

LATVIJAS UNIVERSITĀTES  
RAKSTI

785. SĒJUMS

Zemes un vides  
zinātnes

SCIENTIFIC PAPERS  
UNIVERSITY OF LATVIA

VOLUME 785

Earth and  
Environmental Sciences

SCIENTIFIC PAPERS  
UNIVERSITY OF LATVIA

VOLUME 785

Earth and  
Environmental Sciences

UNIVERSITY OF LATVIA

LATVIJAS UNIVERSITĀTES  
RAKSTI

785. SĒJUMS

# Zemes un vides zinātnes

LATVIJAS UNIVERSITĀTE

UDK 567(082)+554  
Ze 556

**Galvenais redaktors** (Editor-in-Chief):

Prof. Dr. geol. **Vitālijs ZELČS**

**Izpildredaktore** (Executive editor):

Dr. geogr. **Zanda PENĒZE**

**Redaktora vietnieki** (Associate Editors):

Prof. Dr. geogr. **Agrita BRIEDE** (klimatoloģija un hidroloģija)

Prof. Dr. habil. chem. **Māris KĻAVIŅŠ** (vides zinātne)

Prof. Dr. geogr. **Zaiga KRIŠJĀNE** (cilvēka ģeogrāfija)

Prof. Dr. geol. **Ervīns LUKŠEVIČS** (pamatiežu ģeoloģija)

Prof. Dr. biol. **Viesturs MELECIS** (vides bioloģija)

Prof. Dr. geogr. **Oļģerts NIKODEMUS** (ainavu un augsnes ģeogrāfija)

Dr. geol. **Juris SOMS** (kvartāra ģeoloģija un ģeomorfoloģija)

Prof. Dr. geol. **Valdis SEGLIŅŠ** (lietišķā ģeoloģija un ģeofizika)

Dr. habil. phys. **Juris ŽAGARS** (ģeomātika)

Asoc. prof. Dr. geogr. **Pēteris ŠKIŅĶIS** (telpiskā plānošana)

**Redakcijas padomes locekļi:**

Prof. Emeritus, Dr. habil. geol. **Ojārs ĀBOLTIŅŠ** (Latvijas Universitāte)

Prof. Ph. D. **Lars Bengt Ake BERGMAN** (Stokholmas Universitāte)

Dr. geol. **Albertas BITINAS** (Klaipēdas Universitāte)

Ph. D. **Edmunds BUNKŠE** (Delavēras Universitāte)

Dr. geogr. **Anita DRAVENIECE** (Latvijas Zinātņu akadēmija)

Prof. Emeritus, Dr. habil. geogr. **Guntis EBERHARDS** (Latvijas Universitāte)

Dr. geogr. **Zenonas GULBINAS** (Viļņas Ģeogrāfijas institūts)

Ph.D. **Peter JOHANSSON** (Somijas Ģeoloģijas dienests)

Dr. habil. agr. **Aldis KĀRKLIŅŠ** (Latvijas Lauksaimniecības Universitāte)

Prof. Dr. geogr. **Maija ROZĪTE** (Biznesa augstskola Turība)

Latviešu teksta literārā redaktore **Gita Bērziņa**

Angļu teksta literārais redaktors **Imants Mežaraups**

Maketu un vāka noformējumu veidojusi **Andra Liepiņa**

Visi krājumā ievietotie raksti ir recenzēti.

Pārpublicēšanas gadījumā nepieciešama Latvijas Universitātes atļauja.

Citējot atsauce uz izdevumu obligāta.

© Latvijas Universitāte, 2012

ISBN 978-9984-45-559-4

# Saturs

## **Zigmārs Rendeniēks, Aivars Tērauds**

Veco mežaudžu telpiskā struktūra un tās izmaiņas Ziemeļvidzemes biosfēras rezervātā 20. gadsimtā

*Old Forest Stand Pattern and Its Change in North Vidzeme*

*Biosphere Reserve in the 20th Century* ..... 6

## **Mārcis Tīrums, Māra Bitāne, Gunta Kalvāne**

Pavasara bioklimatisko parametru mainība un to ietekmējošie faktori Snēpelē 1947.–2007. gadā

*Variability of Bioclimatological Parameters and Influencing Factors in Snēpele* ..... 21

## **Jānis Krūmiņš, Elīza Kuške**

Kalcija un magnija izplatības likumsakarības zemā tipa purva kūdrā

*The Distribution Regularities of Calcium and Magnesium in Fen Peat Profile* ..... 42

## **Inga Piese, Ģirts Stinkulis, Agnese Stunda-Zujeva**

Devona Gaujas un Sietiņu svītas smilšakmeņu cements

Gaujas ielejā un tās apkārtnē posmā Valmiera–Cēsis

*Cement of Sandstones of the Devonian Gauja and Sietiņi*

*Formations in the Gauja River Valley and Its Vicinity from Valmiera to Cēsis* ..... 56

## **Daiga Blāķe**

Devona Lodes svītas nogulumi un to veidošanās apstākļi

*Deposits of the Devonian Lode Formation and Their Origin* ..... 71

## **Baiba Raga, Andis Kalvāns, Aija Dēliņa**

Pamatjonu koncentrācijas izmaiņas pazemes ūdeņos, attīstoties depresijas piltuvei Rīgas apkārtnē

*Changes of Major Ions Content in Groundwater,*

*the Development of Depression Cone in the Rīga Area* ..... 82

## **Inga Retiķe, Andis Kalvāns, Aija Dēliņa, Alise Babre,**

### **Baiba Raga, Eleonora Pērkone**

Pilnīgās atstarošanas rentgenfluorescences pielietojums mikroelementu un makroelementu analīzei pazemes ūdeņos

*Application of a Total Reflection X-ray Fluorescence Spectrometry*

*to the Analysis of Trace and Major Elements in Groundwater* ..... 99

## **Maija Ušča**

Teritoriālas kopienas veidošanās un to veicinošie faktori: Mūrnieku ielas piemērs Rīgā

*The Development of Place-based Community and Factors That Promote It:*

*the Case of Mūrnieku Street in Rīga* ..... 112

## **Ervīns Lukševičs, Atis Mūrnieks, Dzidra Skrube,**

### **Ģirts Stinkulis, Angelīna Zabele**

Līlitas Ilgas Gailītes piemiņai ..... 123

## **Veco mežaudžu telpiskā struktūra un tās izmaiņas Ziemeļvidzemes biosfēras rezervātā 20. gadsimtā**

### ***Old Forest Stand Pattern and Its Change in North Vidzeme Biosphere Reserve in the 20th Century***

**Zigmārs Rendnieks, Aivars Tērauds**

Latvijas Universitāte

Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte

Alberta iela 10, Rīga, LV-1010

E-pasts: [zigmars.rendnieks@lu.lv](mailto:zigmars.rendnieks@lu.lv); [aivars@gis.lv](mailto:aivars@gis.lv)

Ainavas struktūras izmaiņas, ko radījusi cilvēka darbība un, kas ietekmē bioloģisko daudzveidību, ir nozīmīga problēma visā pasaulē – it īpaši meža ainavās. Šī pētījuma mērķis ir novērtēt meža ainavas telpisko struktūru un tās izmaiņas četrās pētījuma teritorijās Ziemeļvidzemes biosfēras rezervātā Latvijas ziemeļu daļā. Šis ir kvantitatīvs pētījums, kas balstīts uz meža inventarizācijas datu analīzi par 1929.–1941. un 2008. gadu, izmantojot ainavu struktūras indikatorus. Meža inventarizācijas dati satur detālu informāciju par mežaudzēm, un šī informācija padara iespējamus meža struktūras dinamikas pētījumus ar augstu detalizācijas pakāpi. Indikatoru aprēķināšanā izmantota datorprogramma *Fragstats*. Pētījuma objekti ir vecās priežu, egļu, melnalkšņu, apšu, ozolu un ošu mežaudzes, kas ir uzskatāmas par būtiskām to bioloģiskas daudzveidības potenciālā pieauguma aspektā. Pētījuma rezultāti rāda, ka kopējais veco mežaudžu platības pieaugums ir 153,9%, bet struktūras izmaiņu raksturs un lielums atšķiras dažādām sugām un pētījuma teritorijām. Visizteiktākā veco mežaudžu fragmentācija un biotopa platības samazinājums konstatēti egļu un priežu audzēs, mežizstrādei un vējgāžu postījumiem izmainot biotopu konfigurāciju. Lielākajā daļā melnalkšņu un apšu audžu, kas radušās, galvenokārt apmežojoties pamestām lauksaimnieciskajām platībām, ir būtisks kopplatības un kodolzonu platības pieaugums un plankumu izolācijas samazinājums. Vecās ozolu un ošu audzes aizņem mazas platības un uzrāda mērenu homogenizāciju (ozoli) vai fragmentācijas (oši) dinamiku un kopējās platības pieaugumu.

**Atslēgvārdi:** ainavu struktūras indikatori, meža ainava, fragmentācija, biotopa zudums.

## **Ievads**

Par meža ainavas struktūras pētījumu aktualitāti liecina fakts, ka 20. gadsimta laikā mežu platības Latvijā ir gandrīz divkārtšojušās: no 26,6% 1935. gadā (Angelstam et al., 2005) līdz 49,8% 2010. gadā (<http://www.csb.gov.lv/statistikas-temas/mezsaimnieciba-galvenie-raditaji-30111.html>). Šīs izmaiņas ietekmējušas arī meža telpisko struktūru un vecumstruktūru – dabiskās sukcesijas ceļā lielās platībās aizaugot pamestām lauksaimniecības zemēm, ievērojamas platības aizņem 50–80 gadu vecas bērzu, apšu un arī melnalkšņu mežaudzes (Tērauds et al., 2011). Savukārt mežizstrādes rezultātā trūkst atsevišķu sugu mežaudžu vecumā virs 110 gadiem, it īpaši privātajos mežos (Angelstam et al., 2005).

Ar meža telpisko struktūru saprot ainavas mozaīku veidojošo plankumu un to savstarpējo savienojumu telpisko izvietojumu – telpiskā struktūra reprezentē izvietojuma telpiskos (konfigurāciju) un netelpiskos (kompozīciju) aspektus (Baškent and Jordan, 1996). Struktūra, tāpat kā tās raksturlielumi mežaudžu mērogā, ietekmē ekoloģiskos procesus un sugu sastopamību (Kurttila, 2001).

Antropogēnās aktivitātes (galvenokārt mežu izciršana un ceļu izbūve) var izjaukt meža ainavas strukturālo integritāti un kavēt (vai dažos gadījumos – sekmēt) ekoloģiskās plūsmas ainavās (Gardner et al., 1993). Ainavas telpiskā konfigurācija un telpiskā kontinuitāte (nepārtrauktība) ir nozīmīga daudzu meža sugu eksistences nodrošināšanā, piemēram, zviedru pētnieks Andrēns (1994, 1997) savos pētījumos parāda, ka veco mežaudžu fragmentācija ir būtisks faktors atsevišķu sugu izplatībā. Mežu izciršana, kas atšķiras no dabiskajiem traucējumiem pēc biežuma, atkārtamības un apjoma, bieži rada fragmentētus mežu biotopus, kuros dominē jaunākās vecuma klases un ir mainījies sugu sastāvs ainavā (Mladenoff et al., 1993).

Par fragmentāciju sauc procesu, kurā telpiski nepārtraukts biotops tiek sadalīts mazākos, izolētos plankumos, ko atdala pamatnes biotops, kas atšķiras no sākotnējā biotopa (Wilcove et al., 1986). Fragmentācijas process norisinās ainavas līmenī (Mcgarigal & Cushman, 2002) un palielina malas zonas biotopu dominanci (Saunders et al., 1991), izmainot ainavas kompozīciju. Fragmentācijas process ietver vairākas fāzes, arī biotopu zudumu (Forman, 1995), bet to ietekmi nepieciešams izvērtēt atsevišķi (Fahrig, 2003). Biotopu zudums ir galvenais faktors, kas negatīvi ietekmē globālo bioloģisko daudzveidību (Heywood & Watson, 1995; Fahrig, 2003), bet fragmentācijas *per se* efekts ir neitrāls vai pat palielina bioloģisko daudzveidību (Fahrig, 2003).

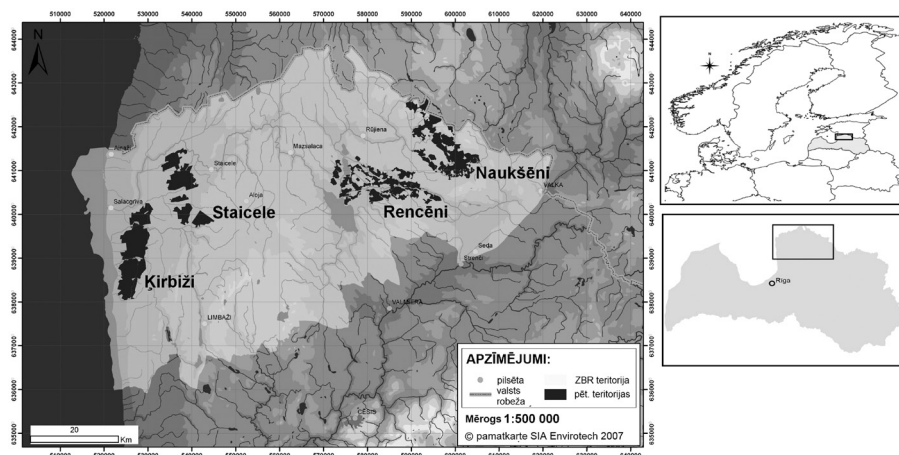
Meža vecumstruktūra ir ļoti būtisks meža struktūras aspekts. Mežaudžu vecuma sadalījums ir radies lokālo (dabisko un antropogēno) traucējumu rezultātā un piedalās ekosistēmas funkciju regulēšanā (Casperson & Pacala, 2001). Meža vecumstruktūru spēcīgi ietekmē mežsaimniecība, kas to padara vienvēidīgu līdz ciršanas vecumam, kam parasti seko straujš samazinājums klasēs ar lielāku vecumu (Fall et al., 2004). Latvijas apstākļos izteiktāks ir veco skujkoku mežaudžu trūkums, tādējādi atspoguļojot mežsaimniecisko praksi 20. gadsimtā (Tērauds et al., 2011).

Ainavu telpisko struktūru Ziemeļvidzemes biosfēras rezervātā (ZBR), izmantojot struktūras indikatorus, pētījis Tērauds (2011, 2008a) un, analizējot zemes lietojuma veidu dinamiku kopš 20. gs. 30. gadiem, konstatējis meža masīvu homogenizāciju, ko skaidro ar agrāko lauksaimniecībā izmantojamo zemju apmežošanas lielās platībās. Šis pētījums parāda kopējās tendences, bet nepieciešams ainavas struktūras izmaiņas izvērtēt arī detālākā – mežaudžu griezumā. Tas daļēji darīts šajā pētījumā, kura mērķis ir novērtēt veco mežaudžu telpiskās struktūras izmaiņas laika posmā starp 1929.–1941. un 2008. gadu ZBR ainavu ekoloģiskā kontekstā. Šajā pētījumā pirmo reizi izvērtēta veco audžu telpiskā struktūra, izmantojot ainavu struktūras indikatorus. Pētījuma aktuālītāti palielina mežizstrādes apjoma pieaugums kopš neatkarības atjaunošanas un koksnes kā vērtīga dabas resursa loma Latvijas ekonomikā. Šajā pētījumā izmantota kvantitatīvā metode, kas ir atzīta un pasaulē plaši lietota (Öhman et al., 2005; Wulder et al., 2009), proti, ainavas telpiskās struktūras raksturošana ar ainavu indikatoriem, salīdzinot mūsdienu situāciju ar atskaites ainavas parametriem.

## Materiāls un metodes

### Pētījuma teritorijas

Pētījuma teritorijas (1. att.) atrodas ZBR Latvijas ziemeļu daļā (~ 110 km ZA virzienā no Rīgas). ZBR ir lielākā aizsargājamā dabas teritorija Latvijā, kur piemēroti kompleksi dabas, kultūrvēsturisko vērtību aizsardzības un ekonomiskās aktivitātes atbalsta pasākumi (ELLE un LU, nepubl.). Pētījuma teritoriju robežas nosaka četri lielākie meža masīvi ar dažādu „telpiskā kompakturnā” pakāpi un salīdzinoši lielāku veco mežaudžu blīvumu nekā mozaīkveida ainavā. Šīs teritorijas reprezentē četras dažādas apsaimniekota meža ainavas, un katra ietver veco mežaudžu struktūras jaunāku audžu veidotā matricā. Katra pētījuma teritorija pārstāv dažādus vides apstākļus – gan apsaimniekošanas vēstures, gan augsnes mitruma un trofiskuma pakāpes aspektā (ELLE un LU, nepubl.). Kopējā visu pētījuma teritoriju platība ir 29876,3 ha. ZBR dominējošās ekosistēmas ir boreālie skuju koku meži un mitrāji.



1. attēls. Pētījuma teritoriju izvietojums ZBR

Fig. 1. Location of the research areas in NVBR

Teritorijā „Ķirbiži” izplatīti podzoli uz smilts cilmieža un arī podzolētās glejaugnes un purvu augsnes. Dominē egļu un priežu meži ar nozīmīgu bērza piejaukumu. No meža augšanas apstākļu tipiem visvairāk izplatīti ir slapjais vēris (19,9% platības) un slapjais damaksnis (15,3%), vēris (10%) un damaksnis (13,4%). Slapjais mētrājs un lāns nesasniedz 10% no kopējās platības. Sastopams daudz pārmitro mežu; mežaudzes veido vienlaidus meža masīvu, ko šķērso daudzas nelielas ūdensteces. No meža augšanas apstākļu tipiem izplatītākie ir slapjais vēris, slapjais damaksnis un vēris.

No pētījuma teritorijas „Staicele” augsnēm izplatītākās ir velēnu podzolaugnes, podzolētās glejaugnes un purvu augsnes. Relatīvi lielas platības aizņem nemeža zemes, to skaitā purvi un mitrāji. Tiem pieguļ galvenokārt jaukti (priežu un lapu koku) meži. No meža augšanas apstākļu tipiem 2. teritorijā visvairāk izplatīti ir platlapju ārenis (13,7%), slapjais vēris (13,5%) un vēris (13,2%). Sastopami arī



slapjšais damaksnis un šaurlapu ārenis. Teritorijā ir liels veco mežaudžu īpatsvars, mežu vecumstruktūra ir vislīdzīgākā dabiskajai (salīdzinājumā ar pārējām pētījuma teritorijām). No tiem izplatītākie ir platlapju ārenis, slapjšais vēris un vēris.

Teritorijā „Rencēni” dominē velēnu podzolaugsnes, podzoli un velēnpodzolētās glejaugsnes. Priežu un priežu–bērzu vai priežu–egļu meži ir izplatītākie šajā pētījuma teritorijā. Damaksnis (21,5%), lāns (13,2%) un niedrājs (12,3%) ir izplatītākie meža augšanas apstākļu tipi. Jaunaudzes sastopamas lielās platībās, kā arī nozīmīgu mežu daļu veido apmežotas agrākās lauksaimniecībā izmantotās zemes. Mežaudzes telpiski neveido vienlaidus masīvu. Dominējošie meža augšanas apstākļu tipi ir damaksnis, lāns un niedrājs.

Pētījuma teritorijā „Nauksēni” sastopami podzoli un podzolētās glejaugsnes. Izplatīti priežu un priežu–egļu meži ar nozīmīgu bērza piejaukumu. No meža augšanas apstākļu tiem izplatītākie ir vēris (16,2%), damaksnis (11,8%) un gārša (11,7%), nozīmīgas platības aizņem arī niedrājs, šaurlapu kūdrenis un platlapju ārenis (zem 10%). Arī šajā pētījuma teritorijā novērots augsts jaunaudžu īpatsvars (Mežu inventarizācijas..., nepubl.). Šajā teritorijā ir izteikti paugurains reljefs, kas ietekmē mežaudžu telpisko izvietojumu. Dominējošie meža tipi – vēris, damaksnis un gārša.

## Pamatdati

Pētījums ir balstīts uz meža taksācijas datu (Mežu inventarizācijas..., nepubl.) analīzi. Ģeotelpiskie dati (meža nogabalu plāni un mežaudžu raksturojumi) iegūti no Valsts mežu dienesta (VMD). Šie dati ir radīti, izmantojot meža inventarizācijas materiālus par mežaudžu situāciju 1929.–1941. un 2008. gadā. Izmantotie dati ir apkopoti divās datubāzēs, kurās apkopota 1929.–1941. un 2008. g. situācija – šīs datubāzes ir izmantojamas kā detalizētas informācijas avots meža raksturošanai audžu mērogā.

Pētījuma objekti ir vecās priežu, egļu, melnalkšņu, apšu, ozolu un ošu mežaudzes (1. tabula). Šīs koku sugas izvēlētas pēc to nozīmības veco mežaudžu formēšanā Latvijas mežos.

1. tabula

### Mežaudžu atlasē kritēriji Forest stand selection criteria

Koku suga <i>Tree specie</i>	Audzes vecums <i>Stand age</i>
Apse ( <i>Populus tremula</i> L.) <i>Aspen</i>	≥ 60
Melnalksnis ( <i>Alnus glutinosa</i> L.) <i>Black alder</i>	≥ 60
Osis ( <i>Fraxinus excelsior</i> L.) <i>Ash</i>	≥ 80
Ozols ( <i>Quercus robur</i> L.) <i>Oak</i>	≥ 80
Priede ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) <i>Pine</i>	≥ 120
Egle ( <i>Picea abies</i> ) <i>Spruce</i>	≥ 120

Analīzei izvēlētas audzes ar nobriedušiem (virs cirtmeta pēc likuma „Par meža apsaimniekošanu...”) un pāraugušiem kokiem – atšķirīgi vecuma sliekšņi skujkokiem, „cietajiem” un „mīkstajiem” lapu kokiem. Mežaudzes tika atlasītas pēc dominējošās sugas un vecuma pirmajā un otrajā stāvā atbilstoši meža inventarizācijas datu informācijai.

Pētījumā mežaudzes ar lielu vecumu sasniegušiem kokiem reprezentē audzes, kurās dabiskam mežam raksturīgās bioloģiskās daudzveidības struktūras var attīstīties dažu gadu desmitu laikā, ja tiek piemēroti ilgtspējīgas mežsaimniecības pasākumi ([http://www.vmd.gov.lv/doc\\_upl/metodika\\_2002\(4\).pdf](http://www.vmd.gov.lv/doc_upl/metodika_2002(4).pdf)).

## Analīze

Pirmā datu apstrādes fāze tika veikta ĢIS vidē, izmantojot datorprogrammu *ArcGIS*. Datu atlasei, apkopošanai un pārveidošanai rastra datu formātā (*ArcGRID*) izmantota *ArcGIS* programmatūra, tākāko analīzi veicot datorprogrammā *Fragstats*. Rastra formāta datiem izvēlēts šūnas (pikseļa) lielums, kas atbilst 5×5 m dabā, līdz ar to analizētajam ainavas modelim ir augsta izšķirtspēja.

Otrā fāze ietvēra datu analīzi, kas veikta, izmantojot programmu *Fragstats* (McGarigal et al., 2002). Veco mežaudžu telpiskās struktūras telpiski statistiskā analīze tika veikta atsevišķi katrai sugai katrā pētījuma teritorijā 1929.–1941. un 2008. gada situācijā. Pirms analīzes veikšanas tika definēti aprēķināmie indikatori, analīzes parametri un indikatoru statistiskā sadalījuma varianti (vidējais, platības svērtais vidējais, intervāls, mediāna, standartnovirze un variācijas koeficients).

