionā (Baltija, Dānija, Skandināvija) (Tvauri 2005).

Atšķirībā no ripas keramikas traukiem agrās ripas traukus joprojām gatavo no sastiprinātām māla lentēm. Podu nobeidz, to apvirpojot uz lēni rotējošas podnieku ripas. Taču pāreja starp keramikas gatavošanas veidiem ir ļoti plūstoša. Krievu arheologs A. Bobrinskis podnieka ripas apgūšanu iedala septiņos posmos (Bobrinskii 1978):

1. Ripas galvu izmanto kā grozāmu paliktni, kas vienkāršo trauka veidošanu.
2. Ar ripas palīdzību daļēji vai pilnībā nolidzina no māla lentēm veidota trauka virsmu.
3. Papildus virsmas nogludināšanai ripas rotāciju izmanto trauka augšējās daļas profilēšanai, pārējo trauku izgatavo no māla lentēm.
4. Ripas rotāciju izmanto visa trauka profila izveidošanai, taču pirms tam trauka stāvu izgatavo no māla lentēm.
5. No māla lentēm sagatavo trauka stāvu tikai daļējā trauka augstumā, un ar rotācijas palīdzību to 'izvelk' augstāku.

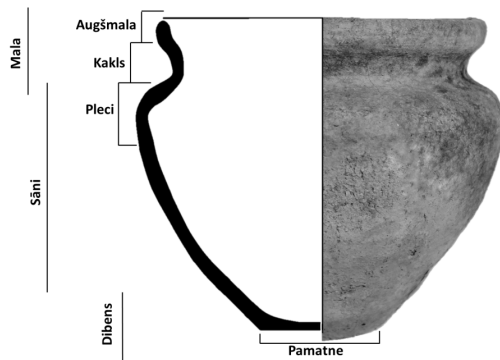
6. Rotāciju izmanto trauka virsmas nolīdzināšanai, profilēšanai un izvirpošanai, taču pamatni joprojām sagatavo bez ripas palīdzības.
7. Ripu izmanto, lai izvirpotu trauku no viena māla gabala.

Tieši kurš no minētajiem podnieka ripas apgūšanas posmiem ir agrās ripas keramikas sākums un beigas, pagaidām Latvijas arheoloģijā vēl nav precizēts.

Svarīgs jautājums, izvēloties agrās ripas keramikas definīciju, ir – vai trauka virsmai jābūt pilnīgi vai tikai daļēji nolīdzinātai uz podnieku ripas? A. Bobrinskis otrajā podnieku ripas apgūšanas solī iekļauj gan traukus ar daļēji nolīdzinātu, gan traukus ar pilnībā nolīdzinātu virsmu. Tādējādi šajā darbā arī trauki, kas ir tikai daļēji līdzināti uz lēni rotējošas ripas, tiks pieskaitīti agrās ripas keramikas tipam.

Materiāli, metodes, terminoloģija

Agrās ripas trauki formas ziņā ir līdzīgi (1. att.). Ievērojamākās atšķirības starp traukiem ir to malas izliekumā, pēc kā arī tiek veikta trauku klasifikācija un salīdzinošā analīze (Roslund 2007; Tvauri 2005 u.c.). Agrās ripas keramikas analīze pamatā ir balstīta uz apbedījumos konstatēto keramikas materiālu. Apbedījumos atrastie trauki lielākoties ir saglabājušies veselā veidā, un to forma ir pilnībā nosakāma. Apbedījumu specifika padara šos traukus arī salīdzinoši viegli datējamus. Apskatītajā laika periodā apbedījumos mirušajiem līdzīgi podus deva tikai Lībiešu sentauta, kas dzīvoja Daugavas lejtecē un Gaujas baseinā. Par pamatu keramikas formu datēšanai ir izmantoti Salaspils pag. Laukskolas senkapi, kas ir visapjomīgākie un visplašāk pētītie (Zariņa, 2006; Spirģis 2008). Citi senkapi Daugavas un Gaujas baseinos ir izmantoti materiāla salīdzināšanai un papildināšanai.