Ainavu struktūras indikatori (*landscape metrics*) kvantitatīvi izsaka plankumu, plankumu tipu un visas ainavas mozaīkas specifiskos telpiskos raksturlielumus. Dažādi indikatori raksturo dažādas plankumu (mežaudžu) telpiskās struktūras aspektus, piemēram, ainavas plankumu izmēru, formu, kodolzonu platības, telpiskās izolācijas pakāpi un plankumu klašu daudzveidību. Struktūras indikatoru metode neļauj izvērtēt konkrētu mežaudžu izmaiņas, jo tiek aprēķināti statistiskie lielumi visai pētījuma teritorijai un novērtēts to relatīvais, nevis absolūtais novietojums.

Par kodolzonām tika pieņemtas teritorijas plankuma iekšienē, ko neietekmē „kaimiņu” (blakus esošais) plankums. Balstoties uz literatūras studijām (Forman, 1995; Chen et al., 1993), tika definēts malas dziļums – attālums no plankuma malas, kurā izpaužas malas ietekme. Tas tika noteikts 2 stumbru augstuma apmērā (pēc vidējā koku augstuma visās pētījuma teritorijās): 40 m skujkokiem (priedei, eglei) un 50 m lapu kokiem (apsei, melnalksnim, ozolam un osim).

Mežaudžu telpiskās struktūras raksturošanai, balstoties uz literatūras studijām (Wu et al., 2000; <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/Metrics/Metrics%20TOC.htm>), tika izvēlēti astoņi indikatori (2. tabula) – klases kopējā platība (CA), kopējā plankumu kodolzonu platība (TCA), plankumu skaits (NP), platības svērtā vidējā plankumu platība (AREA\_AM), kopējais malas garums (TE), platības svērtais vidējais plankumu kodolzonas indekss (CAI\_AM), platības svērtais vidējais formas indekss (SHAPE\_AM) un platības svērtais vidējais Eiklīda „tuvākā kaimiņa” attālums (ENN\_AM). Šiem indikatoriem ir raksturīga savstarpēja korelācija, jo tie visi tiek aprēķināti no dažiem ainavas plankumu pamata lielumiem – platības, perimetra, skaita. Piemēram, kopējās malas garums pozitīvi korelē ar klases

kopējo platību, kodolzonas indekss un kopējā platība – ar vidējo plankuma platību (<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/Metrics/Metrics%20TOC.htm>).

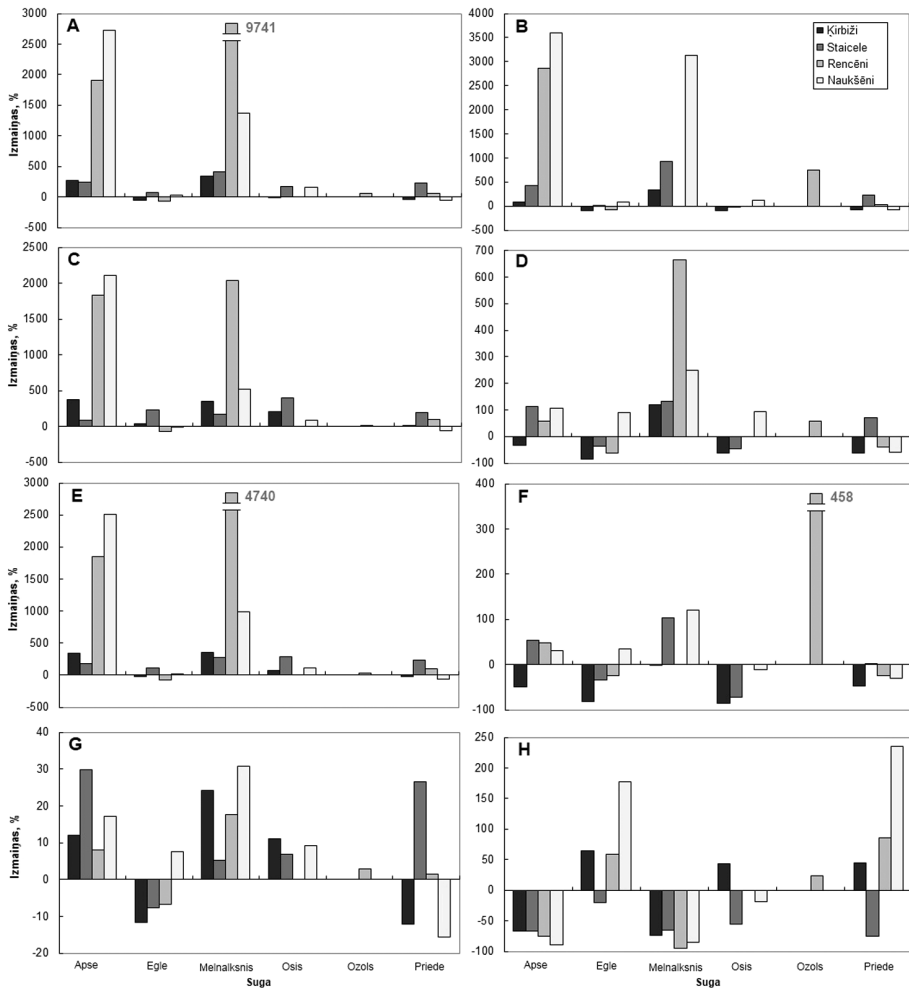
2. tabula

<b>Izmantoto indikatoru apraksts</b> <i>Characterization of used metrics</i>			
Nosaukums	Apzīmējums	Apraksts	Mērv.
Klases kopējā platība	CA	Vienas klases plankumu platību summa	ha
Kopējā plankumu kodolzonu platība	TCA	Visu vienas klases kodolzonu platību summa	ha
Plankumu skaits	NP	Vienas klases plankumu skaits	gab.
Platības svērtā vidējā plankumu platība	AREA_AM	Vidējā vienas klases plankumu platība, kas svērtā ar šīs klases plankumu lieluma sadalījuma rangu	ha
Kopējais malas garums	TE	Visu vienas klases plankumu perimetru summa	km/ha
Platības svērtais vidējais plankumu kodolzonas indekss	CAI_AM	Vidējā kodolzonas platības proporcija plankumā, kas svērtā ar šīs klases plankumu lieluma sadalījuma rangu	%
Platības svērtais vidējais formas indekss	SHAPE_AM	Vidējā perimetru attiecība starp plankuma perimetru un tādas pašas platības kvadrātu, kas svērtā ar šīs klases plankumu lieluma sadalījuma rangu	–
Platības svērtais vidējais Eiklīda „tuvākā kaimiņa” attālums	ENN_AM	Vidējais attālums līdz tuvākajam vienas klases plankumam, kas svērts ar šīs klases plankumu lieluma sadalījuma rangu	m

No indikatoru statistiskā sadalījuma variantiem tika izvēlēts platības svērtais vidējais, lai akcentētu plankumu izmēra ekoloģisko nozīmību, veicot telpiskās struktūras analīzi ainavas mēroga perspektīvā.

Aprēķinātie indikatori tika interpretēti, sagrupējot pa sugām (sešas grupas), pa pētījuma teritorijām (četras grupas) un pa gadiem (divas grupas). Analīzes rezultāti apkopoti tabulās par 1929.–1941. un 2008. gada situāciju un vizualizēti, izmantojot grafikus (2. att.). Tika aprēķinātas indikatoru procentuālās izmaiņas un veikts telpiskās struktūras dinamikas novērtējums un rezultātu interpretācija.

Izmaiņu būtiskums klases līmenī tika aprēķināts visiem struktūras indikatoriem, balstoties uz to veidojošo plankumu kopu vērtību atšķirībām. Ja būtiskuma līmenis ir  $\alpha = 95\%$ ,  $p$  vērtības tika noteiktas, izmantojot neparametrisko *Mann-Whitney U* testu SPSS programmā (SPSS Inc, 1998). Testi tika veikti atsevišķi katrai sugai un izpētes teritorijai. Indikatori, kuru vērtības mainījās statistiski būtiski, parādīti 5. tabulā.



2. attēls. Struktūras indikatoru procentuālās izmaiņas starp 1929.–1941. un 2008. g. situācijām četrās pētījuma teritorijās

A – klases kopējā platība (CA); B – kopējā plankumu kodolzonu platība (TCA); C – plankumu skaits (NP); D – platības svērtā vidējā plankumu platība (AREA\_AM); E – kopējais malas garums (TE); F – platības svērtais vidējais plankumu kodolzonas indekss (CAI\_AM); G – platības svērtais vidējais formas indekss (SHAPE\_AM); H – platības svērtais vidējais Eiklīda „tuvākā kaimiņa” attālums (ENN\_AM)

Fig. 2. Changes of landscape metrics in four research areas between 1929-1941 and 2008 situations

a) class area (CA); b) total core area (TCA); c) number of patches (NP); d) area-weighted mean patch area (AREA\_AM); e) total edge (TE); f) area-weighted mean core area index (CAI\_AM); g) area-weighted mean shape index (SHAPE\_AM); h) area-weighted mean Euclidean nearest neighbour distance (ENN\_AM).

## Rezultāti

### Veco mežaudžu telpiskā struktūra 1929.–1941. gada periodā

1929.–1941. gada situāciju kopumā raksturo relatīvi maza kopējā veco mežaudžu platība (īpatsvars: 8–16% kopplatības); vidējā plankumu platība lielākajai daļai sugu (apsei, melnalksnim, osim un ozolam) ir mazāka par 9 ha, arī atšķirības starp sugām ir nelielas. Kopumā visās četras pētījuma teritorijās dominē priežu un egļu (attiecīgi 964 un 667 ha) vecās mežaudzes. Egļu audzes aizņem lielas platības (vidēji 166 ha vienā teritorijā) un izceļas ar augstu plankumu kodolzonu īpatsvaru (vidēji 27%), bet to izolācijas pakāpe ir augstāka nekā citām sugām telpiskā izkaisījuma dēļ. Apšu audžu struktūru veido telpiski izkliedēti plankumi, kas ir raksturīgi sukcesijas pionierfāzes sugām, kas atjaunojas izcirtumos. Vecās ozolu un ošu audzes aizņem relatīvi nelielas platības (vidēji attiecīgi 31 un 34 ha) un bieži veido lokālas plankumu agregācijas. Vecās priežu un melnalkšņu audzes kopumā raksturo sarežģītas plankumu formas (purvu malām un ūdenstecēm piegulošās mežaudzēs), kā arī liels kopējais malas garums un relatīvi zema plankumu izolācijas pakāpe (2. att.). 1929.–1941. gada situācijā visaugstāko kopējo struktūras integritāti uzrāda veco priežu audžu struktūra, ko raksturo lielākas platības un zemāka plankumu izolācija.

### Veco mežaudžu telpiskā struktūra 2008. gadā

2008. gada situāciju raksturo veco audžu kopējās platības pieaugums visām sugām (vecu mežu platības īpatsvars ir 16–46%), it īpaši lapu kokiem (melnalksnis un apse). Starp skujokiem pēc aizņemtās platības dominējošā ir priede; vecās egļu audžu platības ir salīdzinoši mazas. Vecās ošu audzes aizņem relatīvi mazas platības un dažās teritorijās veido audžu (plankumu) agregācijas. Vecās ozolu audzes platībās, kas lielākas par 5 ha, ir sastopamas tikai pētījuma teritorijā „Rencēni”. Vecās apšu audzes pēc platības dominē pētījuma teritorijās „Staicele” un „Naukšēni”. Vidējās plankumu platības variācija starp sugām ir izteikta – lielākais plankumu izmērs ir raksturīgs vecajās melnalkšņu un priežu audzēs (vidēji attiecīgi 15 un 8,5 ha). Plankumu malas garums apšu, melnalkšņu un priežu audzēm (attiecīgi 30, 44 un 15% no kopējās malas garuma) liecina par izteiktu „malas efekta” ietekmi ainavā. Lielākā plankumu kodolzonu proporcija raksturo vecās egļu, priežu un melnalkšņu audzes, jo šī indikatora vērtības atspoguļo arī plankumu izmēra ietekmi. Tādēļ biotopu platības un savienotības aspektā visaugstākā ainavekoloģiskā kvalitāte ir veco melnalkšņu un apšu audžu veidotām struktūrām, bet viszemāk novērtētas vecās egļu mežaudzes.

### Veco mežaudžu platību izmaiņas

Salīdzinājumā ar 1929.–1941. gada situāciju ir palielinājusies gan kopējā visu mežaudžu platība, gan kopējā veco mežaudžu platība visās pētījuma teritorijās (3. tabula). Kopējā visu sugu veco mežaudžu platība ir pieaugusi par 153,9%, visizteiktāk pētījuma teritorijās „Staicele” un „Naukšēni” (1. att.). Kopējās platības indikatoru vērtības uzrāda izteiktas atšķirības starp sugām (4. tabula). Abas skujkoku audzes uzrāda veco mežu platību samazinājumu (eglei pat par 45%), bet visizteiktāk palielinājušās veco melnalkšņu un apšu audžu platības (4. tabula). Pārējo sugu audžu platības uzrāda mazāk izteiktas izmaiņas.

3. tabula

**Veco audžu kopplatības izmaiņas pa pētījuma teritorijām**  
**Total old stand area and percentual changes per research area**

<b>Pētījuma teritorija</b> <i>Research area</i>	<b>1929.–1941. g. (ha)</b>	<b>2008. g. (ha)</b>	<b>Izmaiņas</b> <i>Changes (%)</i>
Ķirbiži	834,96	1732,28	+207,54
Staicele	677,60	2515,66	+371,20
Rencēni	631,72	804,64	+127,46
Naukšēni	557,93	1808,48	+324,13
Kopā (Total)	2702,308	6861,065	153,9

4. tabula

**Kopējās veco audžu platības un to izmaiņas pa sugām**  
**Total old stand area and percentual changes per specie**

<b>Suga</b> <i>Species</i>	<b>Kopējā platība</b> <i>Total area</i> 1929.–1941. g. (ha)	<b>Kopējā platība</b> <i>Total area</i> 2008. g. (ha)	<b>Izmaiņas</b> <i>Changes (%)</i>
Apse ( <i>Aspen</i> )	413,49	2082,32	+403,59
Egle ( <i>Spruce</i> )	666,68	361,02	-45,85
Melnalksnis ( <i>Black alder</i> )	524,49	3279,28	+525,23
Osīs ( <i>Ash</i> )	102,17	176,68	+72,92
Ozols ( <i>Oak</i> )	31,00	55,31	+78,43
Priede ( <i>Pine</i> )	964,48	906,46	-6,02
Kopā (Total)	2702,31	6861,07	+153,90

5. tabula

**Struktūras indikatori pa sugām un pētījuma teritorijām ar aprēķināto izmaiņu**  
**būtiskuma līmeni  $p < 0,05$  starp 1929.–1941. un 2008. g. situāciju**  
**Calculated metrics per species and research areas with significance  $p < 0.05$  between values**  
**in 1929-1941 and 2008 situations**

<b>Suga</b> <i>Species</i>	<b>Izpētes teritorija</b> <i>Research area</i>			
	<b>Ķirbiži</b>	<b>Staicele</b>	<b>Rencēni</b>	<b>Naukšēni</b>
Apse <i>Aspen</i>	NP, ENN_AM,	TCA, TE, SHAPE_AM, CAI_AM	NP	NP, ENN_AM
Egle <i>Spruce</i>	CA, CAI_AM, ENN_AM	CA, AREA_AM, TCA, NP, CAI_AM		SHAPE_AM, ENN_AM
Melnalksnis <i>Black alder</i>	CA, AREA_AM, TCA, NP, TE, CAI_AM, ENN_AM	CA, AREA_AM, TCA, NP, TE, CAI_AM, ENN_AM	CA, NP, TE, ENN_AM	CA, AREA_AM, NP, TE, SHAPE_AM, ENN_AM
Osīs <i>Ash</i>	CA, AREA_AM, TCA, NP, TE, CAI_AM	NP, ENN_AM		
Ozols <i>Oak</i>				
Priede <i>Pine</i>	CA, AREA_AM, TCA, TE, CAI_AM	NP, ENN_AM	SHAPE_ AM, ENN_AM	ENN_AM

## Veco mežaudžu telpiskās struktūras izmaiņas

Veco mežaudžu telpiskās struktūras indikatori uzrāda būtiskas izmaiņas starp 1929.–1941. g. un 2008. g. situāciju. Ievērojami pieaugusi veco mežaudžu kopējā platība, galvenokārt lapu koku audžu platību pieauguma dēļ. Plankumu izolācijas pakāpe šīm sugām samazinājusies visās pētījuma teritorijās. Teritorijās „Rencēni” un „Naukšēni” ir visizteiktākās izmaiņas visu sugu mežaudzēs (2. att.).

Ne visas izmaiņas struktūras indikatoru vērtībās tika atzītas par statistiski būtiskām. 5. tabulā parādīti indikatori ar būtiskām atšķirībām ( $p < 0,05$ ) individuālo plankumu parametros starp 1929.–1941. un 2008. g. situāciju. Tomēr daudzos gadījumos izmaiņu būtiskuma aprēķinu apgrūtināja mazais plankumu skaits kādā no situācijām.

Kopējās platības samazinājums ir novērots tikai vecajās skujoku audzēs, it īpaši egļu audzēs (samazinājums par 62 un 75% attiecīgi teritorijās „Ķirbiži” un „Rencēni”). Egļu audžu struktūras kvalitāte ir būtiski samazinājusies plankumu izolācijas un kodolzonu īpatsvara aspektā. Vecās melnalkšņu mežaudzes uzrāda ļoti izteiktu kopējās klases platības (9471%), kopējā malas garuma (4740%) un plankumu vidējās platības (664%) pieaugumu (2. att.). Apšu un melnalkšņu audzes uzrāda arī visizteiktāko „tuvākā kaimiņa” attāluma samazinājumu visās pētījuma teritorijās. Ozolu mežaudzes uzrāda mērenas izmaiņas visos struktūras aspektos, izņemot kodolzonu īpatsvaru, kas palielinājies par 458% pētījuma teritorijā „Rencēni”. Vecās apšu audzes raksturo izmaiņas visos struktūras dinamikas aspektos, īpaši kodolzonu kopējā platībā (3598%), plankumu skaitā (2111%) un kopējā malas garumā (2505%, visi teritorijā „Naukšēni”). Priežu mežaudžu telpiskās struktūras izmaiņas ir salīdzinoši mērenākas. Vecās priežu audzes uzrāda izteiktu dinamisku plankumu formas sarežģītības un izolācijas pakāpes aspektā (2. att.), parādot lielas atšķirības dažādās pētījuma teritoijās.

## Diskusija

Šajā pētījumā, mēģinot kvantitatīvi raksturot ainavas struktūru, izmantoti ainavu indikatori, kas agrāk Latvijā izmantoti relatīvi maz (Aunins & Priednieks, 2008; Tērauds, 2011; Tērauds et al., 2011; 2008a; 2008b). Šī darba autori secina, ka šo indikatoru izmantošana ir perspektīva un dod būtisku ieguldījumu ainavas struktūras pētījumos, sniedzot konkrētus, skaitliskus lielumus, kas ļauj raksturot un salīdzināt dažādas ainavas.

Rezultāti uzrāda būtiskas veco mežaudžu struktūras izmaiņas: kopējās platības un platības īpatsvara (ainavas kopplatības kontekstā) pieaugumu salīdzinājumā ar 1929.–1941. gada situāciju. Veco audžu kopējās platības pieaugums zināmā pakāpē atspoguļo meža platību pieaugumu 20. gadsimta laikā (Tērauds, 2011; Angelstam et al., 2005). 2008. gada situācijā visās pētījuma teritorijās vecās mežaudzes aizņēma 16–22% kopējās platības, bet pētījuma teritorijā „Staicele” – pat 48%. Izvērtējot struktūras izmaiņu ietekmi konkrētāk, jāatzīmē, ka augu un mugurkaulnieku populācijām būtiskāka ir ainavas telpiskā konfigurācija, bet putniem – biotopu kompozīcija (Uunemaa et al., 2009). Plankumu platības vispārināti raksturo konkrēta biotopa daudzumu ainavā, tāpēc platības izmaiņas (klases un ainavas līmenī) uzskatāmas par pamata raksturlielumu, izvērtējot ainavas kompozīciju.

Pēc statistiskā būtiskuma indikatoru skaita ziņā izceļas pētījuma teritorijas „Ķirbiži” un „Staicele”, tas liecina, ka tieši šīs teritorijas piedzīvojušas izteiktākās izmaiņas veco audžu struktūrā – abas pētījuma teritorijas atrodas tuvu jūras piekrastei, tādēļ ticama ir versija par lieliem meža postījumiem 1969. gada vētrā.

Vecās apšu un melnalkšņu audzes uzrāda telpiskās struktūras uzlabojumu kopējās platības, kodolzonu īpatsvara un plankumu izolācijas pakāpes aspektā, tādējādi palielinot veco audžu telpisko kontinuitāti (samazinoties plankumu izolācijai, to veidotā struktūra atvieglo organismu pārvietošanos ainavā). Tas kopumā atspoguļo sukcesijas pionierfāzes sugu (konkrēti – apšu) audžu platību lielo īpatsvaru Latvijā, kas radies mežsaimniecisko izmaiņu rezultātā (Angelstam et al., 2005) kopš neatkarības atjaunošanas. Savukārt vecās melnalkšņu audzes, kas ir nozīmīgas slapjainu mežu biotopu kontinuitātes aspektā, uzrāda visizteiktākos struktūras ainavekoloģiskās kvalitātes uzlabojumus kopējās platības un plankumu izolācijas aspektā, kas liecina par augstāku strukturālās integritātes pakāpi. Šīs struktūras izmaiņas ir skaidrojamas ar ekstensīvu dabisku mitru pļavu un ganību apmežošanas padomju perioda sociāli politisko un ekonomisko procesu rezultātā (Angelstam et al., 2005). Pārmitros melnalkšņu mežus turklāt arī mazāk skārušas mežizstrādes darbības, un to koksne ir mazāk vērtīga. Tērauds, savos pētījumos (2011; 2008a) izvērtējot ainavas struktūru ZBR, arī konstatējis meža struktūras homogenizāciju ainavas līmenī.

Vecajām priežu audzēm (teritorijā „Naukšēni”) tāpat kā eglēm („Rencēni”) konstatēts nozīmīga struktūras indikatora – plankumu skaita – samazinājums, kas, iespējams, norāda uz mežizstrādes ietekmi. Arī plankumu formas vienkāršošanās netieši liecina par intensīvu mežizstrādi (Mladenoff et al., 1993; Reed et al., 1996; Tinker et al., 1998), kas visizteiktāk novērojama teritorijās „Ķirbiži” un „Naukšēni”, tomēr dokumentētas informācijas par to nav. Pretējs process – plankumu formas sarežģīšanās (piemēram, melnalkšņu audzēs teritorijā „Naukšēni”) – uzskatāms par struktūras dabiskās atjaunošanās pazīmi. 2008. gada ainavā vecās priežu mežaudzes, līdzīgi melnalkšņiem, bieži veido plankumu agregācijas un koridorus pārmitrajās un purviem piegulošajos mežos – šīs struktūras ir nozīmīgas ekoloģisko plūsmu nodrošināšanā un biotopu telpiskās kontinuitātes palielināšanā. Vecajām skujkoku audzēm biežāk ir raksturīga telpiskā agregācija, veidojot lielākus, relatīvi homogēnus nogabalus.

Ainavekoloģiskā kvalitāte veco egļu mežaudžu struktūrā ir pazeminājusies izteiktā platības samazinājuma dēļ – šīs izmaiņas var izskaidrot ar veco audžu jutību pret postījumiem (plaši postījumi 1969. gada novembra vētrā) un, iespējams, intensīvu izciršanu atsevišķās teritorijās. Platības samazinājums ir atzīts par galveno globālās bioloģiskās daudzveidības samazinājuma cēloni (Heywood & Watson, 1995), tādēļ veco egļu audžu izzušana būtiski degradē meža ainavas kopējo struktūru, samazinot attiecīgā biotopa platību.

Vecām ozolu un ošu audzēm kopumā raksturīga zema telpiskā kontinuitāte (maza izmēra plankumi ar augstu telpisko izolāciju), un tās uzrāda mērenāku telpiskās struktūras dinamiku. Ozolu audzes platības pētījuma teritorijā „Rencēni” uzrāda izteiktu plankumu kodolzonu pieaugumu – šo audžu lokālās struktūras uzlabošanās skaidrojama ar vēsturiski ilgstoši saglabātām ozolu audzēm dabas liegumā



„Vidusburtnieks” ([http://www.ldf.lv/upload\\_file/28435/Kopsavilkums\\_Vidusburtnieks.pdf](http://www.ldf.lv/upload_file/28435/Kopsavilkums_Vidusburtnieks.pdf)), kas ietilpst pētījuma teritorijā „Rencēni”. Savukārt vecās ošu mežaudzes ir telpiski vairāk izkaisītas, un to izmaiņas raksturo kopējās platības pieaugums un izolācijas pakāpes samazinājums, kas neuzrādīja statistisku būtiskumu.

Daļu konstatēto izmaiņu teritorijā „Rencēni” varētu būt ietekmējusi daļēja pētījuma teritoriju nesakritība (2008. gadā analizētās ainavas platība ir par 28% mazāka nekā 1929.–1941. gada ainava), kas radusies datu nepieejamības dēļ. Šādu apsvērumu dēļ plankumu skaita, platības un kodolzonu indikatoru izmaiņas tika izvērtētas piesardzīgi.

Veco mežaudžu telpiskajā struktūrā novērotās izmaiņas ir daudzveidīgas, un attiecībā pret pētījuma teritoriju mežaudžu bioloģisko daudzveidību nav novērots vienāds izmaiņu trends. Turpinoties pašreizējām tendencēm, lapu koku (konkrēti – melnalkšņu un apšu) vecajās mežaudzēs novērotās struktūras izmaiņas (kopējās platības un plankumu kodolzonu un malas zonas pieaugums) var palielināt attiecīgo teritoriju bioloģisko daudzveidību. Savukārt skujkoku (īpaši egļu) audzēs novērotā veco audžu izolācija un it īpaši platību samazināšanās no ainavas struktūras perspektīvas samazina skujkoku mežu ekosistēmas spēju nodrošināt dabiskās ekoloģiskās plūsmas.

Mežizstrāde uzskatāma par būtiskāko faktoru, kas nākotnē var izmainīt veco mežaudžu struktūru. Tā kā relatīvi daudzas analizētās mežaudzes atrodas meža masīvu iekšienē, intensīva mežizstrāde nākotnē var palielināt „malas biotopu” īpatsvaru, kā arī palielināt „kodolzonu biotopu” kontrastu ar apkārtējiem nogabaliem. Par industriālās mežizstrādes objektiem tipiski kļūst mežaudzes ar vērtīgāko koksnī, respektīvi, priežu un egļu audzes sausieņu mežos. Tā kā tikai neliela daļa šo mežu ir aizsargāti (Angelstam et al., 2005), nav likumīgu ierobežojumu to izciršanai.

Mūsdienās ilgtspējīga mežsaimniecība, kas vērsta uz mežizstrādes un bioloģiskās daudzveidības saglabāšanas līdzsvaru, uzskatāma par prioritāru attīstības virzienu daudzās mežiem bagātās valstīs. Veicinot ekoloģisko plūsmu atjaunošanos un specifisko, dabiskam mežam raksturīgo struktūru saglabāšanu un radīšanu, iespējams panākt mežaudžu telpiskās struktūras kvalitātes uzlabošanu un ekosistēmas funkcionalitātes atjaunošanu un no tām izrietošo meža bioloģiskās daudzveidības pieaugumu.

## Secinājumi

1. Kopš 1929.–1949. gada situācijas veco mežaudžu telpiskā struktūra ir būtiski mainījies visās 4 pētījuma teritorijās, un izmaiņu raksturs un intensitāte bijusi atšķirīga dažādu sugu vecajās mežaudzēs.
2. Viziteiktāk pieaugusi veco melnalkšņu un apšu mežaudžu telpiskās struktūras kontinuitāte ainavekoloģiskā aspektā.
3. Kopumā skujkoku (priežu un it īpaši egļu) ekosistēmas vitalitāte ir samazinājusies, un veco mežaudžu izzušanas un audžu izolācijas dēļ tās struktūra nespēj nodrošināt priekšnosacījumus, lai bioloģiskā daudzveidība saglabātos pašreizējā līmenī.
4. Veco ozolu un ošu mežaudžu struktūra mazo platību un audžu izolācijas pakāpes dēļ nespēj pilnvērtīgi nodrošināt visas ekosistēmas funkcijas.

## Pateicības

Autori izsaka pateicību profesoram O. Nikodemum par padomiem un atbalstu raksta sagatavošanā, kā arī profesoram V. Melecim par konsultācijām datu analizē.

### IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Andrén, H. 1997. Habitat fragmentation and changes in biodiversity. *Ecological Bulletins*, 46, 171–181.
2. Andrén, H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: A review. *Oikos*, 71, 355–366.
3. Angelstam, P., Bērmanis, R., Ek, T., Šica, L. 2005. *Bioloģiskās daudzveidības saglabāšana Latvijas mežos (noslēguma ziņojums)*. VMD, LVM, Ūstra Götaland Meža pārvalde, 96. lpp.
4. Angelstam, P., Kuuluvainen, T. 2004. Boreal forest disturbance regimes, successional dynamics and landscape structures – a European perspective. *Ecological Bulletins*, 51, 117–136.
5. Angelstam, P., Törnblom, J. 2004. Maintaining forest biodiversity in actual landscapes– European gradients in history and governance systems as a „landscape lab”. In: Marchetti, M. (ed.) *Monitoring and Indicators of Forest Biodiversity in Europe – From Ideas to Operationality*. EFI, pp. 299–315.
6. Aunins, A., Priednieks, J. 2008. Ten years of farmland bird monitoring in Latvia: population changes 1995–2004. *Revista Catalana diOrnitologia*, 24, 53–64.
7. Baškent, E. Z., Jordan, G. A. 1996. Designing forest management to control spatial structure of landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 34(1), 55–74.
8. Berg, A., Ehnström, B., Gustafsson, L., Hallingbäck, T., Jonsell, M., Weslien, J. 1994. Threatened plant, animal and fungus species in Swedish forests – distribution and habitat associations. *Conservation Biology*, 8, 718–731.
9. Caspersen, J. P., Pacala, S. W. 2001. Successional diversity and forest ecosystem function. *Ecological Research*, 16, 895–903.
10. Chen, J., Franklin, J. F., Spies, T. A. 1993. Contrasting microclimates among clearcut, edge and interior of old-growth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 63, 219–237.
11. Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 34, 487–515.
12. Fall, A., Fortin, M. J., Kneeshaw, D. D., Yamasaki, S. H., Messier, C., Bouthillier, L., Smyth, C. 2004. Consequences of various landscape-scale ecosystem management strategies and fire cycles on age-class structure and harvest in boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 310–322.
13. Franklin, A. B., Noon, B. R., George, L. 2002. What is habitat fragmentation? *Studies in Avian Biology*, 25, 20–29.
14. Freeman, R. E., Stanley, E. H., Turner, M. G. 2003. Analysis and conservation implications of landscape change in the Wisconsin River floodplain. *Ecological Applications*, 13(2), 416–431.
15. Forman, R. T. T. 1995. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press, Cambridge. 128 pp.
16. Gardner, R. H., O’Neill, R. V., Turner, M. G. 1993. Ecological implications of landscape fragmentation. In: Pickett, S. T. A., McDonnell, M. G. (eds.) *Humans as components of*

- ecosystems: subtle human effects and ecology of population areas*. Springer-Verlag, New York, pp. 208–226.
17. Gustafson, E. J., Crow, T. R. 1996. Simulating the effects of alternative forest management strategies on landscape structure. *Journal of Environmental Management*, 46, 77–94.
  18. Heywood, V. H., Watson, R. T. (eds.) 1995. *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge. 67 pp.
  19. Kuoki, J., Löfman, S., Martikainen, P., Rouvinen, S., Uotila, A. 2001. Forest Fragmentation in Fennoscandia: Linking Habitat Requirements of Wood-associated Threatened Species to Landscape and Habitat Changes. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 3, 27–37.
  20. Kurttila, M. 2001. The spatial structure of forests in optimization calculations of forest planning – a landscape ecological perspective. *Forest Ecology and Management*, 142, 129–142.
  21. McGarigal, K., Cushman, S. A. 2002. Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. *Ecological Applications*, 12(2), 335–345.
  22. McGarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C., Ene, E. 2002. *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps*. Amherst, University of Massachusetts.
  23. Mladenoff, D. J., White, M. A. & Pastor, J. 1993. Comparing spatial pattern in unaltered old-growth and disturbed forest landscapes. *Ecological Applications*, 3, 294–306.
  24. Öhman, K., Lämås, T. 2005. Reducing forest fragmentation in long-term forest planning by using the shape index. *Forest Ecology and Management*, 212, 346–357.
  25. O'Neill, R. V., Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D. L., Milne, B. T., Turner, M. G., Zygmunt, B., Christensen, S. W., Dale, W. H., Graham, R. L. 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1(3), 153–162.
  26. Par meža apsaimniekošanu un izmantošanu (likums), 06.04.1994., *Latvijas Vēstnesis*, 41(172).
  27. Reed, R. A., Johnson-Barnard, J., Baker, W. L. 1996. Fragmentation of a forested Rocky Mountain landscape, 1950–1993. *Biological Conservation*, 75, 267–277.
  28. Saunders, D., Hobbs, R. J., Margules, C. R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*, 5, 18–32.
  29. SPSS Inc. 1998. *SPSS 8.0 for Windows. User's Guide*. SPSS Inc., Chicago.
  30. Tērauds, A. 2011. *Ainavas struktūras izmaiņu ainavekoloģiska analīze un vērtējums Ziemeļvidzemes biosfēras rezervātā*. Promocijas darbs. LU, 126. lpp.
  31. Tērauds, A., Brūmelis, G., Nikodemus, O. 2011. Seventy-year changes in tree species composition and tree ages in state-owned forests in Latvia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26(5), 446–456.
  32. Tērauds, A., Nikodemus, O., Rasa, I., Bells, S. 2008. Landscape Ecological Structure in the Eastern Part of the North Vidzeme Biosphere Reserve, Latvia. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*, 62(1/2), 63–70.
  33. Tērauds, A., Nikodemus O., Rasa, I. 2008. Analysis of the landscape structure in the North Vidzeme Biosphere Reserve, Latvia. In: *Economic, social and cultural aspects in biodiversity conservation*. Proceedings of the 1st North Vidzeme Biosphere Reserve international scientific conference, 2006, Valmiera, Latvia, pp. 111–121.
  34. Tinker, D. B., Resor, C. A., Beauvais, G., Kipfmüller, K., Fernandes, C. I., Baker, W. L. 1998. Watershed analysis of forest fragmentation by clearcuts and roads in a Wyoming forest. *Landscape Ecology*, 13, 149–165.

35. Turner, M. G. 1989. Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20, 171–197.
36. Uunemaa, E., Antrop, M., Roosare, J., Marja, R., Mander, U. 2009. Landscape metrics and indices: an overview of their use in landscape research. *Living Reviews in Landscape Research*, 3, 1.
37. Wilcove, D. S., McLellan, C. H., Dobson, A. P. 1986. Habitat fragmentation in the temperate zone. In: *Conservation Biology*, (ed.) Soule, M. E. Sunderland, MA, pp. 237–56.
38. With, K. 1999. Is landscape connectivity necessary and sufficient for wildlife management? In: Rochelle, J. A. et al. (eds.) *Forest fragmentation: wildlife and management implications*. Koninklijke Brill NV, Leiden, pp. 97–115.
39. Wu, J., Jelinski, D. E., Luck, M., Tueller, P. T. 2000. Multiscale Analysis of Landscape Heterogeneity: Scale Variance and Pattern Metrics. *Geographic Information Sciences*, 6(1), 6–19.

## Summary

*Biodiversity impacting human induced landscape pattern change is an increasing worldwide problem, especially in forest landscapes. The focus of the study is on assessment of structural change in old forest stands in 4 research areas in the North Vidzeme biosphere reserve, northern Latvia. This is a quantitative study, based on the analysis of forest inventory data from the years 1929-1941 and 2008 using landscape metrics. The forest inventory data provide detailed and otherwise unavailable information on forest conditions and enables investigation of stand pattern dynamics at a fine scale. The Fragstats software was used to calculate landscape indices. The subject of study is old pine, spruce, combined pine-spruce, black alder, aspen, oak and ash forest stands, which can be considered significant as woodland territories with potential of ecological value increase. General results show that the total area of old stands has increased by 153.9%, but pattern change character and magnitude have varied over species and research areas. The most intense fragmentation and habitat loss occurred in old pine and spruce stands, due to habitat configuration changes caused by logging and windthrows. Decrease in patch isolation and area increase has occurred in most aspen and black alder stands by colonizing abandoned agricultural lands. Old oak and ash stands occupy small areas and are very locally distributed – they indicate moderate homogenization (oak stands) or fragmentation (ash stands), and both show increase of the total area.*

**Keywords:** *landscape metrics, forest landscape, fragmentation, habitat loss.*

## **Pavasara bioklimatisko parametru mainība un to ietekmējošie faktori Snēpelē 1947.–2007. gadā** *Variability of Bioclimatological Parameters and Influencing Factors in Snēpele*

**Mārcis Tīrums**

Latvijas Universitāte  
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Raiņa bulv. 19, Rīga, LV-1586  
E-pasts: *marcis@lob.lv*

**Māra Bitāne**

Latvijas Universitāte  
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Raiņa bulv. 19, Rīga, LV-1586  
E-pasts: *maral60@inbox.lv*

**Gunta Kalvāne**

Latvijas Universitāte  
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Raiņa bulv. 19, Rīga, LV-1586  
E-pasts: *gunta.kalvane@lu.lv*

Bioklimatisko parametru (lapu plaukšanas, putnu atlidošanas u. c.) analīze arvien biežāk tiek izmantota klimata mainības pētījumos visā pasaulē.

Pētījuma mērķis ir izvērtēt bioklimatisko parametru mainību un svārstības Snēpelē kā etalonterritorijā un raksturot faktoros, kas ietekmē fenoloģisko fāzu iestāšanās laiku.

Pētījumā analizētas četru augu un astoņu putnu sugu pavasara fenoloģiskās fāzes, kā arī klimatiskie dati periodā no 1947. līdz 2007. gadam Snēpelē, Kuldīgas novadā.

Datu analīze rāda, ka koku lapu plaukšana un ziedēšana Snēpeles teritorijā iestājas agrāk, savukārt putnu atlidošanas laiku izmaiņas variē pa sugām: būtiski agrāk Snēpelē atlido dzērves, savukārt vālodzes tiek novērotas vēlāk nekā vidēji periodā.

**Atslēgvārdi:** klimata mainība, bioklimatiskie parametri, fenoloģiskais pavasaris, Snēpele.

### **Ievads**

Bioklimatoloģija ir interdisciplināra zinātne par klimata ietekmi uz dzīvajiem organismiem, un tās loma 21. gs. būtiski pieaug, to ir noteikusi sabiedrības pastiprinātā interese par klimata mainību. Pēc bioklimatologu atzinumiem, bioklimatisko novērojumu analīze, iespējams, ir „vienkāršākais un lētākais veids, kā pierādīt un pamatot klimata izmaiņas” (Koch et al., 2006), jo augi un dzīvnieki visjūtīgāk reaģē uz izmaiņām apkārtējā vidē.

Bioklimatoloģijas pirmsākumi meklējami pirmatnējā sabiedrībā, kad cilvēka eksistence bija neatraujami saistīta ar gadalaiku miju un sezonalitāti dabā. Vissenākie, sistemātiski pierakstītie novērojumu dati ir atrasti Japānā, kur imperatora pils arhīvos ir saglabājušās ziņas par ķiršu ziedēšanu, sākot no 705. gada (Post and Inouye, 2008 pēc Arakawa, 1955). Ornitofenoloģiskie novērojumi ir viena no senākajām putnu migrācijas pētīšanas metodēm, tomēr mūsdienās tā joprojām tiek izmantota retāk nekā citas, tehniski sarežģītas un dārgas metodes (Berthold, 1993). Pirmie putnu migrācijas pētījumi ir saistīti ar zviedru zinātnieka, dabaszinātņu sistemātikas dibinātāja K. Linneja vārdu 18. gs. otrajā pusē. Viņš 1751. gadā pirmais mēģināja noorganizēt novērojumu tīklu putnu aizceļošanas un atceļošanas datumu reģistrēšanai un tāpēc uzskatāms par ornitofenoloģijas pētījumu pamatlicēju (Mihelsons, 1958).

Latvijā augu fenoloģiskie novērojumi uzsākti 19. gs. 30. gados: 1822. gadā – Puzē, 1824. gadā – Lestenē un Lubānā, savukārt sistemātiski novērojumi visā Latvijas teritorijā uzsākti 1926. gadā, kad tika likti pamati brīvprātīgo novērotāju tīklam. Pirmos zināmos datus par putnu atlidošanu pavasarī Jelgavas apkārtnē 19. gadsimtā vācis R. Bode. Viņš novērojumus veicis astoņus gadus – 1829., 1830. gadā un laika posmā no 1834. līdz 1839. gadam (Lipsbergs, 1977).

Gaisa temperatūras ilglaicīgās izmaiņas ir viens no klimata mainības indikatoriem. Nozīmīga gaisa temperatūras paaugstināšanās Latvijas teritorijā ir novērota visā novērojumu periodā, bet visizteiktāk šī paaugstināšanās noris tieši pēdējās dekādēs (Lizuma et al., 2007). Pēc pēdējo 50 gadu novērojumiem, kopējam gada nokrišņu daudzumam Latvijas teritorijā ir tendence palielināties, it īpaši valsts rietumdaļā (Briede and Lizuma, 2007). Sniega segas biezums un dienu skaits ar sniega segu 50 gadu laikā (1946.–1996. gads) ir samazinājies visā Latvijas teritorijā (Draveniece et al., 2007). Ir pierādīts, ka Baltijas jūras ietekme uz sniega segu skaidri izpaužas 30–100 km platā piekrastes joslā (arī Snēpelē).

20. gs. fenoloģisko fāžu iestāšanās laiks ir būtiski mainījies, ko apliecina pētījumi gan Eiropā (Menzel, 2000; Defila and Clot, 2001; Menzel et al., 2001; Aasa et al., 2004, Ahas et al., 2002), gan Ziemeļamerikā (Beaubien and Freeland, 2000; Schwartz and Reiter, 2000) un Āzijā (Ho et al., 2006; Linderholm, 2006). Lielākā daļa pētījumu liecina, ka pēdējās 4–5 desmitgadēs pavasara fāzes iestāšanās (lapu plaukšana, ziedēšana) desmitgadē vērojama vidēji 1,2–3,8 dienas agrāk, savukārt rudens fāzes iestāšanās 0,3–2,6 dienas vēlāk. Pasaulē vidēji fenoloģiskais pavasaris iestājas 8 dienas agrāk, augšanas sezonai (periods starp lapu plaukšanas sākumu un lapu dzeltēšanas sākumu) pagarinoties līdz pat 12 dienām (Linderholm, 2006 pēc Schwartz, 1999). Novērots, ka līdz ar klimatisko apstākļu izmaiņām mainās arī daudzu putnu migrācija. Ziemeļu puslodē gājputnu migrācija iezīmējas ar straujām izmaiņām pēdējās desmitgadēs (Moller, 2004; Gordo, 2007). Lielākā daļa migrējošo putnu sugu pavasarī atgriežas agrāk tajos gados, kad Ziemeļatlantijas cirkulācijas (NAO) indekss bijis pozitīvs, kas Ziemeļeiropā saistās ar siltākiem un nokrišņiem bagātākiem laikapstākļiem (Hurrell et al., 2003).

No Baltijas valstīm detālāki bioklimatiskie pētījumi veikti Igaunijā, kur analizētas augu, putnu un zivju fenoloģiskās fāzes 132 gadu periodā. Iegūtie rezultāti parādīja, ka pēdējo 80 gadu laikā pavasaris ir par 8 dienām agrāks, bet ziemas kļuvušas īsākas. Vasarā un rudenī izmaiņas nav būtiskas. Piekrastes teritorijās izmaiņas ir lielākas, kas skaidrojams ar temperatūras režīmu un ledus segu jūrā (Ahas, 1999).

Fenoloģiskais pavasaris Lietuvā sākas 8–16 dienas agrāk, piemēram, parastās lazdas *Corylus avellana* ziedēšana laika posmā no 1978. līdz 2003. gadam Lietuvā ir mainījusies 16 dienu intervālā, savukārt fenoloģiskās vasaras sākums laika posmā no 1961. līdz 2000. gadam mainījies tikai 1 dienas intervālā (Romanovskaja, 2004).

Gadu no gada Latvijā brīvprātīgo fenologu skaits, kā arī novērojumu vietu skaits variē, un tas aprūtinā fenoloģisko datu interpretāciju un salīdzināšanu. Snēpeles datu rinda, 61 gada periods, ir garākā nepārtraukto novērojumu rinda Latvijā, kur pierakstīti gan augu, gan arī putnu fenoloģiskie novērojumi, tāpēc pētījumā tā pieņemta kā etalonteritorija fenoloģisko tendenču raksturošanai.

**Pētījuma mērķis** ir izvērtēt bioklimatisko parametru mainību un svārstības Snēpelē kā etalonteritorijā, kā arī raksturot faktorus, kas ietekmē fenoloģisko fāžu iestāšanās laiku.

### **Pētījuma teritorijas raksturojums**

Snēpele atrodas Latvijas rietumdaļā, uz robežas starp Rietumkursas augstienes Kurmāles pauguraini un Pieventas līdzenumu, 50–60 m augstumā vjl., 40 km attālumā no Baltijas jūras (Latvijas ģeogrāfijas atlants, 2007), līdz ar to klimatisko parametru raksturu nosaka gan jūras ietekme, gan arī reljefs.

Klimatisko parametru sadalījumu Latvijā galvenokārt ietekmē Baltijas jūras tuvums un reljefs. Latvijas piekrastes zonā visaugstākā vidējā gaisa temperatūra ir janvārī – līdz 3 °C augstāka nekā austrumdaļā. Attālums no jūras iespaido gaisa temperatūras sadalījumu ne tikai janvārī, bet arī citos mēnešos, jo valdošās gaisa masas vairāk ietekmē piekrastes teritorijas, kur salīdzinājumā ar iekšzemes teritorijām ātrāk un agrāk nokūst sniegs, vidējā gaisa temperatūra ir augstāka, gaisa temperatūru amplitūdas ir mazākas, tādējādi fenoloģiskās norises iestājas ātrāk. Parasti visviesākais mēnesis valsts lielākajā daļā ir janvāris, bet pie jūras (arī Snēpelē) – februāris.

Gada vidējais nokrišņu daudzums Snēpelē, pateicoties tās atrašanās vietai tuvu Rietumkursas augstienei, ir liels un sasniedz apmēram 750 mm. Vidējā gaisa temperatūra janvārī, ņemot vērā jūras tuvumu, ir salīdzinoši augsta, -4 līdz -5 °C robežās. Savukārt vidējā gaisa temperatūra jūlija mēnesī ir apmēram +16 °C. Bez sala periods Snēpelē ilgst aptuveni 150 dienas (Latvijas ģeogrāfijas atlants, 2007).