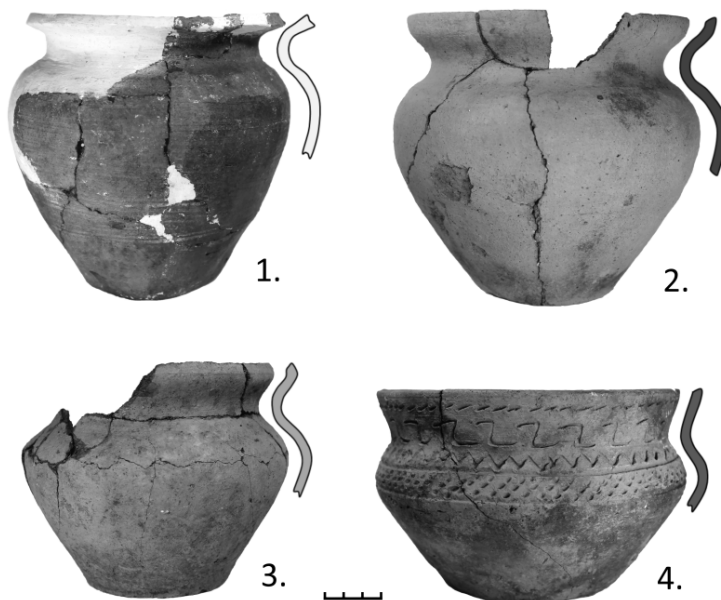


1. att. **Agrās ripas trauks** (foto A. Šulte, no Latvijas Nacionālā vēstures muzeja krājuma, Salaspils pag. Laukskolas senkapu 576. apbedījums, LNVM)

Keramikū Vidzemes un Latgales iekšzemē (ne gar Daugavas vai Gaujas krastu) diemžēl nav iespējams iekļaut analīzē nepietiekamā materiāla apjoma dēļ. Analizējot Latvijas rietumu daļas keramikū, tika izmantots pieejamais dzīvesvietas materiāls. Dzīvesvietās līdz mūsdienām saglabājušās tikai keramikas lauskas. Tādēļ trauku rekonstrukcija ir veikta vienīgi trauku augšdaļai. Papildus tam ir atzīmētas arī novērotās īpatnības trauku rotājumā un māla masas sastāvā, bet konkrētā raksta apjoms neļauj šos aspektus izvērst plašāk.

Dzīvesvietās keramikas lausku datējums nav tik viennozīmīgi nosakāms kā apbedījumos. Lai izvairītos no datējumu neprecizitātes, ir aplūkotas dzīvesvietas ar iespējami mazāku vēlāku laika periodu piejaukumiem: Mežītes pilskalns un apmetne 11.–13. gs (Vasks, Guščika 2010), Matkules pilskalns 10.–14. gs. (Mugurēvičs 1966) un Talsu pilskalns un senpilsēta 10.–13. gs. ar mazāk apjomīgu arheoloģisko materiālu līdz 15. gs. (Asaris 2001; Asaris, Tora 1994; Kraukle 2011).

Talsu pilskalna keramikas materiāla analīze pamatā ir veikta caur piemēriem, jo daļa Talsu pilskalna keramikas materiāla Otrā pasaules kara laikā gāja zudībā. Līdz mūsdienām ir saglabājusies tikai materiāla izlase (Cimermane 1974). Lai gan Talsu pilskalns un senpilsēta sastāda vislielākās metodiskās grūtības, tas materiāla ziņā ir visbagātākais.



2. att. Agrās ripas keramikas trauku formu grupas

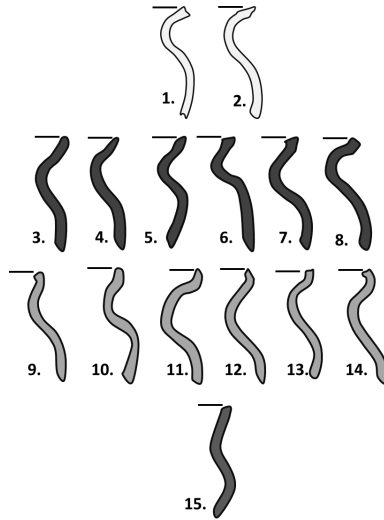
(foto A. Šulte, 1 – Vējstūru senkapi, VI 147:164, savrupatradums, LNVM; 2 – Laukskolas senkapi, 100. objekts, LNVM; 3 – Laukskolas senkapi, 196. kaps, VI 128:2248, LNVM; 4 – Laukskolas senkapi, 530. kaps, VI 128:7642, LNVM)

Rezultāti

Daugavas Lībiešu apdzīvotajā teritorijā ir novērojama liela agrās ripas keramikas formu daudzveidība. Daugavas ielejā atrastās keramikas malu formas ir nodalītas četros pamata variantos jeb grupās (2. att.):