## **Dati un izmantotās metodes**

### **Fenoloģiskie dati**

Pētījumā izmantoti brīvprātīgo novērotāju E. Ķemlera un A. Ķemlera apkopotie augu un gājputnu fenoloģiskie novērojumi pavasara sezonā Kuldīgas novada Snēpeles apkārtnē laika posmā no 1947. līdz 2007. gadam. Apkopota informācija 61 gada periodā par 138 putnu sugām. Datu apstrādē izmantoti reģistrētie pirmie novērošanas datumi, tādēļ rezultāti attēlo tikai pirmo īpatņu parādīšanās gaitu, nevis visa pavasara migrācijas norisi (Auniņš, 1999). Gājputnu atgriešanās izmaiņu raksturošanai analizētas astoņas sugas – 3 tuvās/vidējās distances migranti – lauku cīrulis *Alauda arvensis*, dzērve *Grus grus*, žubīte *Fringilla coelebs* un 5 tālās distances migranti – baltais stārķis *Ciconia ciconia*, bezdelīga *Hirundo rustica*, dzeuze *Cuculus canorus*, lakstīgala *Luscinia luscinia* un vālodze *Oriolus oriolus*.

Tuvās distances jeb laika apstākļu migranti ziemo salīdzinoši tuvu – Rietumeiropā un Dienvidrietumeiropā, kā arī Āfrikas ziemeļu daļā. Otra gājputnu grupa ir tālie jeb instinkta migranti, kas ziemo Centrālāfrikā un Dienvidāfrikā. Putnu sugas izvēlētas pēc vairākiem kritērijiem – viegli atpazīstamas sugas, liels novērojumu skaits analizētajā laika posmā, atšķirīgi atlidošanas laiki pavasarī, atšķirīgi ziemošanas reģioni, kā arī atšķirīgas atgriešanās izmaiņu tendences.

Balstoties uz datu kvalitāti, izvēlētas 4 augu sugu fenoloģiskās fāzes: parastās ievas *Padus racemosa* ziedēšanas sākums, lapu plaukšanas sākums, baltalkšņa *Alnus incana* un lazdas *Corylus avellana* ziedēšanas sākums, kā arī āra bērza *Betula pendula* lapu plaukšanas sākums. Atbilstoši vienotajām Eiropas fenoloģisko novērojumu vadlīnijām (Koch et al., 2006) noteiktās analizējamās augu sugas un fenoloģiskās fāzes ir kodētas BBCH sistēmā, kuru izstrādājis E. Bruns (Meier, 1997), iedalot augu attīstības ciklu 10 etapos/posmos un atzīmējot procentuālo norisi, piemēram, 0 – pumpurošanās, 61 – ziedēšana (10%), 96 – lapu krišanas beigas.

### Klimatiskie dati

Pētījumā analizētie klimatiskie dati par laika posmu no 1947. līdz 2007. gadam (mēneša vidējā, absolūtā maksimālā un minimālā gaisa temperatūra, nokrišņu daudzums, sniega sega, augsnes temperatūra) ņemti no Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra arhīva. Izmantoti dati par sešiem mēnešiem: decembri, janvāri, februāri, martu, aprīli un maiju. Dati tika sadalīti divās grupās: decembris – februāris un marts – maijs. Analizētie parametri iegūti, aprēķinot kopīgo vidējo vērtību visiem trijiem mēnešiem katrā grupā.

Ņemot vērā, ka Snēpeles apkārtnē neatrodas meteoroloģiskā stacija, tika veikta klimatisko datu interpolācija, apvienojot datus no Stendes, Saldus un Pāvilostas meteoroloģiskajām stacijām. Attālums no Snēpeles līdz Pāvilostai ir 48 km, attiecīgi līdz Saldus meteoroloģiskajai stacijai – 40 km, bet līdz Stendes stacijai – 50 km, kas nepārsniedz Pasaules Meteoroloģijas organizācijas (WMO) standartus, tātad datus var izmantot klimatisko tendenču raksturošanai un salīdzināšanai.

Kopsakarību analizē ir izmantoti standartizētie ikmēneša NAO indeksa dati par laiku no decembra līdz maijam (periods 1947.–2007. gads) no NOAA Klimata prognožu centra (*NOAA Climate Prediction Centre*).

### Datu apstrādes un analīzes metodes

Pavasara fenoloģisko fāžu iestāšanās un novērojumu datumi pārveidoti formā – diena no gada sākuma, piemēram, 1. janvāris ir 1. diena no gada sākuma, 10. aprīlis ir 100. diena no gada sākuma u. tml. Tā ir iespējams ātrāk operēt ar datiem.

Datu analīzē ir izmantotas pamata statistiskās datu apstrādes metodes (korelācijas analīze, vienfaktora lineārā regresija u. c.), statistikas pamatlīelumi, kā arī standartnovirze, regresijas taisnes virziena koeficients. Korelācijas analīzes veiktas programmā *SPSS 16.0*.

Lai izvērtētu katras sugas pavasara atgriešanās fenoloģijas dinamiku un maiņības statistisko būtiskumu, izmantots neparametriskais *Mann–Kendell* tests (turpmāk MK-t), kas piemērots datu kopu analīzē, kuras neatbilst normālajam sadalījumam datu kopās ar trūkstošām vērtībām un anomālām variantēm (Libiseller and



Grimvall, 2002), kas raksturīgi fenoloģisko novērojumu datu rindām. Kopsakarība ir statistiski ticama, ja normalizētā testa statistika ir +/- 1,95 ar  $p$  vērtību, kas mazāka par 0,05.

## Rezultāti

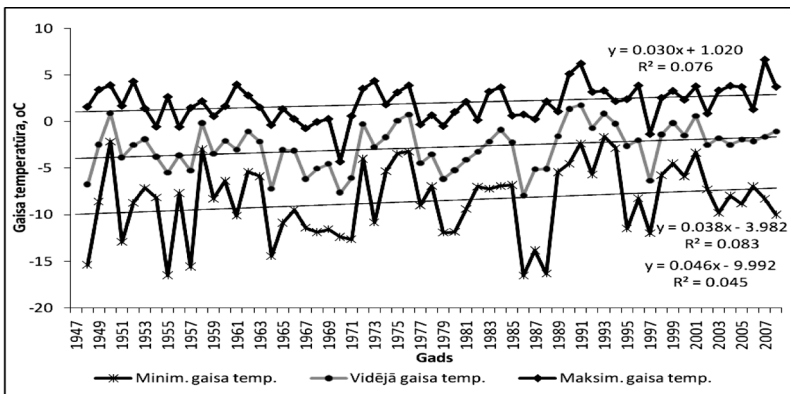
### Klimatiskais raksturojums

Līdzīgi kā daudzviet pasaulē, arī Latvijā ir novērotas dažādu klimatisko parametru izmaiņas, kas norāda uz klimata mainību.

Analizējot klimatiskos datus periodā no 1947. līdz 2007. gadam, konstatēts, ka Snēpelē sniega segas biežums februārī, martā un aprīlī samazinās, savukārt janvārī un decembrī novērota sniega segas palielināšanās (MK-t vērtības < 1,95). Kopš 1988. gada sniega sega svārstās 1–6 cm robežās (izņemot 1996. gadu, kad martā un aprīlī vidējais sniega segas biežums bija divas reizes lielāks nekā citos analizētajos gados) salīdzinājumā ar iepriekšējo periodu (1947–1987), kad tās ikgadējais biežums ik pēc 3–4 gadiem pārsniedza 10–12 cm (3. att.).

Gaisa temperatūrai ir vērojama tendence paaugstināties – visizteiktāk janvārī, februārī un martā, ne tik izteikti – decembrī un maijā. Visas augstākās gaisa temperatūru vērtības (mēneša vidējās vērtības) ir konstatētas pētījumu perioda beigās, sākot no 20. gs. 80. gadu beigām līdz 2007. gadam (1., 2. att.). Analizētajā periodā marta vidējā temperatūra ir būtiski paaugstinājusies (MK-t = 2,63,  $p < 0,01$ ). Mēneša vidējā gaisa temperatūra gada pirmajos trijos mēnešos pieaugusi par 0,5 grādiem desmitgadē.

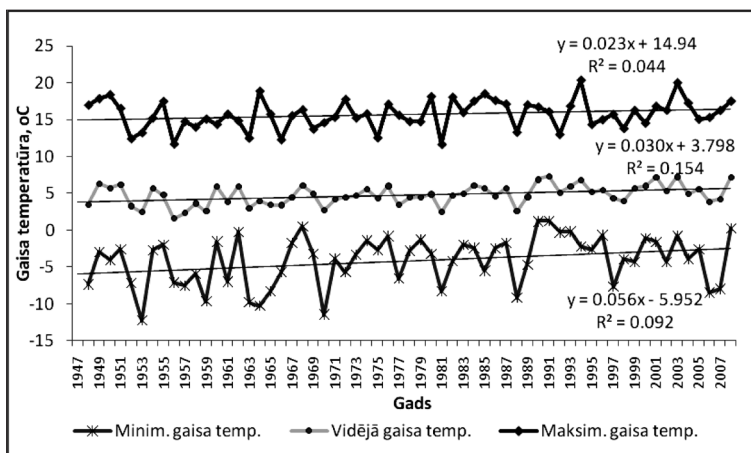
Augsnes vidējā temperatūra aprīlī un maijā absolūtā minimālā/maksimālā augšnes temperatūra ir palielinājusies, pie tam augsnes maksimālā temperatūra aprīlī palielinājusies par 1 °C desmitgadē. Rezultāti liecina, ka mazākās izmaiņas ir decembrī.



1. attēls. Vidējās, absolūtās maksimālās un absolūtās minimālās gaisa temperatūras izmaiņas Snēpelē (1947–2007; decembrī, janvārī, februārī)

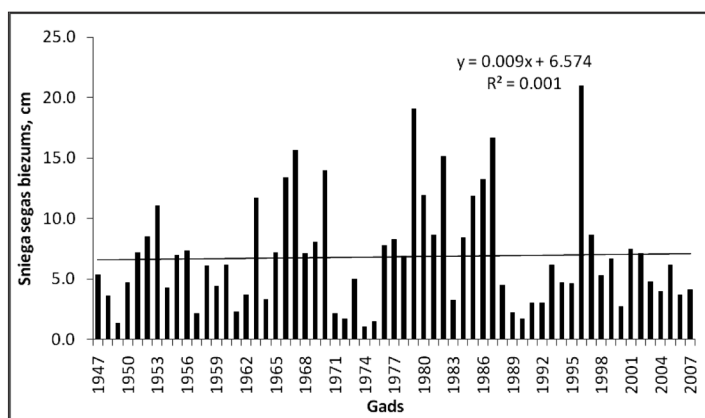
Fig. 1. Changes of average, maximum and minimum air temperature in Snēpele (1947-2007; December, January, February)

Nokrišņu daudzuma vidējo rādītāju ikgadējām izmaiņām ir tendence paaugstināties ziemas sezonā – janvārī, februārī un martā (4. att.) un samazināties pavasara mēnešos – aprīlī un maijā. Visizteiktākā un statistiski ticama nokrišņu daudzuma paaugstināšanās konstatēta februārī (MK-t = 2,92  $p < 0,01$ ) un martā (MK-t = 3,31,  $p < 0,01$ ). Minētajos mēnešos nokrišņu summa pieaugusi par 3,5 mm desmitgadē.



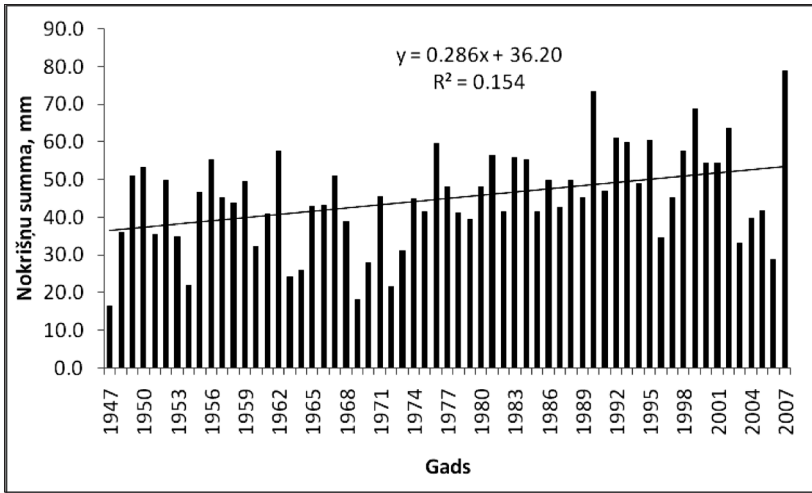
2. attēls. Vidējās, absolūtās maksimālās un absolūtās minimālās gaisa temperatūras izmaiņas Snēpelē (1947–2007; martā, aprīlī, maijā)

Fig. 2. Changes of average, maximum and minimum air temperature in Snēpele (1947-2007; March, April, May)



3. attēls. Vidējais sniega segas daudzums Snēpelē ziemas sezonā (1947–2007; decembrī, janvārī, februārī)

Fig. 3. Average depth of snow cover (cm) in winter season in Snēpele (1947-2007; December, January, February)



4. attēls. Vidējais nokrišņu daudzums Snēpelē ziemas sezonā (1947–2007; decembrī, janvārī, februārī)

Fig. 4. Sum of precipitation amount (mm) in winter season in Snēpelē (1947-2007; December, January, February)

### Fitofenoloģiskais raksturojums

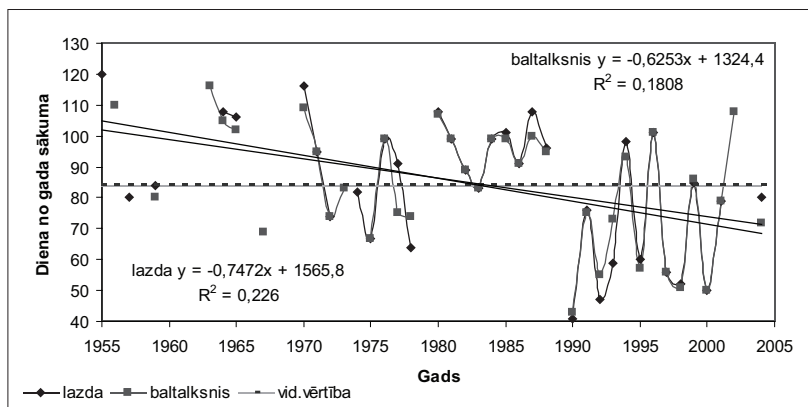
Fenoloģiskā pavasara sākums, ko iezīmē parastās lazdas un baltalkšņa ziedēšanas sākums, Snēpelē vidēji iestājas 23.–24. martā (tab.).

Analizētajā periodā visagrāk lazdas un baltalkšņa ziedēšanas sākums fiksēts 1990. gadā, vidēji 40 dienas agrāk. Lazda 1990. gadā sākusi ziedēt jau 10. februārī, savukārt baltalkšnis 12. februārī, kas sakrīt ar tendencēm Eiropā.

Pie agrajiem gadiem pieskaitāms arī 2000. gads (abas sugas sāka ziedēt jau 19. februārī) un 1998. gads (20. februārī). Jāatzīmē, ka agrās vērtības vairāk fiksētas tieši analizētā perioda pēdējā piecpadsmitgadē. Vēlie gadi ir bijuši 1963., 1955. gads, kad fāze iestājusies mēnesi vēlāk nekā vidēji.

Lazdas un baltalkšņa ziedēšanas sākuma trends ir negatīvs un statistiski ticams (MK-t abām fāzēm = -2,5,  $p < 0,05$ ), t. i., ziedēšana iestājas agrāk. Korelācijas koeficients  $r = -0,43$  (baltalkšnim) un  $-0,48$  (lazdai), ar  $R^2$  vērtību 0,18 un 0,23, kas nozīmē, ka ~ 20% gadījumu sakarība ir cieša, t. i., ziedēšanas fāze iestājas agrāk (5. att.) Snēpelē lazdas ziedēšanas sākums mainījies 10 dienu intervālā ik katrus 10 gadus, savukārt baltalkšņa – 3 dienu intervālā.

Āra bērza lapu plaukšanas sākums iezīmē fenoloģiskā pavasara vidu, kas Snēpelē novērots vidēji 27. aprīlī (tab.). Gadu no gada fāzes iestāšanās laiks variē: visagrāk bērza lapu plaukšana novērota 18. martā, t. i., 40 dienas agrāk nekā vidēji (1990. gadā), savukārt visvēlāk lapas sākušas plaukt tikai 20. maijā, tas ir 22 dienas vēlāk (1958. gadā).

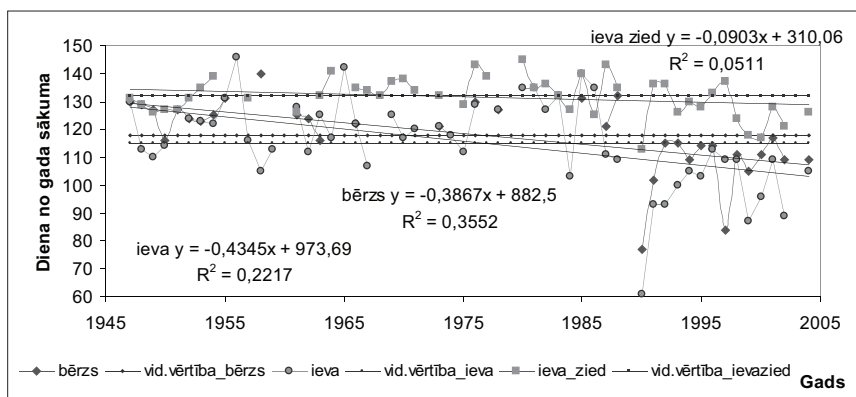


5. attēls. Baltalkšņa *Alnus incana* un parastās lazdas *Corylus avellana* ziedēšanas sākuma (BBCH 61) izmaiņas (1955–2004) Snēpelē

Fig. 5. Changes in the beginning of flowering (day of year) of grey alder *Alnus incana* and hazelnut tree *Corylus avellana* (BBCH 61) (1955–2004.) in Snēpele

Āra bērza lapu plaukšana periodā sākas agrāk, ko pierāda Mann–Kendel testa rezultāti (MK-t = -4,0,  $p < 0,01$ ), savukārt  $r = -0,60$  ar  $R^2$  vērtību 0,36, t. i., 36% gadījumu sakarība ir cieša (6. att.), bērza lapu plaukšana iestājas par 0,28 dienām desmitgadē agrāk. Negatīvās novirzes, t. i., kad fāze iestājas agrāk, fiksētas kopš 1990. gada.

Parastās ievas *Padus racemosa* lapu plaukšanas sākums Snēpelē ir novērots vidēji 25. aprīlī, savukārt ziedēšanas sākums maija otrajā dekādē – 11. maijā (tab.). Lapu plaukšanas sākuma trends ir negatīvs.



6. attēls. Āra bērza *Betula pendula* lapu plaukšanas (BBCH 11) un parastās ievas *Padus racemosa* lapu plaukšanas (BBCH 11) un ziedēšanas (BBCH 61) sākuma ilggedējās izmaiņas Snēpelē

Fig. 6. Long term phenological changes in the beginning of leafing (day of year) of silver birch *Betula pendula* and beginning of leafing (BBCH 11) and beginning of flowering (BBCH 61) of common bird cherry *Padus racemosa* in Snēpele

Līdzīgi kā visas analizētās sugas, arī ieva visagrāk sākusi plaukt un ziedēt 1990. gadā, attiecīgi plaukšana novērota 54 dienas agrāk nekā vidēji, t. i., jau 2. martā, un ziedēšana 18 dienas agrāk, t. i., 23. aprīlī. Vēlie gadi ir bijuši 20. gs. 80. gadi, bet visvēlākā lapu plaukšana fiksēta 1956. gadā – mēnesi vēlāk, t. i., 25. maijā (6. att.). Ievas lapu plaukšanas sākums Snēpelē iestājas vidēji 4,6 dienas agrāk desmitgadē, savukārt ziedēšanas sākums nav būtiski mainījies.

Tabula

**Fenoloģisko fāzu raksturīgākās agrākās un vēlākās iestāšanās vērtības, statistiskie rādītāji**

Table

*Descriptive statistics of phenological phases: average, earlier and latest values, correlation and slope values*

Suga/Species	N	Raksturīgākais datums/ Average values	Agrākā vērtība/ Earliest value	Vēlākā vērtība/ Latest value	MK-t * $p < 0,05$ , ** $p < 0,01$	Korelācijas koeficients (r) * $p < 0,05$ , ** $p < 0,01$	Determinācijas koeficients $R^2$	Taisnes regresijas koeficients (izmaiņas: dienas/desmitgadē) Slope (days per decade)
Lauku cīruļis <i>Alauda arvensis</i>	60	12. marts	13. febr.	06. apr.	-0,85	-0,11	0,01	-0,79
Baltalksnis <i>Alnus incana</i> BBCH 11	37	24. marts	12. febr.	26. apr.	<b>-2,51**</b>	<b>-0,43**</b>	0,18	-4,66
Lazda <i>Corylus avellana</i> BBCH 11	35	24. marts	10. febr.	30. apr.	<b>-2,62**</b>	<b>-0,48**</b>	0,23	-5,68
Dzērve <i>Grus grus</i>	51	28. marts	22. febr.	24. apr.	<b>-5,92**</b>	<b>-0,76**</b>	0,57	-6,16
Žubīte <i>Fringilla coelebs</i>	58	24. marts	08. marts	09. apr.	-0,83	-0,13	0,01	-0,59
Baltais stārķis <i>Ciconia ciconia</i>	57	02. apr.	18. marts	18. apr.	<b>-2,44*</b>	<b>-0,34*</b>	0,12	-1,1
Ieva <i>Padus racemosa</i> BBCH 11	50	25. apr.	02. marts	25. maijs	<b>-3,16**</b>	<b>-0,47**</b>	0,22	-4,34
Bērzs <i>Betula pendula</i> BBCH 11	34	27. apr.	18. marts	20. maijs	<b>-4,10**</b>	<b>-0,60**</b>	0,36	-3,85
Bezdelīga <i>Hirundo rustica</i>	58	29. apr.	18. apr.	09. maijs	-0,32	-0,04	0,00	-0,12
Dzeguze <i>Cuculus canorus</i>	55	30. apr.	20. apr.	07. maijs	<b>-2,11*</b>	<b>-0,26*</b>	0,07	-0,53
Lakstīgala <i>Luscinia luscinia</i>	54	07. maijs	27. apr.	19. maijs	<b>-3,51**</b>	<b>-0,45**</b>	0,20	-1,30
Ieva <i>Padus racemosa</i> BBCH 61	45	11. maijs	23. apr.	24. maijs	-1,11	-0,23	0,05	-0,91
Vālodze <i>Oriolus oriolus</i>	52	16. maijs	05. maijs	30. maijs	<b>2,02*</b>	<b>0,33*</b>	0,11	1,0

BBCH 11 – plaukšanas sākums (*beginning of leafing*);

BBCH 61 – ziedēšanas sākums (*beginning of flowering*)

## Gājputnu atgriešanās raksturs Snēpelē

Putni no ziemošanas vietām Kurzemē parasti sāk atgriezties marta otrajā dekādē. Vispirms atlido tā saucamie laika apstākļu jeb tuvie migranti, kas ierodas reizē ar pirmajiem siltajiem pavasara cikloniem (Ķemlers, 1990). Pirmie putni atlido no Centrālās Eiropas, pēc tam – no Rietumeiropas un Dienvideiropas, visvēlāk – maija vidū – no tropiskās Āfrikas.

Viens no pirmajiem gājputniem – lauku cīrulis – Snēpelē atlido vidēji marta otrajā dekādē (vidējais atlidošanas laiks 12. marts). To atgriešanās gaita gadu no gada ļoti variē, pat vairāk nekā 50 dienu robežās – no 13. februāra 1974. gadā līdz 6. aprīlim 1958. gadā. Pēdējās divās desmitgadēs laikapstākļi agrākai gājputnu atlidošanai bijuši labvēlīgi, tomēr pirmie trīs agrākie novērojumi šai sugai Snēpelē saistās ar 20. gs. 50.–70. gadiem. Kopumā lauku cīruļu atgriešanās gaita laika posmā no 1947. gada līdz 2007. gadam būtiski nav mainījusies (tab.).

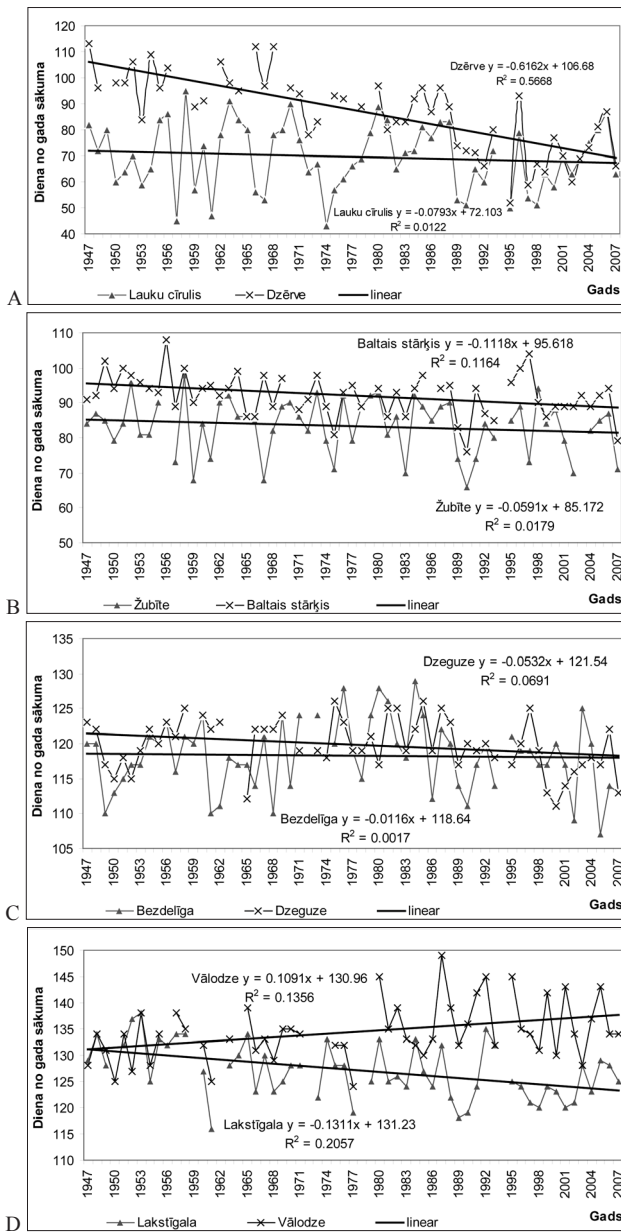
No analizētajām gājputnu sugām visbūtiskākās izmaiņas atgriešanās gaitā novērotas dzērvēm. Datu analīze rāda strauju atgriešanās uzvedības maiņu pavasarī (tab., 7. att. A). Līdz pat 1989. gadam (vairāk nekā 40 gadu periodā) agrākais dzērves novērojums Snēpelē bija 17. marts, bet kopš 1989. gada (20 gadu periods) 14 novērojumu gados dzērves novērotas agrāk par 17. martu. Dzērves atgriežas vidēji par 6 dienām desmitgadē agrāk, un visā analizētajā laika posmā tas ir 37 dienas.

Pie agrajiem jeb tuvajiem migrantiem pieder arī žubītes, kas pēdējās desmitgadēs nelielā skaitā Latvijā novērotas arī ziemas mēnešos. Izteikti vēli atlidošanas gadi žubītēm bijuši 1952., 1958. un 1998. gads, kad tās manītas, tikai sākot ar aprīļa pirmo dekādi, bet visagrāk novērotas 1990. gadā. Kopš 1947. gada žubītes vidējais atlidošanas laiks būtiski nav mainījies.

Salīdzinot gājputnu novērojumu datumus agrajām sugām, redzams noteikts periodiskums. Tā, piemēram, lauku cīruļi atgriežas izteikti agrāk ik pēc 15 gadiem, dzērves vidēji ik pēc 11 gadiem, bet žubītes ik pēc 7 gadiem (7. att. A, B).

Pirmā no piecām pētījumā analizētajām tālo migrantu sugām, kas ierodas, ir baltie stārķi. Baltais stārķis ziemu pavada Āfrikā un Latvijā atgriežas marta beigās, aprīļa pirmajās dienās. Līdzīgi kā žubīte, arī baltais stārķis visagrāk novērots 1990. gadā. Visvēlāk tie novēroti 1956. un 1997. gadā, attiecīgi 18. un 15. aprīlī. Baltie stārķi atgriežas agrāk par 1,1 dienu desmitgadē jeb par 6,7 dienām agrāk analizētajā laika posmā, ko apstiprina MK-t rezultāti ( $MK-t = -2,44, p < 0,05$ ) (tab.).

Bezdelīgas un dzeguzes Latvijā ierodas gandrīz vienlaikus (7. att. C). Bezdelīgām atlidošanas datums ik gadu svārstās 20 dienu robežās – no aprīļa trešās dekādes līdz maija otrajai dekādei. Analizētajā periodā bezdelīgas atgriežas ar noteiktu cikliskumu aptuveni ik pēc 20 gadiem (1949–1968, 1968–1990 un 1990–2007) (7. att. C). Pirmo bezdelīgu ilggadējais vidējais atlidošanas laiks ir 29. aprīlis, kas būtiski nav mainījies pēdējos 60 gados. Dzeguzēm līdzīgi kā bezdelīgām atlidošanas datums gadu no gada mainās 20 dienu intervālā. Izteikti vēlu abas šīs sugas atlidojušas 20. gs. 70.–80. gados. Izteikti agrāk dzeguzes novērotas pēdējā desmitgadē. Snēpelē tās atgriežas par 3,2 dienām agrāk, un rezultāti ir statistiski būtiski (tab.).



7. attēls. Gājputnu atgriešanās ilggadējās izmaiņas Snēpele

A – lauku cīrulis *Alauda arvensis* un dzērve *Grus grus*; B – žūbite *Fringilla coelebs* un baltais stārķis *Ciconia ciconia*; C – bezdelīga *Hirundo rustica* un dzeguze *Cuculus canorus*; D – lakstīgala *Luscinia luscinia* un vālodze *Oriolus oriolus*

Fig. 7. Long term changes in the arrival of birds in Snēpele (day of year)

A – skylark *Alauda arvensis* and common crane *Grus grus*; B – chaffinch *Fringilla coelebs* and white stork *Ciconia ciconia*; C – barn swallow *Hirundo rustica* and cuckoo *Cuculus canorus*; D – thrush nightingale *Luscinia luscinia* and golden oriole *Oriolus oriolus*

No analizētajām sugām lakstīgalas un vālodzes Snēpelē atgriežas visvēlāk. Lakstīgalas no ziemošanas vietām Snēpelē ierodas, sākot ar aprīļa beigām. Lakstīgalas atgriežas vidēji par 1,3 dienām desmitgadē jeb par 8 dienām agrāk pērtītajā laika posmā (MK-t = -3,51,  $p < 0,01$ ). Lakstīgalas izteikti vēlu atlidojušas 20. gs 50. gados, bet izteikti agrāk lakstīgalas novērotas 20. gs. 90. gadu beigās (7. att. D).

Vālodzes Snēpelē atgriežas, sākot no maija sākuma līdz pat maija beigām, bet vidēji ap 16. maiju. Datu analīze liecina, ka vālodzēm, pretēji lakstīgalām, raksturīga tendence atgriezties par 1,0 dienu desmitgadē vēlāk (MK-t = 2,02,  $p < 0,05$ ) (tab., 7. att. D). Snēpelē vālodzes novērojumi gadu no gada ļoti variē, kas ir pretrunā ar šīs sugas novērojumiem kopumā Latvijā (Tīrums, 2006), jo vidēji atgriešanās datumi vālodzēm tāpat kā citām tālo migrantu sugām variē pāris dienu intervālā.

### Fenoloģiskās fāzes ietekmējošie faktori

Fenoloģisko fāžu iestāšanās laiku ietekmē daudzu faktoru kopums, sākot ar lokāla un beidzot ar globāla mēroga faktoriem (Vliet et al., 2003).

Pētījumā analizētas kopsakarības starp fenoloģisko fāžu iestāšanās laiku un mēneša vidējo, absolūto maksimālo un absolūto minimālo gaisa temperatūru, vidējo, maksimālo un minimālo augsnes temperatūru, nokrišņu daudzumu, sniega segu un NAO indeksu.

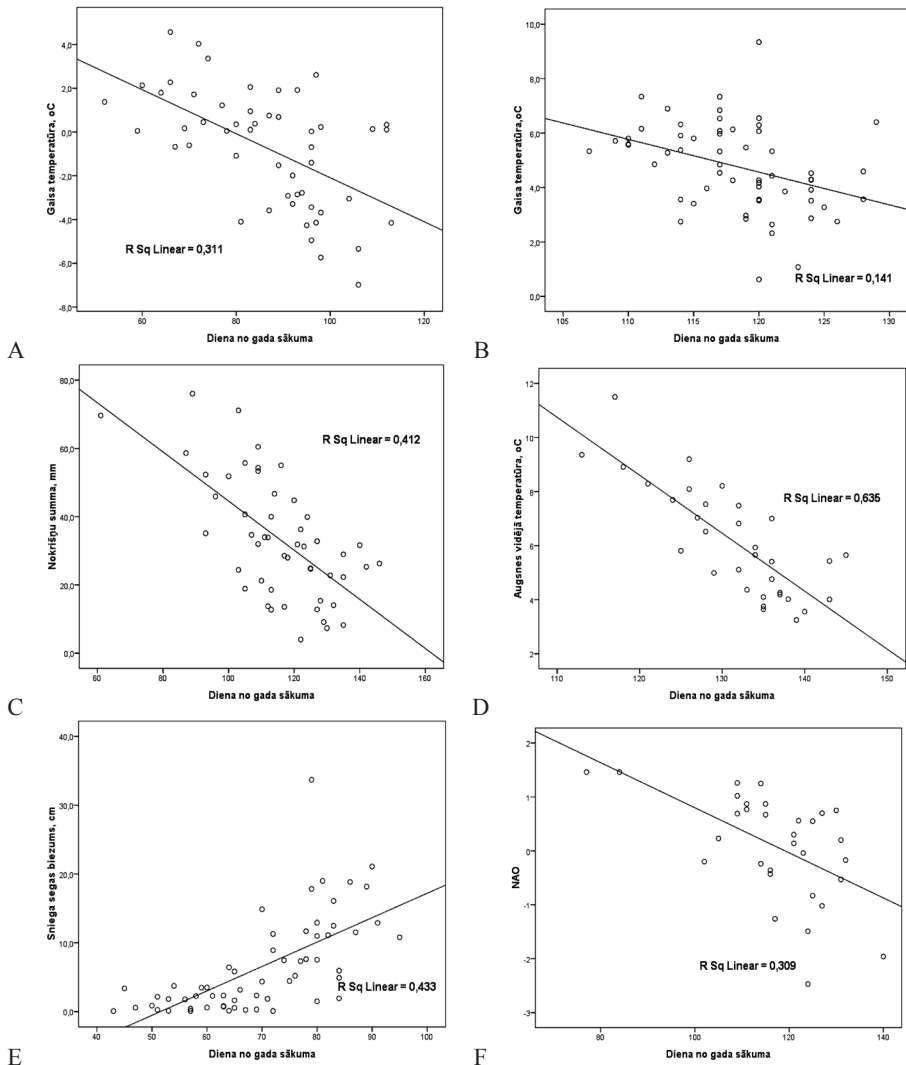
Pētījumos konstatēts, ka augiem visciešākā kopsakarība ir starp fāzes iestāšanos un **gaisa temperatūru** iepriekšējos 3 mēnešos. Ziedēšanai (visas sugas) visciešākā korelācija, t. i., sakarība, ir novērota starp gaisa temperatūru iepriekšējā mēnesī un pašreizējā mēnesī ( $r$  vērtības  $< -0,7$  (pielikums)), tas nozīmē, ka sakarība ir cieša un būtiska. Pie tam korelācijas koeficienta vērtība ir negatīva, tātad jo straujāk pieaug gaisa temperatūra, jo ātrāk iestājas fenoloģiskā fāze, piemēram, ziedēšana.

Visām putnu sugām galvenais pavasara atgriešanās laiku limitējošs faktors ir barības pieejamība (Auniņš, 1999), bet no klimatiskajiem rādītājiem būtiskākais faktors ir gaisa temperatūra. Pētījumā būtiska sakarība atrasta starp tuvo putnu atlidošanu un vidējo gaisa temperatūru februārī un martā. Lauku cīrulim un žubītei visciešākā sakarība atrasta ar vidējo gaisa temperatūru martā, bet dzērvei – februārī. Baltā stārķa pirmais atlidošanas datums visciešāk korelē ar gaisa temperatūru martā, savukārt bezdelīgas un dzeguzes – ar gaisa temperatūru aprīlī. Likumsakarības starp pirmās vālodzes atlidošanu pavasarī un gaisa temperatūru netika atrastas.

**Absolūtās minimālās gaisa temperatūras** vērtības ir nozīmīgas agro sugu (lazdas, baltalkšņa) attīstībai, savukārt fāzēm, kas iestājas aprīlī, maijā, kopsakarības ir vājas. Tas pats attiecas uz mēneša absolūtajām maksimālajām gaisa temperatūrām, korelācija ir cieša agrajām sugām (arī putniem), kā arī ar **absolūto maksimālo gaisa temperatūru** februārī un lapu plaukšanu un dzērves atlidošanu (8. att. A, B).

Sakarība starp **augšnes vidējo temperatūru** iepriekšējā mēnesī visām augu un agrajām putnu sugām ir cieša –  $r < -0,50$ , pie tam vidējā augsnes temperatūra svarīgāka ir ziedēšanas fāzei ( $r < -0,60$ ) (8. att. D). Visciešākā sakarība starp augsnes maksimālo temperatūru ir lazdas un baltalkšņa ziedēšanai (starp februāra maksimālo augsnes temperatūru un ziedēšanu martā  $r < -0,7$ ). No analizētajām gājputnu sugām augsnes temperatūra kā būtisks faktors konstatēts 7 sugām. Vidēji cieša sakarība atrasta starp agrajām gājputnu sugām – lauku cīruli, žubīti un dzērvi (pielikums).





### 8. attēls. Kopsakarības starp fenoloģisko fāzu iestāšanās laiku un klimatiskajiem parametriem

A – dzērves *Grus grus* atlidošana un vidējā gaisa temperatūra martā; B – bezdelīgās *Hirundo rustica* atlidošana un vidējā gaisa temperatūra aprīlī; C – ievas *Padus racemosa* plaukšana un nokrišņu daudzums februārī; D – ievas *Padus racemosa* ziedēšana un vidējā augsnes temperatūra martā; E – lauku cīruļa *Alauda arvensis* atlidošana un sniega segas biežums martā; F – bērza *Betula pendula* plaukšana un NAO martā

Fig. 8. *Interrelationship between phenological phases and climate factors* \

A-arrival of common crane *Grus grus* and average temperature in March; B-arrival of barn swallow *Hirundo rustica* and average air temperature in April; C-beginning of leafing of common bird cherry *Padus racemosa* and amount of precipitation in February; D- beginning of flowering of bird cherry *Padus racemosa* and average soil temperature in March; E- arrival of skylark *Alauda arvensis* and the depth of snow cover in March; F- beginning of leafing of silver birch *Betula pendula* un NAO index in March)

Datu analīze rāda, ka vidējais **sniega segas biezums** (diennakts vidējais sniega daudzums mēnesī) ir svarīgs agrajām augu un putnu sugām. Sakarība starp sniega segas biezumu un fāzes iestāšanās laiku ir būtiska un cieša tikai lazdas un baltalkšņa ziedēšanas gadījumā. Sniega segas biezums pavasarī ir būtisks ietekmējošs faktors lauku cīrulim ( $r = -0,66$ ) un žubītei ( $r = -0,55$ ) (8. att. E). Arī baltajam stārķim, kas ierodas ligzdošanas vietā vidēji marta pēdējā dekādē, sniega segas biezums ir būtisks ietekmējošs faktors.

Pētījumos minēts, ka **nokrišņu daudzums** ir būtisks faktors augu attīstībā (Norgard and Vanman, 2003). Snēpeles datu analīze (8. att. C) rāda, ka nokrišņu daudzums nav būtisks, izņemot februāra datus ( $r > 0,5$  bērza un ievas lapu plaukšanai un lazdas ziedēšanai). Kopsakarības starp nokrišņu daudzumu un putnu atlidošanu atrastas dzērvei un baltajam stārķim. Baltajam stārķim šīs kopsakarības varētu būt saistītas ar migrācijas taktiku – migrējot izmantot silto gaisa masu plūsmas, tātad lidot labos laika apstākļos, bez nokrišņiem.

Būtiskas kopsakarības atrastas starp **NAO indeksu** martā un lazdas un baltalkšņa ziedēšanu, februāra NAO un lapu plaukšanas sākumu, kā arī ievas ziedēšanu un NAO janvārī, kā arī NAO JFM visām fāzēm (8. att. F). Putniem vidēji cieša sakarība atrasta starp vidējo JFM NAO indeksu un tuvo migrantu atlidošanas laiku. Vāja, bet statistiski ticama sakarība atrasta starp NAO indeksu martā un lakstīgalas atlidošanu Snēpelē.

## Diskusija un secinājumi

Pasaulē analizētie fenoloģisko datu un satelītattēlu pētījumi liecina par būtiskām fenoloģisko fāžu iestāšanās laika izmaiņām gan florā, gan faunā, it īpaši pavasarī. Lapu plaukšanas, ziedēšanas sākumsun gājputnu atlidošanas laiks pēdējās desmitgadēs tiek fiksēts agrāk nekā vidēji ilgā laika posmā.

Balstoties uz citu autoru publikācijām (D'Odorico et al., 2002; Menzel 2003; Aasa et al., 2004; Jaagus 2006), veikta kopsakarību analīze starp fenoloģiskajām fāzēm un vidējo gaisa temperatūru un nokrišņu daudzumu trīs iepriekšējos mēnešos. Tāpat veikta korelācija ar absolūtajām maksimālajām un minimālajām mēneša gaisa temperatūrām, sniega daudzumu, augsnes temperatūru (Aasa, 2004), kā arī dotas atsauces uz Menzeli (2006) par NAO indeksu datiem.

Pētījumā tika analizēti 4 augu un 8 putnu sugu fenoloģisko fāžu iestāšanās laiki Snēpelē laika posmā no 1947. līdz 2007. gadam. Tie salīdzināti savstarpēji, kā arī ar klimatiskajiem rādītājiem un NAO indeksu.

No 1947. līdz 2007. gadam pēc interpolēto meteoroloģisko staciju datiem novērotas būtiskas klimatisko parametru izmaiņas, piemēram, gaisa temperatūrai un nokrišņu daudzumam ir vērojama tendence paaugstināties – viziteiktāk janvārī, februārī un martā. Savukārt nokrišņu daudzums pavasara mēnešos – aprīlī un maijā – samazinās. Līdzīga tendence novērojama sniega segas biezumam – ziemas mēnešos (decembrī, janvārī) konstatēta palielināšanās, savukārt februārī, martā un aprīlī – samazināšanās

No 12 pētījumā analizētajām fenoloģiskajām fāzēm 11 fāzes iestājas agrāk. No analizētajām putnu sugām statistiski būtiska tendence no ziemošanas vietām

atgriezies agrāk ir 4 sugām: dzērvei, baltajam stārķim, dzeguzei, lakstīgalai. Savukārt vālodzei vērojama tendence atgriezties vēlāk, tas sakrīt ar pētījumu rezultātiem Igaunijā (Palm et al., 2009), bet rezultāti nesakrīt ar pētījumam Lietuvā. Lietuvā analizētajā laika posmā no 1971. gada līdz 2004. gadam vālodzes atgriežas būtiski agrāk (Zalakevicius et al., 2009).

Latvijas fenoloģisko datu analīze augiem atklāj līdzīgas tendences kā citur Eiropā, proti, fenoloģiskajam pavasarim un vasarai ir tendence sākties agrāk. Pretstatā Eiropā novērotajām tendencēm arī fenoloģiskais rudens Latvijas un Lietuvas teritorijā atsevišķās novērojumu vietās iestājas agrāk, vai arī izmaiņu trends ir neitrāls, t. i., nav mainījies (Kalvāne et al., 2009).

Snēpeles fenoloģisko datu analīze augiem liecina, ka visām sugām fenoloģiskās fāzes iestāšanās laika trends ir negatīvs, t. i., fāze iestājas agrāk nekā ilggadēji novērots, piemēram, parastās lazdas un baltalkšņa ziedēšanas sākums pēdējā piecpadsmitgadē novērots attiecīgi 8. un 11. martā, vairāk nekā 10 dienas agrāk nekā ilggadēji vidēji konstatēts (23.–24. marts). Tāpat kā putniem, arī augiem lielākās fāzu izmaiņas ir novērotas kopš 1989. gada. Pie tam agrajām sugām ir lielākas nobīdes no vidējām vērtībām nekā vēlajām sugām, t. i., fāzu iestāšanās laiki ir mainījušies būtiskāk, kas saskan ar citiem pētījumiem (Linderhom, 2006).

Visagrākās lapu plaukšanas un ievas ziedēšanas sākuma vērtības Snēpelē, tāpat kā visā Latvijā, Lietuvā (Kalvane et al., 2009) un Eiropā (Chmielewski and Rötzer, 2001) novērotas 1990. gadā.

Snēpeles datu kopsakarību analīzes rāda, ka būtiskākie augu attīstību ietekmējošie faktori ir mēneša vidējā gaisa temperatūra iepriekšējā, kā arī pašreizējā mēnesī, absolūtās maksimālās un minimālās gaisa temperatūras.

Agrās augu sugas daudz jūtīgāk reaģē uz gaisa temperatūras izmaiņām nekā vēlās sugas, tā, piemēram, 1990. gada februārī fiksētas visaugstākās gaisa temperatūras visā novērotajā periodā, lazdas un baltalkšņa ziedēšana tika novērota 40 dienas agrāk nekā vidēji. Šajā gadā visagrāk Snēpelē novērotas žubītes un baltie stārķi.

Sniega daudzums ir svarīgs agro sugu fāzēm (lazdai, baltalkšnim). Savukārt nokrišņi Latvijas gadījumā nav limitējošais faktors augu attīstībā, vienīgi cieša sakarība tika konstatēta starp nokrišņu daudzumu februārī un lapu plaukšanu ievām un bērziem, kas, iespējams, saistīts ar sniega akumulāciju (Kalvāne et al., 2009).

Augsnes temperatūras izmaiņas ir būtisks ietekmējošais faktors, visciešākā korelācija tika fiksēta starp vidējo augsnes temperatūru iepriekšējā un pašreizējā mēnesī, visbūtiskāk augsnes temperatūra ietekmē ievas ziedēšanas sākumu.

Gājputniem svarīgs pavasara migrāciju limitējošs faktors ir barības pieejamība, kas savukārt ir atkarīga no gaisa temperatūras un sniega segas daudzuma pavasarī, ko ietekmē liela mēroga atmosfēras cirkulācijas Eiropā, piemēram, Ziemeļatlantijas cirkulācija (NAO).

NAO ir būtisks faktors, kas ietekmē pavasara migrāciju tuvās distances migrantu sugām, tomēr visas sugas savu migrācijas stratēģiju nav izmainījušas vienādi. Piemēram, žubītes un lauku cīruļa vidējais atlidošanas laiks būtiski nav mainījies, bet dzērves atgriešanās tendence ir mainījies straujāk, nekā mainījušies klimatiskie apstākļi ligzdošanas teritorijā, kaut gan rezultāti liecina, ka visām šīm sugām sakarība

ar NAO indeksu ir cieša. Iespējams, tieši NAO ietekmes dēļ dzērves ir mainījušas ziemošanas areālu pēdējo 60 gadu laikā. Informācija par dzērvi ziemošanu liecina, ka šis suga kopš 20. gs. 80. gadiem arvien lielākā skaitā paliek ziemot Francijā un Vācijā. Savukārt pētnieki no Igaunijas (Leito, 2006) agrāku dzērvi ierašanos pavasarī skaidro ar šīs sugas strauju populācijas pieaugumu ligzdošanas areālā. Vairāki zinātnieki gan norāda, ka vienas sugas populācijas lielums un straujš tās pieaugums vai samazinājums būtiski var ietekmēt pirmo gājputnu atlidošanas laiku un ka rezultātu interpretēšana tikai ar klimata mainību var būt nekorekta (Tryjanowski, 2005; Lindin, in press). Viegli nosakāmas sugas ar lielām populācijām, kā dzērvi, ir vieglāk pamanīt nekā retas sugas ar nelielu populācijas lielumu, piemēram, vālodzi.