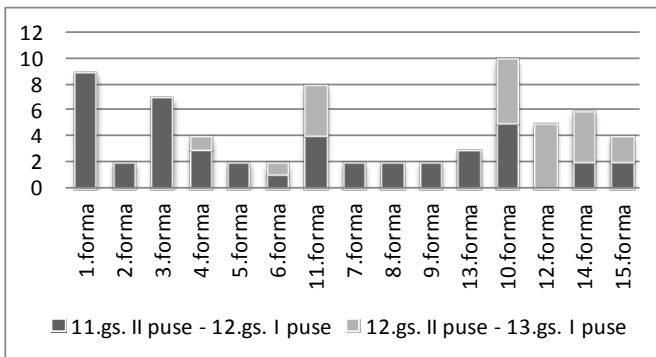
- 1) S formā atlocīta mala;
 - 2) uz āru atlocīta mala ar nedaudz uz augšu uzliektu augšmalu;
 - 3) mala atlocīta uz āru, bet augšmala ielocīta uz iekšu;
 - 4) taisni uz augšu uzlocīta mala (saglabājot pleca profilējumu).
- Katrā no šīm grupām iekļaujas vairākas variācijas (3. att.).

Pie pašreizējiem datiem viennozīmīgu agrās ripas hronoloģiju diemžēl nav iespējams izveidot. Saskaņā ir tikai atsevišķas tendences, kas savstarpēji pārklājas (4. att.). Visskaidrāk hronoloģiski norobežojama ir pirmā grupa, kas atrodama tikai II lībiešu apdzīvotības posmā (Spirģis 2008; Zariņa 2006) jeb 11. gs II puse – 12. gs. I puse (3. att.: 1., 2.). Otrā grupa ir atrodama visā pētītajā laika periodā – 11. gs. II puse – 13. gs. I puse (3. att.: 3.–8.). Trešā grupa, lai gan parādās jau II lībiešu apdzīvotības periodā, ir visizteiktākā III lībiešu apdzīvotības periodā – 12. gs II puse – 13. gs. I puse (3. att.: 9.–14.; 5. att.). Pēdējai ceturtajai grupai piederošie trauki ir konstatēti tikai četros apbedījumos, trīs no tiem Laukskolas senkapos (3. att.: 15.; 5. att.). Šī forma ievērojami atšķiras no pārējā Daugavas lībiešu keramikas materiāla gan pēc formas, gan rotājuma.



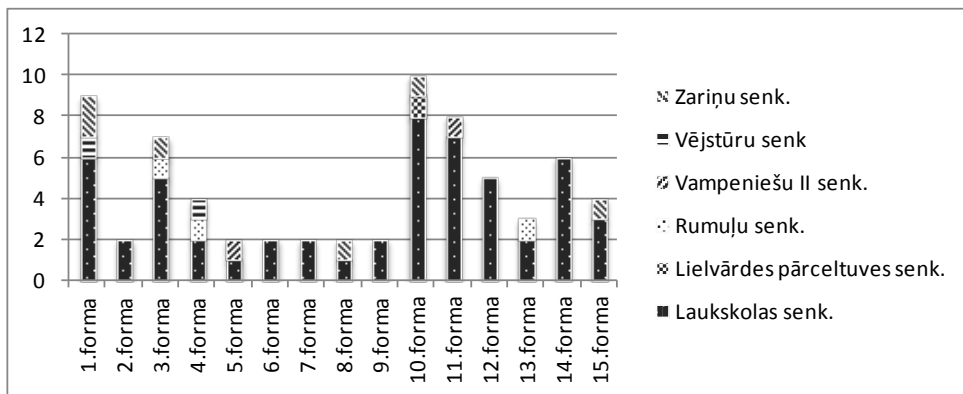
3. att. Daugavas lībiešu agrās ripas trauku formas

(Laukskolas senkapi, VI 128; Lielvārdes pārceltuves senkapi, VI 216; Rumuļu senkapi, VI 203; Vampeniešu II senkapi, VI 144; Vējstūru senkapi, VI 147; Zariņu senkapi, VI 152; LNVM)