Ahass (1999) uzsver, ka korelācija starp pirmo gājputnu atgriešanās laiku un NAO indeksu agrā pavasarī ir augsta. Ja ziemās ir pozitīvs NAO indekss, ziemojošie putni ir labākā kondīcijā un ir gatavi agrāk uzsākt migrāciju (Moller, 1994), tie uzturas tuvāk savām ligzdošanas teritorijām nekā gados ar negatīvu NAO indeksu. Pozitīva NAO indeksa gados putni atgriežas agrāk, jo kopumā visas pavasara fenoloģijas fāzes iestājas agrāk, un līdz ar to putniem savās ligzdošanas vietās iespējams atgriezties, izmantojot mazāk atpūtas vietu (Hüppop & Hüppop, 2003). Atmosfēras cirkulācijas ietekme uz tālajiem migrantiem nav tik izteikta, tas skaidrojams ar apstākļiem, ka tālie migranti Snēpelē ierodas aprīļa beigās – maija vidū, kad savukārt NAO darbības ietekme ir būtiski mazinājusies.

Pētījumi (Aasa et al., 2004; Menzel, 2003; Chmielewski and Rötzer, 2001) liecina, ka augu attīstību, kā arī fenoloģiskās anomālijas (fāze novērota izteikti agri vai izteikti vēlu) ietekmē Ziemeļatlantijas cirkulācija. Snēpeles gadījumā sakarība starp NAO un augu fenoloģiskajām fāzēm ir vidēji cieša, cieša sakarība ir starp agrajām fāzēm, kā lazdas un baltalkšņa ziedēšanas sākums, un iepriekšējā vai pašreizējā mēneša NAO indeksu. Ja dominē NAO negatīvā fāze, augu attīstība fiksēta vidēji vēlāk, ja pozitīva – agrāk.

Turpmākajos pētījumos būtu nepieciešams salīdzināt NAO ietekmi uz plašāku sugu sastāvu, kā arī, lai iegūtu precīzākus rezultātus, turpmāk fenoloģiskie parametri būtu jāsalīdzina nevis ar gaisa un augsnes temperatūras mēnešu vidējām vērtībām, bet gan ar meteoroloģiskajiem apstākļiem novērojuma brīdī, kā arī ar aktīvo temperatūru summām.

Fenoloģisko novērojumu dati ir uzskatāmi klimata mainības indikatori, kas pasaulē arvien biežāk tiek izmantoti klimatoloģijas pētījumos. Klimata mainības projekcijās būtu lietderīgi iekļaut arī bioklimatiskos rādītājus, tādējādi daudz detālāk raksturojot iespējamās klimata izmaiņas un to radītās sekas.

## Pateicības

Šis pētījums izstrādāts ar Eiropas Sociāla fonda atbalstu projektos „Atbalsts maģistra studiju programmu īstenošanai Latvijas Universitātē” un „Atbalsts doktoranta studijām Latvijas Universitātē”.





## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Aasa, A., Jaagus, J., Ahas, R., Sepp, M. 2004. The influence of atmospheric circulation on plant phenological phases in central and eastern Europe. *International Journal of Biometeorology*, 24, 1551–1564.
2. Ahas, R., Aasa, A., Menzel, A., Fedotova, V. G., Scheifinger, H. 2002. Changes in European spring phenology. *Int. J. Climatol.*, 22, 1727–1738.
3. Ahas, R. 1999. Long-term phyto-, ornitho- and ichthyophenological time-series analyses in Estonia. *International Journal of Biometeorology*, 42, 119–123.
4. Auniņš, A. 1999. Gājputnu atgriešanās 1993–1998. gadā. *Putni dabā 8.3.*, LOB., Rīga.
5. Beaubien, E. G., Freeland, H. J. 2000. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature. *Int. J. Biometeorol.*, 44, 53–59.
6. Berthold, P. 1993. *Bird Migration. A General Survey*. Oxford. 239 p.
7. Briede, A., Lizuma, L. 2007. Long-term Variability of Precipitation in the Territory of Latvia. In: Kļaviņš, M. (ed.) *Climate Change in Latvia*. Riga, University of Latvia, 35–44.
8. Chmielewski, F. M., Rötzer, T. 2001. Responses of tree phenology to climatic changes across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108, 101–112.
9. Defila, C., Clot, B. 2001. Phytophenological trends in Switzerland. *Int J Biometeorol*, 45, 203–207.
10. Draveniece, A., Briede, A., Rodinova, V., Kļaviņš, M. 2007. Long-term Changes of Snow Cover in Latvia as an Indicator of Climate Variability. In: Kļaviņš, M. (ed.) *Climate Change in Latvia*. Riga, University of Latvia, 73–85.
11. Gordo, O. 2007. Why are bird migration dates shifting? A review of weather and climate effects on avian migratory phenology. *Climate research*, 35, 37–58.
12. Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottersen, G., Visbeck, M. 2003. An overview of the North Atlantic Oscillation. In: *The North Atlantic oscillation: climatic significance and environmental impact* (eds. Hurrell J. W., Kushnir Y., Ottersen G. & Visbeck M.). The American Geophysical Union, Washington DC, pp. 1–35.
13. Huppopp, O., Huppopp, K. 2003. North Atlantic Oscillation and timing of spring migration in birds. *Proceedings of the Royal Society of London Series B Biological Sciences*, 270, 233–240.
14. Jaagus, J. 2006. Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. *Theor Appl Climatol*. 83, 77–88.
15. Kalvāne, G., Romanovskaja, D., Briede, A., Bakšiene, E. 2009. Influence of the climate change to the phenological changes in Latvia and Lithuania. *Climate Research*. 39, 209–219.
16. Ķemlers, E., Ķemlers, A., Pēterhofs, E. 1990. Ornitofenoloģiskie novērojumi Kuldīgas apkārtnē. *Putni dabā 3*. Rīga, Zinātne, 112–125.
17. Leito, A., Keskaik, J., Ojaste, I., Truu, J. 2006. *The Eurasian Crane in Estonia*. Eesti Loodusfoto EMU PKI, Tartu. 184.
18. Libiseller, C., Grimvall, A. 2002. Performance of Partial Mann Kendall Tests for Trend Detection in the Presence of Covariates. *Environmetrics*, 13, 71–84.
19. Linden, A. In press. *Using first arrival dates of infer bird migration phenology*. Boreal Environment Research. ISSN 1797–2469 (online).
20. Linderholm, H. W. 2006. Growing season changes in the last century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 137, 1–14.

21. Lipsbergs, J. 1977. Putnu fenoloģiskā novērošana. *Dabas un Vēstures kalendārs 1978*. Rīga, Zinātne, 69–75.
22. Lizuma, L., Kļaviņš, M., Briede, A., Rodinovs, V. 2007. Long-term Changes of Air Temperature in Latvia. In: Kļaviņš, M. (ed.) *Climate Change in Latvia*. Riga, University of Latvia, 11–20.
23. Meier, U. 1997. (ed.) *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph*. Federal Biologische Research Centre for Agriculture and Forestry. Blackwell Wissenschafts-verlag, Berlin–Wien.
24. Menzel, A. 2000. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *Int. J. Biometeorol.*, 44, 76–81.
25. Menzel, A., Estrella, N., Fabian, P. 2001. Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951 to 1996. *Global Change Biol.*, 7, 657–666.
26. Menzel, A. 2003. Phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. *Climatic Change*, 57, 243–263.
27. Menzel et. Al. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biol.*, 12, 1969–1976.
28. Mihelsons, H. 1958. *Putnu ceļošana*. Latvijas PSR Zinātņu akadēmijas izdevniecība, Rīga.
29. Moller, A. P., Merilä, J. 2004. Analysis and interpretation of long-term studies investigating responses to climate change. *Adv Ecol Res.*, 35, 110–130.
30. Moller, A. P. 1994. Phenotype-dependent arrival time and its consequences in a migratory bird. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 35, 115–122, 458–465.
31. Nørgard, N., Vanman, J. 2003. Phenology and diameter increment in seedlings of European beech (*Fagus sylvatica* L.) as affected by different soil water contents: variation between and within provenances. *Forest Ecology and Management*, 174 (1–3), 233–249.
32. Palm, V., Leito, A., Truu, J., Tomingas, O. 2009. The spring timing of arrival of migratory birds: dependence on climate variables and migration route. *Ornis Fennica*, 86, 97–108.
33. Post, E., Inouye, D. 2008 Phenology: response, driver, and integrator. *Ecology*, 89,(2) 319–320.
34. Romanovskaja, D. 2004. Klimato šilteėjimo įtaka fenologinių sezonų trukmei Lietuvos teritorijoje. Influence of climate warming on duration of phenological seasons on territories of Lithuania. *Žemes ūkio mokslai*, pp. 25–37.
35. Schwartz, M., Reiter, B. 2000 Changes in North American spring. *Int J Biometeorol.*, 929–932.
36. Tīrums, M. 2006. Gājputnu atlidošana 2005. gada pavasarī. *Putni dabā 15.4.*, LOB., Rīga, 20–22.
37. Tryjanowski, P., Kuzinak, S., Sparks, H. T. 2005. What affects the magnitude of change in first arrival dates of migrant birds? *J. Ornithol.*, 146, 200–205.
38. Turlajs, J. (galv. red.) 2007. *Latvijas ģeogrāfijas atlants*. Rīga, Jāņa Sēta.
39. Vliet, A., Groot, R., et al. 2003. The European Phenology Network. *Int J Biometeorol.*, 47, 202–212.

#### NEPUBLIĒTĀ LITERATŪRA

1. Ho, C. H., Lee, E. J., Lee, I., Kim, W. 2005. *Earlier Spring in Seoul, Korea*. Seoul National University. Sk. 01.10.2010. Pieejams: [http://cirrus.snu.ac.kr/paper/HoMS\(new\).pdf](http://cirrus.snu.ac.kr/paper/HoMS(new).pdf)



2. Koch, E. et al. 2006. *Guidelines for plant phenological observations*. Sk. 01.10.2010. Pieejams: [http://topshare.wur.nl/publicfiles/73471\\_1\\_guidelines-ges-fin\\_2.pdf](http://topshare.wur.nl/publicfiles/73471_1_guidelines-ges-fin_2.pdf)
3. NOAA Klimata prognožu centrs [bez datējuma] Sk. 01.10.2010. Pieejams: <http://www.cpc.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>

## Summary

*The analysis of the bioclimatical parameters (leaf unfolding, arrival of migrating birds etc.) is often used in climate studies. Changes and oscillations of the bioclimatic parameters are characterized and factors influencing the beginning of phenological phases are analyzed for Snēpele in Kuldīga County as etalon territory. The spring phenological phases of four plant and eight species of birds as well as climatic data in the period 1947-2007 are studied. Earlier leaf unfolding and flowering in the end of the period is observed, however arrival dates of migrating birds vary from species to species: the Common cranes demonstrate significant trend toward arrival earlier, but Golden orioles are observed later like on average.*

**Keywords:** *climate changes, bioclimatical parameters, phenological spring, Snēpele.*

## Kalcija un magnija izplatības likumsakarības zemā tipa purva kūdrā *The Distribution Regularities of Calcium and Magnesium in Fen Peat Profile*

**Jānis Krūmiņš**

Latvijas Universitāte  
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Raiņa bulvāris 19, Rīga, LV-1586  
E-pasts: [krumins.janis@hotmail.com](mailto:krumins.janis@hotmail.com)

**Elīza Kušķe**

Latvijas Universitāte  
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Raiņa bulvāris 19, Rīga, LV-1586  
E-pasts: [eliza.kuske@gmail.com](mailto:eliza.kuske@gmail.com)

Pētījuma mērķis: raksturot Ca un Mg izplatības likumsakarības līdzīgas ģenēzes minerotrofos purvos un pētīt šo elementu koncentrācijas atšķirības dažāda botāniskā sastāva kūdras nogulumos. Ca un Mg izplatība tika pētīta Viķu un Elku purvā.  $\text{Ca}^{2+}$  un  $\text{Mg}^{2+}$  saturs noteikts, izmantojot atomu absorbcijas spektrometrijas metodi. Kūdrai tika noteikts arī botāniskais sastāvs, sadalīšanās pakāpe, vecums un dabiskais mitrums. Ca saturs Elku purva kūdrā ir 17–41 g/kg, Mg saturs ir 0,5–1,5 g/kg. Viķu purva kūdrā Ca saturs ir 7–34 g/kg un Mg saturs ir 0,7–1,8 g/kg. Izvērtējot iegūtos rezultātus, var secināt, ka viens no galvenajiem priekšnosacījumiem Ca un Mg izplatībai kūdrā var būt karbonātisko nogulumu dēdēšana purva iepaklā.

**Atslēgvārdi:** atomu absorbcijas spektrometrija, Ca, metālisko elementu akumulācija, Mg, zemā tipa purvs.

### Ievads

Kalcijam (Ca) ir ļoti liela nozīme augu šūnu veidošanā, šūnapvalka attīstībā, metabolismā un citos augu attīstības procesos (White and Broadley, 2003). Magnijs (Mg) ir centrālais atoms augu hlorofila molekulā, šim ķīmiskajam elementam ir liela nozīme fotosintēzes procesā (Maguire and Cowan, 2002). Šie sārmezemju metāli kūdrā nokļūst pazemes ūdeņu plūsmas un augu atlieku sadalīšanās rezultātā (Atkinson and Cairns, 2001). Pazemes ūdeņi ar augstu hidroģēnkarbonātu koncentrāciju veicina sārmainas vides veidošanos kūdras profilā, atsevišķos gadījumos pH var sasniegt pat 9 (Welsch et al., 1995; Haesebroeck et al., 1997). Ca un Mg pazemes ūdeņos nokļūst galvenokārt dolomīta ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) dēdēšanas rezultātā. Mg avots var būt arī, piemēram, dažādi silikātu minerāli (piroksēni, amfibolīti, olivīns u. c.), bet Ca avots kalcīta ( $\text{CaCO}_3$ ) vai ģipša ( $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dēdēšanas produkti (Welsch et al., 1995; Maguire et al., 2002).

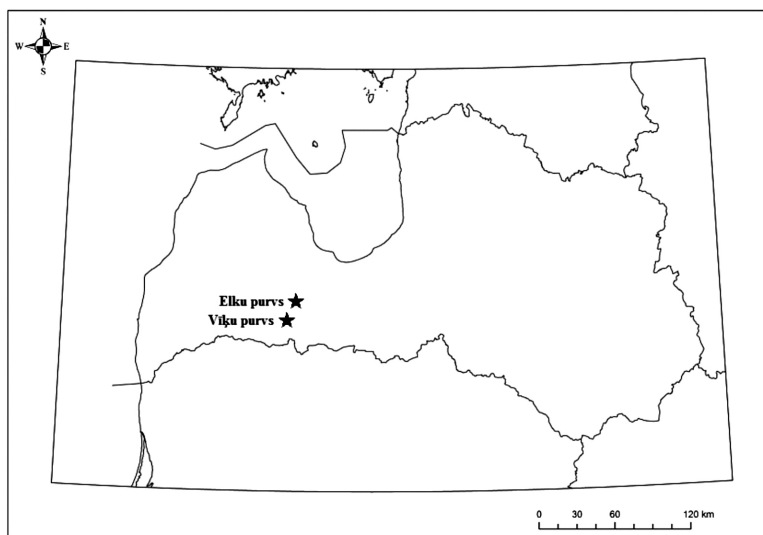
Metālisko ķīmisko elementu, tai skaitā Ca un Mg, akumulācijas raksturs kūdrā tiek plaši pētīts, tomēr galvenā uzmanība pievērsta augsto purvu izpētei, izvērtējot to izmantošanas perspektīvas rūpniecībā un raksturojot purvu attīstības gaitu (Rinquist and Ohorn, 2002; Kalnina et al., 2003; Coggins et al., 2006; Silamiķele et al., 2010). Ca un Mg koncentrācijas noteikšana zemā tipa kūdras profilā ļauj izvērtēt šīs kūdras perspektīvās izmantošanas iespējas, attīstīt inovatīvus tās izmantošanas risinājumus lauksaimniecībā, rūpniecībā, medicīnā u. c. Tā kā Ca un Mg raksturīga zema mobilitāte kūdrā ([http://www.spectrumanalytic.com/doc/library/articles/ca\\_basics](http://www.spectrumanalytic.com/doc/library/articles/ca_basics) un [http://soils.tfrec.wsu.edu/webnutritiongood/TreeFruitStuff/essential\\_elements/04magnesium.htm](http://soils.tfrec.wsu.edu/webnutritiongood/TreeFruitStuff/essential_elements/04magnesium.htm)), tie var kalpot arī par indikatoriem pagātnes vides apstākļu rekonstrukcijai. Ca koncentrācija kūdrā un tās ūdeņos ir arī viens no kritērijiem, ko izmanto purvu ekoloģiskajā klasifikācijā (Kemmers, 1986; Wassen et al., 1996).

Pētījuma mērķis ir raksturot Ca un Mg izplatības likumsakarības līdzīgas ģenēzes minerotrofos purvos un skaidrot šo ķīmisko elementu koncentrācijas atšķirības dažāda botāniskā sastāva kūdras nogulumos.

## Materiāli un metodes

Pētījumu gaitā tika analizēti kūdras nogulumu profili no Vīķu un Elku purva. Pētījuma vietu izvēli noteica relatīvi zemā antropogēnā ietekme uz purviem, līdzīgi purvu veidošanās apstākļi un laiks, kā arī pazemes ūdeņu atslogošanās purvos no karbonātiskajiem pamatiežiem un morēnas – abu purvu ieplakas atrodas augšējā devona karbonātiskajos nogulumos (<http://kartes.geo.lu.lv>).

Vīķu un Elku purvs (1. att.) atrodas Austrumkursas augstienē. Elku purvs atrodas Dobeles novada Zebrenes pagastā un ietilpst dabas liegumā „Zebrus un Svētes ezers”, Vīķu purvs atrodas Auces novada Lielauces pagastā, tas ietilpst dabas liegumā „Vīķu purvs”.



1. attēls. Izpētes teritoriju atrašanās vietas (Stirviņš, 2011)  
Fig. 1. Location of the research area (Stirvins 2011)

Mūsdienās Elku purvs atrodas pārejas purva attīstības stadijā. Kūdras profila augšējo daļu – intervālu no 0,00 līdz 0,25 m veido pārejas tipa koku kūdra. Urbums veikts 56°37'22" Z un 22°59'16" A koordinātēs, urbuma virsmas atzīme – 89 m virs jūras līmeņa, kopējais kūdras profila biezums – 2,00 m, urbuma pamatnē konstatēti sapropeļa nogulumu. Zemkvartāra nogulumus veido augšdevona Žagares svītas smilšainie un kvarcainie dolomīti. Kvartāra segā atsedzas karbonātiska morēna un citi ledāja nogulumu.

Vīķu purvs atrodas zemā purva attīstības stadijā. Pētījuma urbuma ģeogrāfiskās koordinātes ir 56°30'38" Z un 22°54'32" A, urbuma virsmas atzīme – 102 m virs jūras līmeņa. Kūdras profila biezums – 2,50 m, urbuma pamatnē konstatēti sapropeļa nogulumu. Vīķu purva ieplakā un tās apkārtnē zem kvartāra segas atrodas augšdevona Ketleru svītas karbonātiskie māli. Kvartāra segas virsmā atsedzas karbonātiska morēna un citi glaciālie nogulumu (glaciolimniskie māli, aleirīts u. c.).

### Ca un Mg koncentrācijas noteikšanas metodika

Ca un Mg saturs kūdrā noteikts, izmantojot atomu absorbcijas spektrometrijas metodi pēc standarta ISO 7980-1986. Karsējot 50% HNO<sub>3</sub> un 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, maisījumā kūdras paraugi tiek izšķīdināti, un mērījumi tiek veikti liesmas atomizatorā. Ca koncentrācijas mērījumi tiek veikti acetilēna–slāpekļa (I) oksīda liesmā, Mg koncentrācijas mērījumi – acetilēna–gaisa liesmā (Jonca and Lewandowski, 2004).

### Karsēšanas zudumu analīze

Ar karsēšanas zudumu analīzes metodi, kūdras paraugus dedzinot noteiktā temperatūrā un fiksējot svara izmaiņas, tiek noteikts organiskās vielas, karbonātu un minerālo daļiņu daudzums nogulumu paraugā (Heiri et al., 2001).

### Kūdras botāniskā sastāva un sadalīšanās pakāpes noteikšana

Kūdras botāniskais sastāvs tiek noteikts pēc standarta GOST 28245-89, pamatojoties uz kūdras veidojošo augu makroatlieku kvantitatīvo analīzi gaismas mikroskopā. Kūdras botāniskā sastāva noteikšanai tiek analizētas augu atliekas, kas skalotas caur sietu ar acu izmēru 1 mm. Nogulumu parauga piederību konkrētam kūdras apakštipam nosaka noteiktu augu sugu atlieku dominance nogulumu paraugā. Arī kūdras sadalīšanās pakāpe tiek noteikta pēc standarta GOST 28245-89. Tiek izmantota centrifūgas metode, kas pamatojas uz koagulatīvā humusa atdalīšanu no šķiedras, nogulumu paraugus centrifugējot (Diņķīte, personīgas konsultācijas).

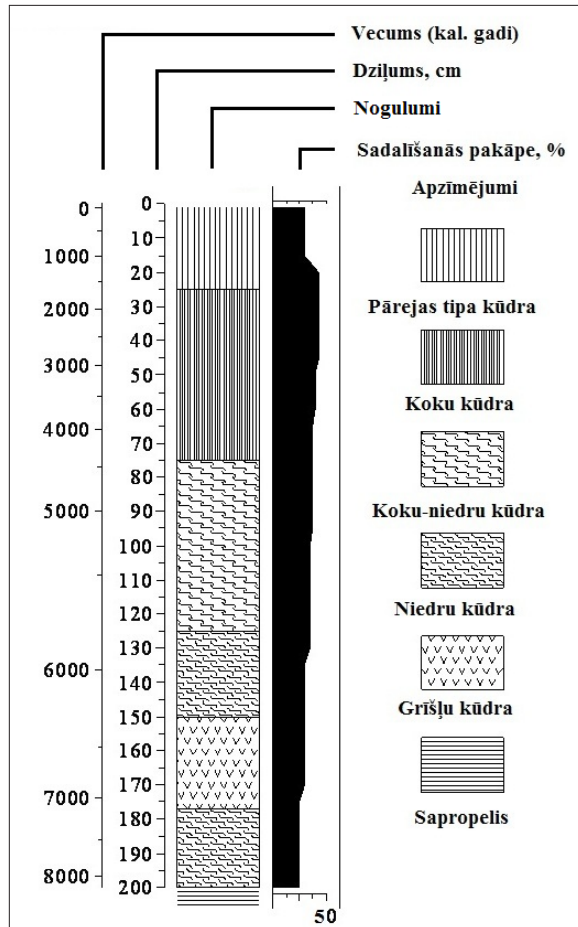
### Kūdras absolūtā vecuma noteikšana

Kūdras slāņu absolūtais vecums noteikts Tallinas Tehnoloģiju universitātē, izmantojot radioaktīvā oglekļa (<sup>14</sup>C) datēšanas metodi. Nogulumu paraugi tiek sadedzināti, un oglekļa dioksīdā tiek noteikta emitēto β daļiņu daudzums. β daļiņas rodas <sup>14</sup>C sabrukšanas gaitā, izotopa sabrukšanas pakāpe norāda kūdras slāņa vecumu (Michczynska et al., 2003). Izmantojot datorprogrammu *R* un tās programmapildinājumu *Clam*, <sup>14</sup>C gadi tiek konvertēti kalendārajos gados (Blaauw, 2010).