4. att. Daugavas lībiešu agrās ripas trauku formu hronoloģija

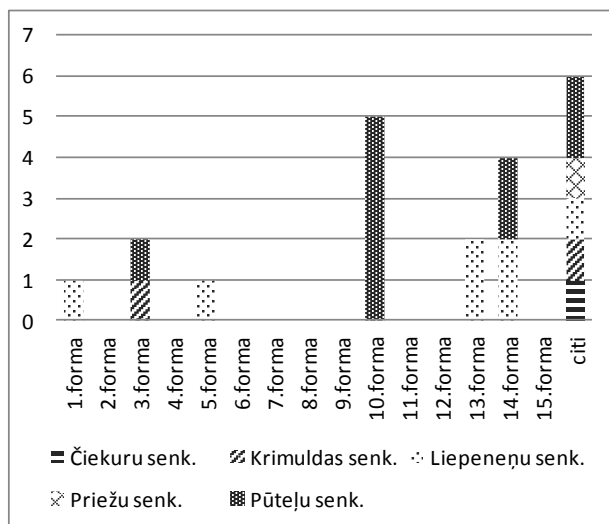
(Laukskolas senkapi, VI 128; Lielvārdes pārceltuves senkapi, VI 216; Rumuļu senkapi, VI 203; Vampeniešu II senkapi, VI 144; Vējstūru senkapi, VI 147; Zariņu senkapi, VI 152; LNVM)



5. att. Daugavas lībiešu agrās ripas trauku formas

(Laukskolas senkapi, VI 128; Lielvārdes pārceltuves senkapi, VI 216; Rumuļu senkapi, VI 203; Vampeniešu II senkapi, VI 144; Vējstūru senkapi, VI 147; Zariņu senkapi, VI 152; LNVM)

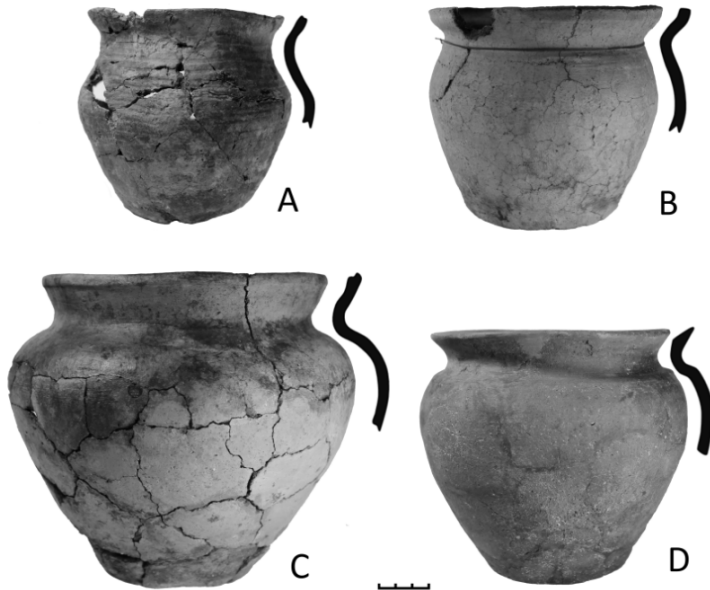
3. un 10. forma atšķiras vienīgi ar malas izliekuma apjomu (3. att.). Viena ir atrodama tikai II apdzīvotības posmā, bet otra vienādā apjomā sastopama abos apdzīvotības posmos (4. att.). Līdzīgas trauku formu tendences ir redzamas arī 13. un 14. formai (3. att.). Trīspadsmitās formas trauki ir atrodami tikai II lībiešu apdzīvotības periodā, savukārt četrpadsmitās formas trauki parādās II, bet divreiz vairāk ir atrodami III apdzīvotības perioda apbedījumos (4. att.). Ir konstatēta tikai vēl viena cita forma ar tik uzsvērti ieliektu malas augšējo daļu (3. att.: 12.), un tā ir atrodama vienīgi III apdzīvotības periodā (4. att.). Savukārt 1. un 2. forma vienīgās ir atrodamas tikai II periodā (4. att.).



6. att. Gaujas lībiešu agrās ripas trauku formas

(Čiekuru senkapi, VI 86; Krimuldas senkapi, CVVM 65147, CVVM 65127; Liepenes senkapi, A 11771; Priedes senkapi, CVVM 65138; Pūteļu senkapi, CVVM 65145; 65131; 65149; 65132; 65133, 65145, 65136, 65146, 65135, 65152; LNVM)

Gaujas reģiona lībiešu apdzīvotajā teritorijā 11.–13. gs. ir izplatīti tādas pašas formas trauki kā Daugavas baseinā (6. att.). Trauku formas mēdz būt ar mazāk profilētu un vairāk taisnu kakla daļu. Daļēji šī iemesla dēļ ir izdalītas četras trauku formas “citi”, kas neietilpst agrākajā tabulā (7. att.). Trauka forma “A” ir tuva 1. formai, tikai ar taisnāku kakla daļu (7. att.). Trauka forma “B” – 3. formai. Vienīgi formu “B” pārstāv vairāk par vienu trauku – trīs trauki (Pūteļu senkapi CVVM 65135, 65152; Priežu senkapi CVVM 65138). Forma “C” ir tuva 9. formai, un forma “D” ir ļoti tuva 6. formai.



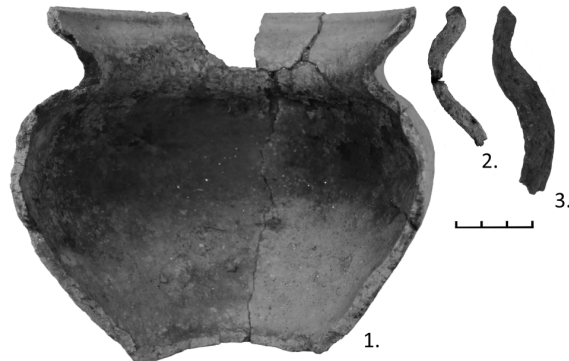
7. att. A – Liepenes senkapu trauks, A 11771:41; B – Čiekuru senkapu trauks, A186:45;
C – Priežu senkapu trauks, CVVM 65138; D – Krimuldas senkapu trauks, CVVM 65 147 (foto A. Šulte, LNVM)

Apskatot **Kurzemes keramikas** materiālu, nākas saskarties ar keramikas klasifikācijas grūtībām. Uz traukiem, kas ir veidoti uz podnieku ripas, var konstatēt arī bezripas veidošanas pēdas.

Pirmkārt, traukiem mēdz būt biežākas sienas nekā Latvijas austrumos (turpm. ar to domāta Daugavas un Gaujas baseinu teritorija) (8. att.). Otrkārt, uz lausku virsmas var atrast vertikālas un diagonālas līdzināšanas virziena pēdas. (9. att.: 1). Treškārt māla masas sastāvā bieži ir liela izmēra zvirgzdi (9. att.). Rodas situācija, ka viena un tā paša trauka lauskas skatot atsevišķi, dažas var pieskaitīt bezripas, bet citas – agrās ripas keramikai.

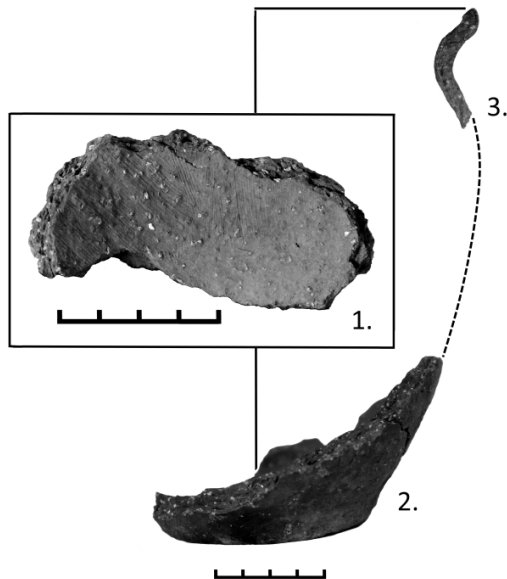
Specifiskā māla masa liecina, ka trīs Mežītes pilskalnā atrastās lauskas pieder vienam traukam (9. att.). Trauka malas lauskai ir tipiska agrās ripas keramikas forma, kā arī uz tās ir redzamas lēni rotējošas ripas izmantošanas pēdas (9. att.: 3). Trauka sāna lauska ir bieža, ar skaidri saskatāmām bezripas līdzināšanas pēdām (9. att.: 1). Trauka dibena lauskai

ir izveidota 'pēda' un uz āru izliekts vēders. Šī forma ir tipiska bezripas tehnikā veidotiem traukiem (9. att.: 2). Taču pati trauka pamatne rāda, ka tas ir bijis pielipināts veidošanas virsmā – podnieka ripai.