## Rezultāti un diskusija

### Elku purvs

Elku purva nogulumu profilā nodalāmi seši kūdras slāņi ar kopējo biezumu 2,00 m (2. att). Kūdras slāņu secīga nomaīņa un biezums liecina par neizteiktām vides apstākļu pārmaiņām. Stratigrāfiskās izmaiņas kūdras sastāvā parasti tiek saistītas ar alogēnajiem un autogēnajiem faktoriem. Alogēnie faktori raksturo izmaiņas klimatā un hidroloģiskajos apstākļos, bet autogēnie – izmaiņas kūdras profilā, piemēram,



2. attēls. Elku purva kūdras profils (Kuške un Krūmiņš, 2011)

Kalendāro gadu (kal. gadi) mērogs pielāgots kūdras griezuma mērogam. <sup>14</sup>C datējumi:  
 Tln3239, no 0,90 līdz 1,00 m,  $4900 \pm 55$  gadi; Tln3240, no 1,50 līdz 1,60 m,  $5150 \pm 55$  gadi;  
 Tln3241, no 1,82 līdz 1,92 m,  $6360 \pm 100$  gadi; Tln3242, no 2,20 līdz 2,30 m,  $9145 \pm 145$  gadi

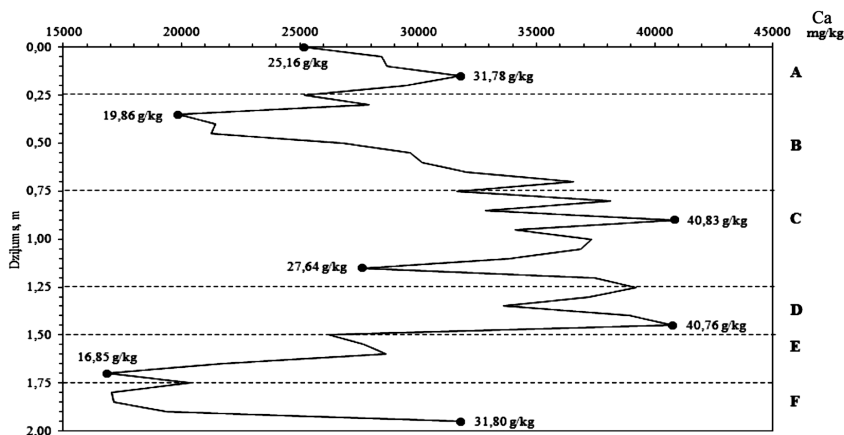
Fig. 2. Peat profile of Elki Mire (Kuske and Krumins 2011)

The scale of calendar years is adjusted to the scale of peat cross-section. <sup>14</sup>C dating points:  
 Tln3239, from 0.90 to 1.00 m,  $4900 \pm 55$  years; Tln3240, from 1.50 to 1.60 m,  $5150 \pm 55$  years;  
 Tln3241, from 1.82 to 1.92 m,  $6360 \pm 100$  years; Tln3242, from 2.20 to 2.30 m,  $9145 \pm 145$  years

kūdras paskābināšanos (Zoltai and Vitt, 1994; van Breemen, 1995; Korhola, 1996). Elku purvs veidojies, pārpurvojoties ūdenstilpei apmēram pirms 8100 gadiem, kad uz smilšaini kaļķaina sapropeļa sākusi uzkrāties zemā tipa niedru kūdra. Niedru kūdrai raksturīga 35% sadalīšanās pakāpe, kas ir augsta (Post, 1924), tomēr tas ir zemākais rādītājs Elku purva kūdras profilā. Ir pierādīts, ka kūdras sadalīšanās process norit galvenokārt tikai virs ūdens līmeņa (Williams and Yavitt, 2003). Palielinoties dziļumam, sadalīšanās ātrums samazinās un piesātinātājā anoksiskajā zonā sadalīšanās process apstājas. Augstākā sadalīšanās pakāpe – 48% – ir raksturīga zemā tipa koku kūdrai (2. att.), likumsakarīgi, ka šajā slānī konstatēts arī minimāls dabiskais mitrums. Kūdras slānis veidojies laika posmā pirms apmēram 4400–1600 kalendārajiem gadiem.

Ca saturs zemā tipa kūdras profilā mainās no 17 līdz 41 g/kg (3. att.). Augstākais Ca saturs ir koku–niedru un niedru kūdrā dziļuma intervālā no 1,50 līdz 0,75 m, karbonātu daudzums šajos kūdras slāņos ir robežās no 4,6 līdz 6,5% (4. att.). Paaugstināta Ca koncentrācija sakrīt ar paaugstinātu niedru atlieku saturu arī citos kūdras slāņos, tomēr šīs sakarības pierādīšanai būtu nepieciešama detaļa niedru atlieku analīze. Viszemākā Ca koncentrācija konstatēta grīšļu kūdras slānī dziļuma intervālā no 1,75 līdz 1,50 m, karbonātu saturs šajā kūdras slānī ir no 3,8 līdz 4,3%.

Mg saturs kūdras profilā mainās no 0,5 līdz 1,5 g/kg (5. att.). Augstākais Mg saturs ir koku kūdrā dziļuma intervālā no 0,25 līdz 0,00 m. Zemākā Mg koncentrācija raksturīga grīšļu kūdrai dziļuma intervālā no 2,00 līdz 1,75 m. Konstatēta Mg koncentrācijas samazināšanās, pieaugot grīšļu atlieku daudzumam arī citos kūdras slāņos.

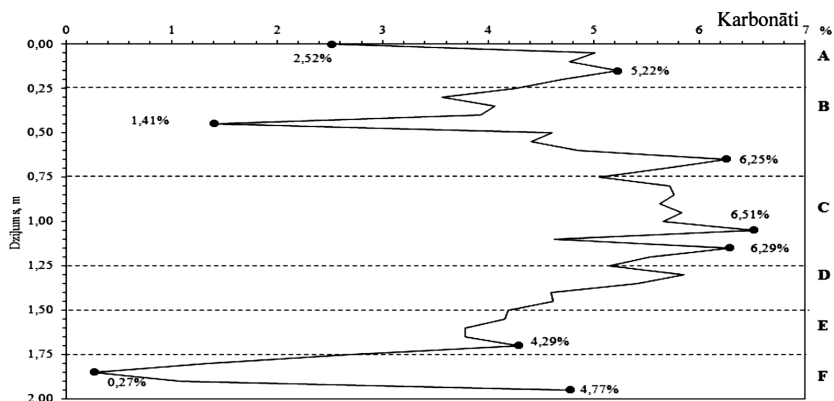


3. attēls. Kalcija akumulācijas raksturs Elku purva kūdras profilā (Krumiņš, 2011)

- A – pārejas tipa koku kūdra; B – zemā tipa koku kūdra; C – zemā tipa koku–niedru kūdra;  
 D – zemā tipa niedru kūdra; E – zemā tipa grīšļu kūdra;  
 F – zemā tipa niedru kūdra ar sapropeļa piemaisījumu

Fig. 3. Character of calcium accumulation in Elki peat profile (Krumins 2011)

- A – transitional wood peat; B – wood fen peat; C – wood-reed fen peat;  
 D – reed fen peat; E – sedge fen peat; F – reed fen peat with gyttja

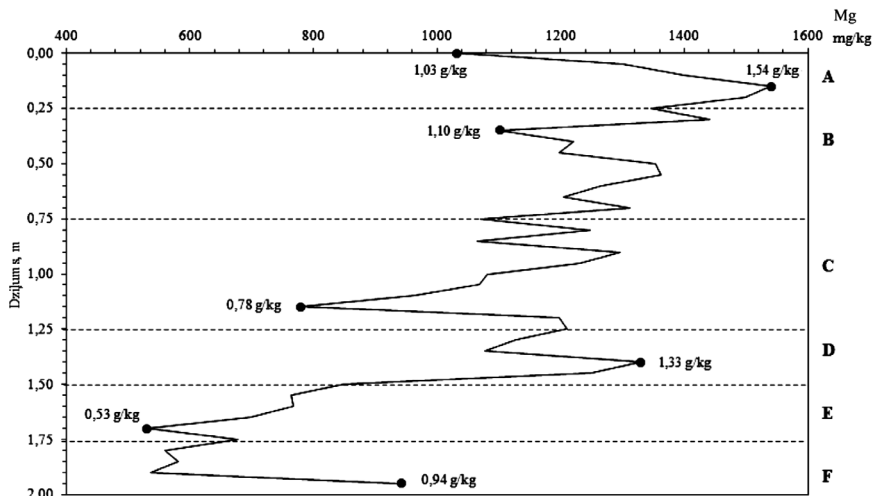


4. attēls. Karbonātisko daļiņu izkliedes raksturs Elku purva kūdras profilā (Krūmiņš, 2011)

A – pārejas tipa koku kūdra; B – zemā tipa koku kūdra; C – zemā tipa koku–niedru kūdra;  
 D – zemā tipa niedru kūdra; E – zemā tipa grīšļu kūdra;  
 F – zemā tipa niedru kūdra ar sapropeļa piemaisījumu

Fig. 4. Scattering of the carbonatic particles in Elki peat profile (Krumins 2011)

A – transitional wood peat; B – wood fen peat; C – wood-reed fen peat;  
 D – reed fen peat; E – sedge fen peat; F – reed fen peat with gyttja



5. attēls. Magnija akumulācijas raksturs Elku purva kūdras profilā (Krūmiņš, 2011)

A – pārejas tipa koku kūdra; B – zemā tipa koku kūdra; C – zemā tipa koku–niedru kūdra;  
 D – zemā tipa niedru kūdra; E – zemā tipa grīšļu kūdra;  
 F – zemā tipa niedru kūdra ar sapropeļa piemaisījumu

Fig. 5. Character of magnesium accumulation in Elki peat profile (Krumins 2011)

A – transitional wood peat; B – wood fen peat; C – wood-reed fen peat;  
 D – reed fen peat; E – sedge fen peat; F – reed fen peat with gyttja

Ca un Mg attiecībai ir ievērojama nozīme augu attīstībā, turklāt katrai sugai ir optimāla šo elementu attiecības vērtība (Salmon, 1964; Jarvan and Teedumae, 1998). Vidējā Ca un Mg daudzuma attiecība Elku purva kūdras profilā ir 30 : 1, un šāda ķīmisko elementu daudzuma attiecība tiek novērota praktiski visos kūdras slāņos, tomēr pārejas tipa koku kūdras slānī šī attiecība sarūk līdz 20 : 1. Izvērtējot šos datus, var secināt, ka zemā purva attīstības gaitā nav bijušas raksturīgas krasas izmaiņas. Pārmaiņas Ca un Mg koncentrācijā izraisījuši galvenokārt tādi autogēnie faktori kā kūdras slāņa biezuma pieaugums un pakāpeniska nodalīšanās no minerālās grunts pamatnes. Ca raksturīga izteikta korelācija ar Mg (1. tabula), Ca un Mg korelācijas koeficients ( $n$ ) vairumā gadījumu ir augstāks par 0,80 daļas vienībām (d. v.). Neizteikta ķīmisko elementu korelācija raksturīga koku kūdrai dziļuma intervālā no 0,75 līdz 0,25 m, kur  $n = 0,45$  d. v. Šī kūdra ir zīmīga arī ar augstāko sadalīšanās pakāpi un organiskās vielas daudzumu nogulumu profilā.

1. tabula

**Ca/Mg korelācijas matrica Elku purva kūdras profilā, nozīmīguma pakāpe  $p > 0,05$**   
*Ca/Mg correlation matrix in Elki peat profile, significance level  $p > 0.05$*

Dziļuma intervāls (m)	Paraugu skaits (n)	Kūdras veids*	Korelācijas koeficients (r)**	Būtiska/nebūtiska korelācija
0,00 līdz 0,25	5	p. t. koku	0,95	būtiska
0,25 līdz 0,75	10	z. t. koku	0,45	nebūtiska
0,75 līdz 1,25	10	z. t. koku–niedru	0,82	būtiska
1,25 līdz 1,50	5	z. t. niedru	0,80	nebūtiska
1,50 līdz 1,75	5	z. t. grīšļu	0,88	būtiska
1,75 līdz 2,00	5	z. t. niedru	0,96	būtiska

\* p. t. – pārejas tipa; z. t. – zemā tipa; \*\* virs 0,70 – ļoti cieša pozitīva korelācija; no 0,40 līdz 0,69 – cieša pozitīva korelācija.

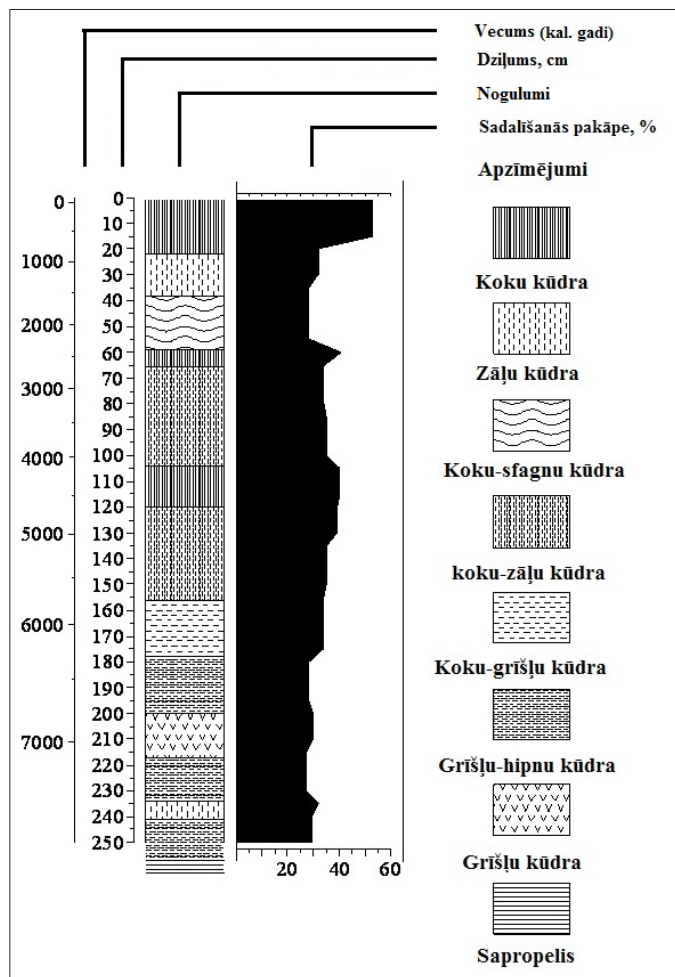
\* p.t. – transitional type; z.t. – fen type; \*\* above 0.70 – very strong positive correlation; from 0.40 to 0.69 – strong positive correlation.

## Vīķu purvs

Vīķu purva nogulumu profilā nodalāmi trīspadsmit kūdras slāņi ar kopējo biezumu 2,50 m (6. att.). Visā nogulumu profilā konstatētas *Sphagnum magellanicum* atliekas, kas liecina par kūdras paskābināšanos un pakāpenisku zemā purva pāreju uz pārejas un augstā tipa purvu (Welsch et al., 1995). Kūdras slāņu botāniskā sastāva regulārās izmaiņas un dažādie biežumi liecina par nevienmērīgu vides apstākļu mainību, kam pamatā ir dažādi alogēnie faktori (Zoltai and Vitt, 1994).

Vīķu purvs veidojies, pārpurvojoties ūdenstilpei apmēram pirms 8100 gadiem, kad uz zaļajūgu sapropeļa sākusi uzkrāties zemā tipa grīšļu–hipnu kūdra. Grīšļu–hipnu kūdrai raksturīga sadalīšanās pakāpe ir 29%, tomēr tas nav zemākais rādītājs kūdras profilā. Grīšļu–hipnu kūdrai dziļuma intervālā no 2,35 līdz 2,15 m sadalīšanās pakāpe ir 27%. Augstākā sadalīšanās pakāpe – 53% – ir raksturīga koku kūdrai dziļuma intervālā no 0,20 līdz 0,00 m (6. att.). Šajā kūdras slānī raksturīga arī pazemināta mitruma pakāpe un augsts minerālo daļiņu saturs (no 12,6 līdz 38,1%).





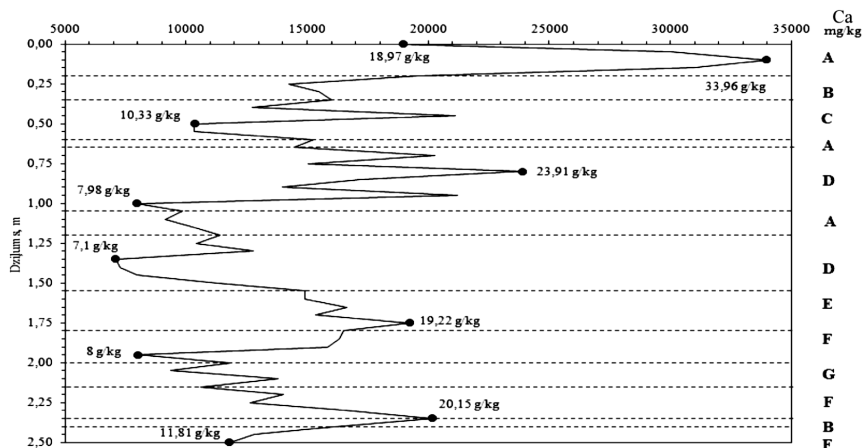
6. attēls. Viķu purva kūdras profils (Kušķe un Krūmiņš, 2011)

Kalendāro gadu (kal. gadi) mērogs pielāgots kūdras griezuma mērogam. <sup>14</sup>C datējumi:  
 Tln3213, no 1,50 līdz 1,60 m, 5065 ± 60 gadi; Tln3216, no 2,70 līdz 2,80 m, 7200 ± 105 gadi;  
 Tln3217, no 4,00 līdz 4,10 m, 9475 ± 170 gadi; Tln3218, no 4,10 līdz 4,20 m, 9460 ± 155 gadi;  
 Tln3219, no 4,40 līdz 4,50 m, 9615 ± 80 gadi

Fig. 6. Peat profile of Viki Mire (Kuske and Krumins 2011)

The scale of calendar years is adjusted to the scale of peat cross-section. <sup>14</sup>C dating points:  
 Tln3213, from 1.50 to 1.60 m, 5065 ± 60 years; Tln3216, from 2.70 to 2.80 m, 7200 ± 105 years;  
 Tln3217, from 4.00 to 4.10 m, 9475 ± 170 years; Tln3218, from 4.10 to 4.20 m, 9460 ± 155 years;  
 Tln3219, from 4.40 to 4.50 m, 9615 ± 80 years

Ca saturs kūdras profilā mainās no 7 līdz 34 g/kg (7. att.). Augstākais Ca saturs ir raksturīgs koku kūdrā dziļuma intervālā no 0,20 līdz 0,00 m, karbonātu daudzums šajā kūdrā ir robežās no 3,3 līdz 6,4% (8. att.). Viszemākā Ca koncentrācija konstatēta koku kūdrā dziļuma intervālā no 1,20 līdz 1,05 m, karbonātu saturs šajā kūdras slānī ir no 2,6 līdz 4,6%.

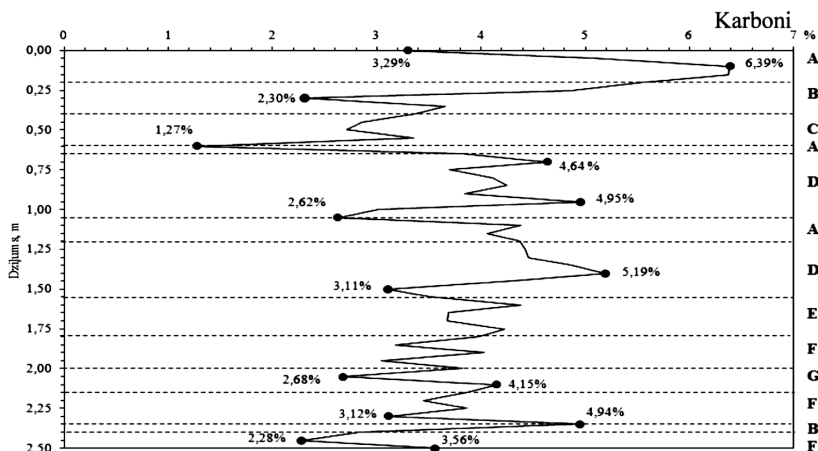


7. attēls. Kalcija akumulācijas raksturs Viķu purva kūdras profilā (Krūmiņš, 2011)

A – zemā tipa koku kūdra; B – zemā tipa zāļu kūdra; C – zemā tipa koku-sfagnu kūdra;  
 D – zemā tipa koku-zāļu kūdra; E – zemā tipa koku-grīšļu kūdra;  
 F – zemā tipa grīšļu-hipnu kūdra; G – zemā tipa grīšļu kūdra

Fig. 7. Character of calcium accumulation in Viki peat profile (Krumins 2011)

A – wood fen peat; B – grass fen peat; C – wood-sphagnum fen peat; D – wood-grass fen peat;  
 E – wood-sedge fen peat; F – sedge-hypnum fen peat; G – sedge fen peat



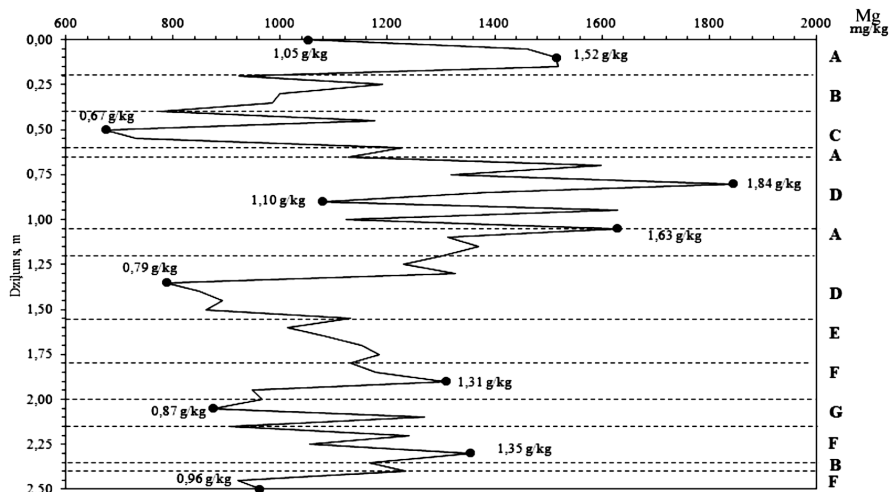
8. attēls. Karbonātisko daļiņu izkliedes raksturs Viķu purva kūdras profilā (Krūmiņš, 2011)

A – zemā tipa koku kūdra; B – zemā tipa zāļu kūdra; C – zemā tipa koku-sfagnu kūdra;  
 D – zemā tipa koku-zāļu kūdra; E – zemā tipa koku-grīšļu kūdra;  
 F – zemā tipa grīšļu-hipnu kūdra; G – zemā tipa grīšļu kūdra

Fig. 8. Scattering of the carbonatic particles in Viki peat profile (Krumins 2011)

A – wood fen peat; B – grass fen peat; C – wood-sphagnum fen peat; D – wood-grass fen peat;  
 E – wood-sedge fen peat; F – sedge-hypnum fen peat; G – sedge fen peat

Mg saturs kūdras profilā mainās no 0,7 līdz 1,8 g/kg (9. att.). Augstākais Mg saturs ir raksturīgs koku kūdrai dziļuma intervālā no 0,20 līdz 0,00 m. Zemākā Mg koncentrācija raksturīga koku-sfagnu kūdrai dziļuma intervālā no 0,60 līdz 0,35 m.