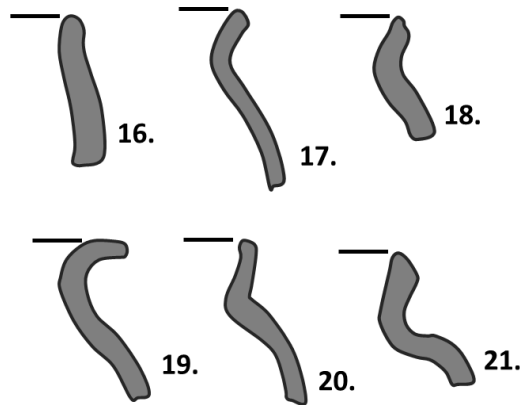
8. att. Latvijas austrumu un Latvijas rietumu trauku sienu biezumi

(1. foto – A. Šulte, Laukskolas senkapi, 100. objekts, LNVM; 2. foto – A. Šulte, Laukskolas senkapi, 196. kaps, VI 128:2248, LNVM; 3. foto – A. Šulte, Matkules pilskalns, VI 115:147, LNVM)



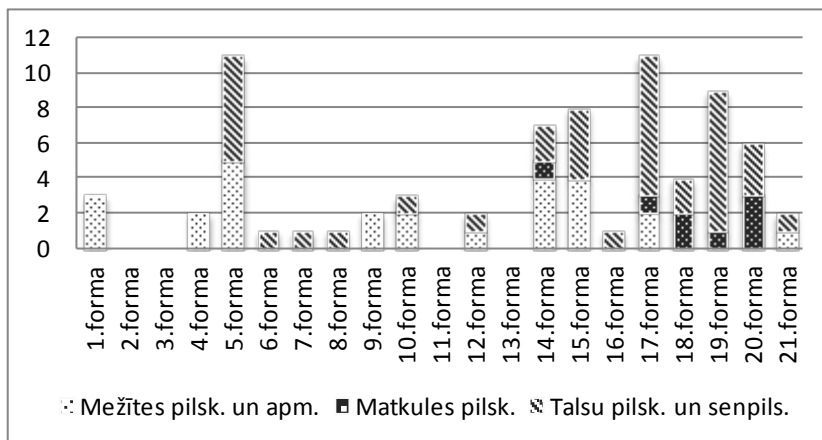
9. att. Viena trauka trīs lauskas (foto – A. Šulte, Mežītes pilskalns, A 13800:107, LNVM)

Latvijas rietumdaļā ir atrodamas gan Latvijas austrumos konstatētās, gan jaunas trauku formas. Uz aplūkojamo periodu var attiecināt sešas līdz šim Latvijas austrumos neatrastas trauku formas (10. att.). Iespējams, pateicoties bagātīgajam keramikas materiālam, Talsu pilskalnā un senpilsētā ir atrastas visas šīs formas (11. att.), tomēr salīdzinoši daudz ir arī jau iepriekš apskatīto keramikas formu. Mežītes pilskalnā un apmetnē ir atrastas tikai divas no jaunajām formām (10. att.: 17, 21). Savukārt Matkules pilskalnā situācija ir otrāda, pamatā ir iegūtas tikai jaunās formas (11. att.).



10. att. Trauku formas no Latvijas rietumu daļas

(17 – Talsu pilskalns, A11431:2924; 18 – Mežītes apmetne, A 13861:266; 19 – Matkules pilskalns, VI 115:166; 21 – Talsu senpilsēta, A12940:28; 22 – Mežītes apmetne, A 13861:248; LNVM)



11. att. Agrās ripas trauku formas Latvijas rietumos

(Mežītes pilskalns un apmetne, A 13862, 13861, 13797, 13800, 13687, 13685; Matkules pilskalns, VI 115; Talsu pilskalns un senpilsēta, A 12940, 11431; LNVM)

Var redzēt, ka izplatītākās keramikas formas Mežītē un Matkulē asi kontrastē. Mežītē izplatītākās trauku formas ir 1.–15., bet Matkulē 17.–20. (11. att.). Talsos ir vairāk lietotās keramikas formu, bet jāņem vērā gan apjomīgākais keramikas materiāls, gan datu fragmentārums.

Diskusija

Neskatoties uz Latvijas austrumu daļas agrās ripas keramikas formu dažādību, Daugavas un Gaujas baseinā atrastie trauki lielākoties ietilpst vienā formu spektrā (3. att.). Gaujas baseinā konstatētas tikai četras trauku formas, kas nav atrodamas Daugavas baseina apbedījumu traukos. Gaujas baseina trauki veido iepriekšminēto formu reģionālu variāciju un nav izdalīti kā atsevišķi trauku formu varianti (7. att.). Lai gan trauku formu hronoloģija ir nepilnīga un savstarpēji pārklājas, Latvijas austrumu daļā ir redzama zināma virzība no S veidā izliktām trauku malām uz nedaudz uzlocītām un atliktām malām.

Rietumos podnieku ripa tiek pārņemta lēni un izmantota kopā ar iepriekšējām keramikas veidošanas tradīcijām. Zināma nozīme varētu būt bijusi jaunās tehnoloģijas ienākšanas virzienam un cilvēku vēlmei paturēt savas agrākās keramikas veidošanas tradīcijas. Podnieku ripas tehnoloģijas lēns apgūšanas process un bezripas apstrādes elementi uz ripas gatavotiem traukiem ir novērojami arī Lietuvā (Vengalis 2008).

Daļai Latvijas rietumos izplatītās keramikas ir redzama skaidra saistība ar Lietuvā lietoto keramiku. Agrās ripas pagatavošanai izmanto gan vienas veidošanas metodes, gan līdzīgas trauku formas. Trauku formas Nr. 17 un 18 ir izplatītas arī Palangas reģionā (Žulkus 1997). Arī trauku sienu biezums un māla masa uzrāda Latvijas rietumu keramikai raksturīgās pazīmes – biezas sienas un liela izmēra zvirgzdus (Vengalis 2009). Šīs pazīmes pamatā ir novērojamas trauku formām 16–20 (izņēmums ir 22. forma). Latvijas rietumos atrastajiem 1.–15. formas traukiem šādas pazīmes nav novērojamas; šīm formām vizuāli nav redzamas atšķirības no Latvijas austrumos atrastajiem traukiem.

Atšķirībā no rietumu teritorijām Latvijas austrumos agrās ripas veidošanas paņēmieni ir pārņemti ļoti strauji. Vienīgās indikācijas par starpposmu, kad vietējie podnieki vēl cenšas integrēt senās trauku formas ar jaunajām, ir Gaujas baseinā – salīdzinoši taisnās un minimāli profilētās trauku malas. Arī Igaunijā taisnākas un stāvākas trauku malas tiek saistītas ar vietējiem podniekiem (Tvauri 2005).

Latvijas austrumu daļas trauki ir līdzīgi Igaunijas teritorijā atrastajai ziemeļrietumu tipa keramikai, kuras saknes ir meklējamas Novgorodas un Polockas teritorijā (Tvauri 2005). Līdzības var redzēt ar Latvijas austrumos atrastajām formām: 5, 6, 7, 10, 14 (Tvauri 2005). Taču daļa šai reģionā lietoto trauku formu varētu būt aizgūtas tieši no Novgorodas. Piemēram, trauku formai divas paralēles līdz šim ir izdevies konstatēt tikai Novgorodas materiālā (Tvauri 2005). Atsevišķām trauku formām (8 un 9) paralēles vēl nav izdevies atrast. Šīs varētu būt lokālas variācijas vai kādu citu austrumu keramikas izstrādes centru ietekmes rezultāts.

Latvijas austrumu un rietumu daļas agrās ripas keramikas pārņemšanas ceļi varētu parādīt atšķirīgos sakaru virzienus. Viena no vēlā dzelzs laikmeta Baltijas jūras tirdzniecības un ciešo savstarpējo attiecību liecībām ir agrās ripas keramika (M. Roslund 2007). Daugavas un Gaujas iedzīvotāju atrašanās vieta un upju tirdzniecības ceļi rada daudz ciešāku mijiedarbību un attiecības ar austrumu slāviem un kņazu zemēm. Agrās ripas keramikas straujā pārņemšana no šī virziena Latvijas austrumos rāda vēlmi iesaistīties plašajā Baltijas jūras tirdzniecības tīklā.

Savukārt Rietumlatvijā kuršu ciešās saites ar Lietuvu ienes citu attiecību virzienu domnanti. Tas, protams, neizslēdz attiecības ar citām Baltijas jūras zemēm, piemēram, Gotlandi. Taču keramikas tradīcijas vairāk ietekmē Lietuva un Rietumu zemes.

Pateicības

Darbs izstrādāts ar Latvijas Nacionālā vēstures muzeja atbalstu. Autore izsaka pateicību arī B. Dumpei par konsultācijām un palīdzību.

Saisinājumi

Latvijas Nacionālais vēstures muzejs – LNVM

Avoti

- LNVM. Arheoloģijas departaments. Bīriņu pag. Čiekuru senkapi: VI 86.
 LNVM. Arheoloģijas departaments. Domes pag. Vampniešu II senkapi: VI 144.
 LNVM. Arheoloģijas departaments. Ikšķiles pag. Zariņu senkapi: VI 152.
 LNVM. Arheoloģijas departaments. Krimuldas pag. Krimuldas senkapi: CVVM 65147, CVVM 65127.
 LNVM. Arheoloģijas departaments. Krimuldas pag. Liepenes senkapi: A 11771.
 LNVM. Arheoloģijas departaments. Krimuldas pag. Priedes senkapi: CVVM 65138.
 LNVM. Arheoloģijas departaments. Lielvārdes pag. Lielvārdes pārceltuves senkapi: VI 216.
 LNVM. Arheoloģijas departaments. Lielvārdes pag. Rumuļu senkapi: VI 203.
 LNVM. Arheoloģijas departaments. Lībagu pag. Mežītes pilskalns un apmetne: A 13862, 13861, 13797, 13800, 13687, 13685.
 LNVM. Arheoloģijas departaments. Matkules pag. Matkules pilskalns: VI 115.
 LNVM. Arheoloģijas departaments. Salaspils pag. Laukskolas senkapi: VI 128.
 LNVM. Arheoloģijas departaments. Salaspils pag. Vējstūru senkapi: VI 147.
 LNVM. Arheoloģijas departaments. Talsu pag. Talsu pilskalns un senpilsēta: A 12940, 11431.
 LNVM. Arheoloģijas departaments. Turaidas pag. Pūteļu senkapi: CVVM 65145; 65131; 65149; 65132; 65133, 65145, 65136, 65146, 65135, 65152.

Literatūra

- Asaris, J., 2001. Talsi – from Curonian Central Place to Medieval Town. *Lubeck style? Novgorod style? Baltic Rim central places as arenas for cultural encounters and urbanization 1100–1400 AD*. CCC papers: 5, Rīga: Nordik, pp. 69–75.
- Asaris, J., Tora, A., 1994. Pētījumi Talsu senpilsētā. *Zinātniskās atskaites sesijas materiāli par arheologu 1992 un 1993. gada pētījumu rezultātiem*. Rīga: Latvijas vēstures institūta apgāds, 19.–22. lpp.
- Bobrinskii, A. A., 1978. *Goncharstvo vostochnoi Evropy*. Moskva: Nauka. S. 271.
- Cimermane, I., 1974. Spodrinātā keramika Latvijā. *Arheoloģija un Etnogrāfija*, 11, 99.–109. lpp.
- Kraukle, R., 2011. *Talsu pilskalns 10.–15. gadsimtā*. Maģistra darbs. Rīga: Latvijas Universitāte. 83 lpp.
- Mugurēvičs, Ē., 1966. Arheoloģiskie izrakumi Matkules pilskalnā 1965. *Zinātniskās atskaites sesijas materiāli par arheologu 1965. gada pētījumu rezultātiem*. Rīga: Zinātne, 23.–24. lpp.
- Roslund, M., 2007. *Guests in the House: Cultural Transmission between Slavs and Scandinavians 900 to 1300 A.D.* Brill, Leiden-Boston, p. 557.

- Spirģis, R., 2008. *Bruņurupuču saktas ar krūšu važiņrotām un Lībiešu kultūras arristība Daugavas lejtecē 10.–13. gadsimtā*. Rīga: Latvijas vēstures institūta apgāds, 511 lpp.
- Tvauri, A., 2005. *Eesti hilisrauaaja savinõud (11. Sajandist 13. Sajandi keskpaigani)*. Muinasaja Teadus 16, Tartu-Tallinn, p. 196.
- Vasks, A., Guščika, E., 2010. Pētījumi Mežītes arheoloģisko pieminekļu kompleksā 2008. un 2009. gadā. *Arheoloģu pētījumi Latvijā 2008 un 2009*. Rīga: Nordik, 40.–45. lpp.
- Vengalis, R., 2008. Rytij lietuvos keramika VIII–XII a. *Lietuvos Archeologija*, 33, pp. 41–70.
- Vengalis, R., 2009. *Rytų lietuvos gyvenvietės I–XII a.* Daktaro disertācija. Vilnius: Vilniaus Universiteta, p. 235.
- Zariņa, A., 2006. Salaspils Laukskolas kapulauks 10.–13. gs. Rīga: Latvijas vēstures institūta apgāds, 465. lpp.
- Žulkus, V., 1997. *Palangos Viduramžiu Gyvenvietes*. Acta Historica Universitatis Klaipedensis VI: Klaipedos Universiteto, p. 350.

Lietišķi ģeoloģiskie pētījumi, jaunas tehnoloģijas, materiāli un produkti
Zinātnisko rakstu krājums

Latvijas Universitāte, 2016