9. attēls. Magnija akumulācijas raksturs Viķu purva kūdras profilā (Krūmiņš, 2011)

A – zemā tipa koku kūdra; B – zemā tipa zāļu kūdra; C – zemā tipa koku-sfagnu kūdra;

D – zemā tipa koku-zāļu kūdra; E – zemā tipa koku-grīšļu kūdra;

F – zemā tipa grīšļu-hipnu kūdra; G – zemā tipa grīšļu kūdra

Fig. 9. Character of magnesium accumulation in Viki peat profile (Krumins 2011)

A – wood fen peat; B – grass fen peat; C – wood-sphagnum fen peat; D – wood-grass fen peat;

E – wood-sedge fen peat; F – sedge-hypnum fen peat; G – sedge fen peat

Ca un Mg attiecība Viķu purva kūdras profilā svārstās robežās no 7 : 1 līdz 20 : 1. Zemākā attiecība konstatēta koku kūdrā dziļuma intervālā no 1,20 līdz 1,05 m. Augstākā attiecība konstatēta koku kūdrā dziļuma intervālā no 0,20 līdz 0,00 m. Izvērtējot šos datus, var secināt, ka zemā purva attīstības gaitā bijušas raksturīgas krasas un regulāras izmaiņas. Pārmaiņas Ca un Mg koncentrācijā nozīmīgi ietekmējuši alogēnie faktori, tādi kā, piemēram, pazemes ūdeņu līmeņa svārstības un to ķīmiskā sastāva izmaiņas. Pazemes ūdeņu līmeņa svārstību un to ķīmiskā sastāva izmaiņu rezultātā mainījies barības vielu pieejamība augiem, tāpēc regulāri mainījies purva veģetācijas raksturs. Ca raksturīga iztekta korelācija ar Mg (2. tabula), Ca un Mg korelācijas koeficients ( $n$ ) vairumā gadījumu ir augstāks par 0,75 d. v. Zāļu kūdrā dziļuma intervālā no 0,35 līdz 0,20 m Ca un Mg korelācija ir negatīva,  $n = -0,86$  d. v. Zema Ca un Mg korelācija raksturīga arī koku kūdrai dziļuma intervālā no 1,20 līdz 1,05, kur  $n = 0,33$  d. v., un koku-grīšļu kūdrai dziļuma intervālā no 1,80 līdz 1,55 m, kur  $n = 0,57$  d. v.

2. tabula

**Ca/Mg korelācijas matrica Viķu purva kūdras profilā, nozīmīguma pakāpe  $p > 0,05$**   
**Ca/Mg correlation matrix in Viki peat profile, significance level  $p > 0.05$**

Dziļuma intervāls (m)	Paraugu skaits (n)	Kūdras veids*	Korelācijas koeficients (r)**	Būtiska/nebūtiska korelācija
0,00 līdz 0,20	4	z. t. koku	0,98	būtiska
0,20 līdz 0,35	3	z. t. zāļu	n. n.	n. n.
0,35 līdz 0,60	5	z. t. koku–sfagnu	0,99	būtiska
0,60 līdz 0,65	1	z. t. koku	n. n.	n. n.
0,65 līdz 1,05	8	z. t. koku–zāļu	0,91	būtiska
1,05 līdz 1,20	3	z. t. koku	n. n.	n. n.
1,20 līdz 1,55	7	z. t. koku–zāļu	0,78	būtiska
1,55 līdz 1,80	5	z. t. koku–grīšļu	0,57	nebūtiska
1,80 līdz 2,00	4	z. t. grīšļu–hipnu	0,93	nebūtiska
2,00 līdz 2,15	3	z. t. grīšļu	n. n.	n. n.
2,15 līdz 2,35	4	z. t. grīšļu–hipnu	0,98	būtiska
2,35 līdz 2,40	1	z. t. zāļu	n. n.	n. n.
2,40 līdz 2,55	3	z. t. grīšļu–hipnu	n. n.	n. n.

\* z. t. – zemā tipa; \*\* virs 0,70 – ļoti cieša pozitīva korelācija; no 0,40 līdz 0,69 – cieša pozitīva korelācija; no 0,30 līdz 0,39 – vidēja pozitīva korelācija; virs -0,70 – ļoti cieša negatīva korelācija; n. n. – nav nosakāms.

\* z.t. – fen type; \*\* above 0.70 – very strong positive correlation; from 0.40 to 0.69 – strong positive correlation; 0.30 to 0.39 – average strong correlation; above -0.70 – very strong negative correlation; n.n. – not detectable.

## Diskusija

Abās izpētes teritorijās raksturīgas atšķirīgas Ca un Mg izplatības un koncentrācijas vērtības. Elku purva kūdrā vērojams augstāks Ca saturs, savukārt Viķu purva kūdrā – augstāks Mg saturs. Raksturīgas ir arī atšķirības šo ķīmisko elementu attiecībās: Elku purva kūdras slāņos šī attiecība ir 30 : 1 (Ca : Mg) un ir praktiski nemainīga visā zemā tipa kūdras profilā, taču Viķu purva kūdrā Ca un Mg attiecība ir ļoti svārstīgs lielums un mainās no 7 : 1 līdz 20 : 1. Izvērtējot šos datus un ņemot vērā atšķirīgo kūdras botānisko sastāvu purvos, var secināt, ka relatīvi tuvu esošās teritorijās (aptuvenais attālums starp purviem ir 10 km) iespējami krasi atšķirīgi vides apstākļi un to izmaiņas.

Abās izpētes teritorijās Ca izteikti korelē ar karbonātu saturu kūdrā, tomēr, kā liecina iepriekšēji pētījumi (Syrovetnik et al., 2007), Ca satur arī organika. Elku purva kūdras profila vienkāršā uzbūve un Ca un Mg attiecības stabilitāte norāda, ka izmaiņas šo elementu koncentrācijā izraisījuši galvenokārt autogēnie faktori. Viķu

purva kūdras profila komplicētā uzbūve norāda, ka izmaiņas Ca un Mg koncentrācijā nozīmīgi ietekmējuši arī alogēnie faktori.

Morēnas nogulumi, kas ir visplašāk sastopamais kvartāra nogulumu ģenētiskais tips Latvijā, satur kalcija karbonātu (<http://latvijas.daba.lv/ainava>), karbonātus morēnā satur, piemēram, kaļķakmens rupjatlūzu materiāls (atlūzas ar diametru virs 2 mm). Veicot kvartārģeoloģisko karšu analīzi (<http://kartes.geo.lu.lv>), noskaidrots, ka morēnas nogulumi raksturīgi arī Austrumkursas augstienes teritorijā, šeit atrodas Viduslatvijas ledāja nogulumu litoreģions (Danilāns, 1973). Morēnas dēdēšanas produkti ar gruntsūdens plūsmu var tik nogādāti purva ieplakā un kalpot par vienu no galvenajiem Ca un Mg avotiem kūdrā. Purva augšajam atmirstot, šie ķīmiskie elementi kūdrā tiek akumulēti atkārtoti (Atkinson and Cairns, 2001).

Elku purva pamatnē zem kvartāra segas atrodas augšējā devona Žagares svītas smilšainie un kvarcainie dolomīti, kas arī ir viens no Ca un Mg avotiem kūdras profilā. Vīķu purva pamatnē zem kvartāra segas atrodas augšējā devona Ketleru svītas karbonātiskie māli, kas var kalpot par Ca un Mg avotu šajā purvā.

Izvērtējot iegūtos rezultātus un ņemot vērā šo ķīmisko elementu zemo mobilitāti, var secināt, ka vieni no galvenajiem priekšnosacījumiem Ca un Mg izplatībai kūdrā ir botāniskais sastāvs un slāņa novietojums kūdras profilā. Ca un Mg sakarība ar veģetācijas raksturu ir pētīta jau agrāk (Hayati and Proctor, 1990; Adamson et al., 2001), un noskaidrots, ka tos vieno cieša korelācija. Šajā pētījumā atklāta sakarība starp Ca satura izmaiņām un niedru atlieku izplatību kūdrā.

## Secinājumi

Izvērtējot iegūtos rezultātus, var secināt, ka Elku purva zemā tipa kūdrā Ca un Mg izplatību pamatā noteikuši autogēnie faktori, bet Vīķu purva zemā tipa kūdrā šo pašu elementu izplatību būtiski ietekmējuši arī alogēnie faktori. Ņemot vērā izpētes teritoriju pamatiežu un kvartāra nogulumu raksturu, kā arī pamatiežu un mūsdienu reljefa virsmas kritumu, ir pamats uzskatīt, ka galvenie Ca un Mg avoti ir purvu ieplakās esošie karbonātiskie nogulumi – Elku purvā tā ir morēna un augšējā devona dolomīti, bet Vīķu purvā – morēna un augšējā devona māli, kā arī substrāts, kas veidojies augu un to daļu sadalīšanās rezultātā.

## Pateicības

Autori izsaka pateicību Dr. E. Kaupam no Tallinas Tehnoloģiju universitātes par kūdras vecuma noteikšanu, izmantojot  $^{14}\text{C}$  datēšanas analīzi, A. Diņķītei no SIA „Balt-Ost Geo” par kūdras botāniskā sastāva un sadalīšanās pakāpes analīzēm un K. Viliguram par kūdras elementsastāva noteikšanu, izmantojot atomu absorbcijas spektrometrijas analīzi. Šis darbs izstrādāts ar valsts pētījumu programmas „Kūdra un sapropelis kā augstvērtīgas izejvielas jaunām tehnoloģijām un produktiem ar augstu pievienoto vērtību” apakšprojekta Nr. 4.5. „Kūdras īpašību un modifikācijas iespēju izpēte izmantošanas risinājumu izstrādei” atbalstu un Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts doktora studijām Latvijas Universitātē”.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Adamson, J. K., Scott, W. A., Rowland, A. P., Beard, G. R. 2001. Ionic concentrations in a blanket peat bog in northern England and correlations with deposition and climate variables. *European Journal of Soil Science*, 52, 69–79.
2. Atkinson, R. B., Cairns, J. 2001. Plant decomposition and litter accumulation in depressional wetlands: functional performance of two wetland age classes that were created via excavation. *Wetlands*, 21(3), 354–362.
3. Blaauw, M. 2010. Methods and code for ‘classical’ age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology*, 5(5), 512–518.
4. Breemen, N. 1995. How Sphagnum bogs down other plants. *Trends in Ecology and Evolution*, 10, 270–275.
5. Coggins, A. M., Jennings, S. G., Ebinghaus, R. 2006. Metal removal from wastewater using peat. *Water Research*, 34, 3907–3916.
6. Haesebroeck, V., Boeye, D., Verhagen, B., Verheyen, R. F. 1997. Experimental investigation of drough inducet acidification in a rich fen soil. *Biogeochemistry*, 37, 15–32.
7. Hayati, A. A., Proctor, M. C. F. 1990. Plant distribution in relation to mineral nutrient availability and uptake on a wet heath site in south-west England. *Journal of Ecology*, 78, 134–151.
8. Heiri, O., Lotter, A. F., Lemcke, G. 2011. Loss on ignition as method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproductibility and comparability of results. *Journal of Palaeolimnology*, 25, 101–110.
9. Jarvan, M., Teeduae, A. 1998. The effect of finely ground estonian limestone and dolomite on the growth and chemical composition of greenhouse vegetables grown on peat substratum. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Biology and Ecology*, 48(3), 236–245.
10. Jonca, Z., Lewandowski, W. 2004. Verification of Measurement Capabilities of Flame Atomic Spectrometry for Determination of Sodium, Potassium, Magnesium, and Calcium in Natural Fresh Water. Part I. Comparison of Recommended Methods. *Polish Journal of Environmental Studies*, 13(3), 275–280.
11. Kalnina, L., Nikodemus, O., Silamikele, I., Platniece, D. 2003. Influences of hydrological change on peat humification, microfossil stratigraphy and chemistry in mires of Kemer National Park. In: *Ecological Processes in Northern Peatlands*, 64–70.
12. Kemmers, R. H. 1986. Calcium as hydrochemical characteristic for ecological states. *Ekologia (CSSR)*, 5, 271–282.
13. Korhola, A. 1996. Initiation of a sloping mire complex in southwestern Finland: Autogenic versus allogenic controls. *Ecoscience*, 3, 261–272.
14. Maguire, M. E., Cowan, J. A. 2002. Magnesium chemistry and biochemistry. *Biometals*, 15(3), 203–210.
15. Malmer, N., Sjors, H. 1955. Some determinations of elementary constituents in mire plants and peat. *Botaniska Notiser*, 108, 46–80.
16. Malmer, N. 1962. Studies on mire vegetation in the Archaean era of southwestern Gotaland (South Sweden). Vegetation and habitat conditions on the Akhult mire. *Opera Botanica*, 7, 1–322.
17. Michczynska, D. J., Michczynski, A., Pazdur, A., Zurek, S. 2003. <sup>14</sup>C dates of peat for reconstruction of environmental changes in the past. *Geochronometria*, 22, 47–54.

18. Post, L. 1924. Das Genetische System der Organogenen Bildungen Schwedens. *Committee Soil Science*, 22, 287–304.
19. Rinquist, I., Ohorn, I. 2002. Copper and zinc adsorption onto poorly humified sphagnum and carex peat. *Water Research*, 36, 2233–2242.
20. Salmon, R. C. 1964. Cation exchange reactions. *Journal of Soil Science*, 15(2), 273–283.
21. Silamiķele, I., Nikodemus, O., Kalniņa, L., Kušķe, E., Rodinovs, V., Purmalis, O., Kļaviņš, M. 2010. Major and trace element accumulation in peat from bogs in Latvia. In: *Mires and Peat*, 96–112.
22. Sjors, H. 1950. Regional studies in North Swedish mire vegetation. *Botaniska Notiser*, 173–222.
23. Syrovetnik, K., Malmstrom, M. E., Neretnieks, I. 2007. Accumulation of heavy metals in the Oostriku peat bog, Estonia: Determination of binding processes by means of sequential leaching. *Environmental Pollution*, 147, 291–300.
24. Wassen, M. J., Diggelen, R. van, Wolejko, L., Verhoeven, T. A. 1996. A comparison of fens in natural and artificial landscapes. *Vegetatio*, 126, 5–26.
25. Welsch, D. J., Smart, D. L., Boyer, J. N., Minkin, P., Smith, H. C., McCandless, T. L. 1995. *Forested wetlands. Functions, benefits and use of best management practices*. Edition of USDA, USFS, NRCS, USACE, USEPA and USDIFWS cooperation, 12–23.
26. White, P. J., Broadley, M. R. 2003. Calcium in plants. *Annals of Botany*, 92, 487–511.
27. Williams, C. J., Yavitt, J. B. 2003. Botanical composition of peat and degree of peat decomposition in three temperate peatlands. *Ecoscience*, 10(1), 85–95.
28. Witting, M. 1949. Kalciumhalten i nagra nordsvenska myrvatten. *Svensk Botanisk Tidskrift*, 43, 715–739.
29. Zoltai, S. C., Vitt, D. H. 1994. Holocene climatic change and the distribution of peatlands in western interior Canada. *Quaternary Research*, 33, 231–240.
30. Даниланс, И. 1973. Четвертичные отложения Латвии. Зинатне, Рига. 312 с.

## Summary

*The aim of the research was to characterize the distribution pattern of Ca and Mg in minerotrophic mires of similar genesis and to explore divergences in their concentrations in the peat of different botanical composition. The distribution pattern was studied in Viki and Elki Mire. The content of Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> was determined by atomic absorption spectrometry. The botanical composition, decomposition degree, age and moisture were also determined. The content of Ca and Mg in Elki Mire is from 17 to 41 g/kg and from 0.5 to 1.5 g/kg. In the Viki Mire it is from 7 to 34 g/kg and from 0.7 to 1.8 g/kg. Evaluating the results, it can be concluded that one of the main preconditions for Ca and Mg distribution is weathering of carbonate sediments in the mire depression.*

**Keywords:** accumulation of the metallic elements, atomic absorption spectrometry, Ca, fen, Mg.

**Devona Gaujas un Sietiņu svītas smilšakmeņu cements  
Gaujas ielejā un tās apkārtnē posmā Valmiera–Cēsis**  
*Cement of Sandstones of the Devonian Gauja and Sietiņi  
Formations in the Gauja River Valley and Its Vicinity from  
Valmiera to Cēsis*

**Inga Piese**

Latvijas Universitāte  
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Alberta iela 10, Rīga, LV-1010  
E-pasts: [inga.piese@gmail.com](mailto:inga.piese@gmail.com)

**Ģirts Stinkulis**

Latvijas Universitāte  
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Alberta iela 10, Rīga, LV-1010  
E-pasts: [girts.stinkulis@lu.lv](mailto:girts.stinkulis@lu.lv)

**Agnese Stunda-Zujeva**

Rīgas Tehniskā universitāte  
Materiālzinātņu un lietišķās ķīmijas fakultāte  
Āzenes iela 14/24, Rīga, LV-1048

Pētījumā raksturots devona Gaujas un Sietiņu svītu smilšakmeņu cementa sastāvs un izplatības likumsakarības. Veikta 4 atsegumu dokumentācija, granulometriskā analīze 20 smilšakmeņu paraugiem, pētīti 19 plānslīpējumi un veikta mālainā materiāla rentgendifraktometriskā analīze (20 neteksturētiem un 4 tekstūrētiem paraugiem). Noskaidrots, ka Gaujas svītas smilšakmeņos dominē dzelzs savienojumu cements, Sietiņu svītā – laukšpata reģenerācijas cements, svītu pārejas zonā visizplatītākā ir laukšpata reģenerācija, bet nelielā daudzumā ir dzelzs savienojumi. Māla cements sastāv no kaolinīta, ilīta un hlorīta.

**Atslēgvārdi:** pēcsedimentācijas izmaiņas, dzelzs savienojumi, laukšpata reģenerācijas cements, māls, plānslīpējumi.

## **Ievads**

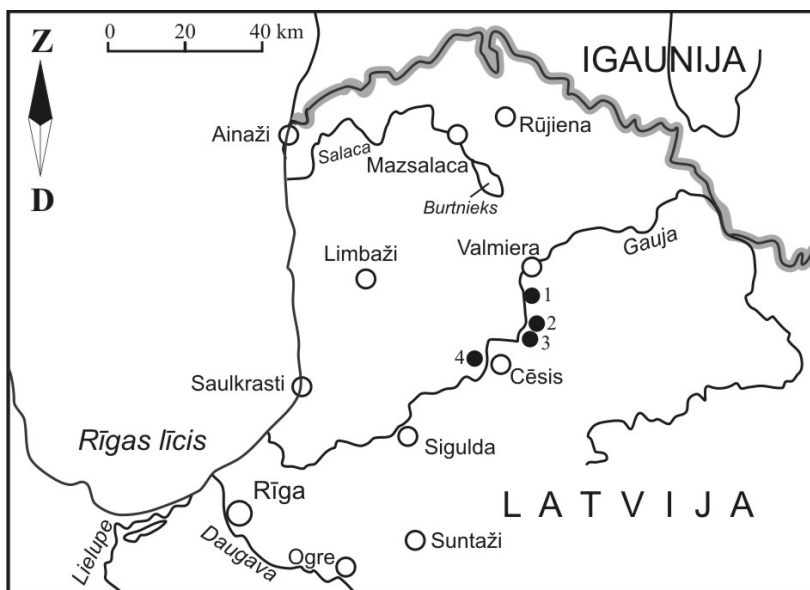
Devona klastisko nogulumu slāņkopa Latvijā ir plaši raksturota sedimentoloģiskos un paleontoloģiskos pētījumos, taču par šo nogulumu pēcsedimentācijas izmaiņām līdz šim iegūts maz datu, izņemot V. Kurša monogrāfijas (Kuršs, 1975; 1992) un J. Klimoviča 2009.–2010. g. veiktos Kurzemes devona smilšakmeņu pēcsedimentācijas izmaiņu pētījumus, par kuriem aizstāvēts maģistra darbs Latvijas Universitātē. Ir veikta detalizēta devona Gaujas reģionālā stāva klastisko nogulumu



fāciju analīze un veidošanās apstākļu interpretācija (Pontén and Plink-Björklund, 2007), taču nav diskutēts par nogulumu izmaiņām vēlākos procesos.

Šī pētījuma mērķis ir noskaidrot devona Gaujas un Sietiņu svītu cementa sastāvu un izplatības likumsakarības. Pētījuma reģions ietver Gaujas upes ieleju un tās apkārtni posmā no Cēsīm līdz Valmierai.

Abas šīs svītas Latvijā ir plaši pārstāvētas atsegumos, bez tam Sietiņu svītas kvarca smiltsiežiem ir praktiskā nozīme kā potenciālai stikla ražošanas izejvielai. Šīs svītas atšķiras pēc smilšakmeņu minerālā sastāva un tekstūrām, iepriekšējie pētījumi (Kuršs, 1975) liecina arī par atšķirīgām pēcsedimentācijas procesu izpausmēm. Pētījuma īstenošanai tika izvēlēti četri atsegumi (1. att.), kas raksturo Gaujas svītu (Raiskuma klintis), Sietiņu svītu (Bāles atradnes I iecirknis) un pārejas zonu starp šīm svītām (Grīviņu iezis un Līču–Laņģu klintis). Raksta autore Inga Piese veikusi šo pētījumu maģistra darba ietvaros Latvijas Universitātē.



1. attēls. Bāles atradnes I iecirkņa (1), Grīviņu ieža (2), Līču–Laņģu klinšu (3) un Raiskuma klinšu (4) novietojuma kartoshēma

Fig. 1. Location of the Bāle deposit, district I (1), Grīviņi cliff (2), Līči–Laņģi cliff (3) and Raiskums cliff (4) in schematic map

## Materiāli un metodes

Pētījuma lauka darbi tika veikti 2011. gadā no janvāra līdz oktobrim. Dokumentēti 4 atsegumi, noņemti 20 netraucētas un 20 traucētas struktūras paraugi. Veikta granulometriskā analīze 20 smilts paraugiem, un pētīti 19 plānslīpējumi. Cementa sastāva noskaidrošanai veikta rentgendifraktometriskā analīze 20 neteksturētiem un 4 tekstūrētiem paraugiem, kas smiltsiežos pārstāv frakciju < 0,05 mm. Šī frakcija

caur sietu noskalota no smilts paraugiem pirms analīzes veikšanas. Neteksturētie mālainā materiāla paraugi rentgendifraktometriskajai analīzei tika sagatavoti, tos izžāvējot un saberžot, pēc tam tika veikta analīze. Teksturētie paraugi tika sagatavoti, mālaino materiālu vispirms suspendējot un tad izgulsnējot uz paraugstikliņa. Papildus tam teksturētie paraugi tika karsēti 550 °C temperatūrā, lai atšķirtu kaolīnītu (tas sabrūk šādā temperatūrā) un hlorītu (tas saglabājas). Tika izmantota arī apstrāde ar etilēnglikolu – mālainais materiāls vispirms tika suspendēts etilēnglikolā un tad izžāvēts istabas temperatūrā. Šo metodi izmanto, lai identificētu smekfīta un jauktslāņu māla minerālus, kuru kristālrežģis etilēnglikola iedarbībā uzbriest.

Kvantitatīvo analīzi neteksturēto paraugu difraktogrammām veica Dr. ģeol. Ilze Vircava, izmantojot datorprogrammu *SiroQuant*, kas balstīta uz Rietvelda un puskvantitatīvo (hkl refleksu) metodi. Pēc šīs analīzes datiem tika sastādīts grafiks, kas atspoguļo aptuveno kaolīnīta, ilīta un hlorīta proporciju māla minerālos (7. att.).

Rentgendifraktometriskā analīze veikta RTU Materiālzinātņu un lietišķās ķīmijas fakultātē, bet granulometriskā analīze un plānslīpējumu izgatavošana – LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes Iežu pētījumu laboratorijā.

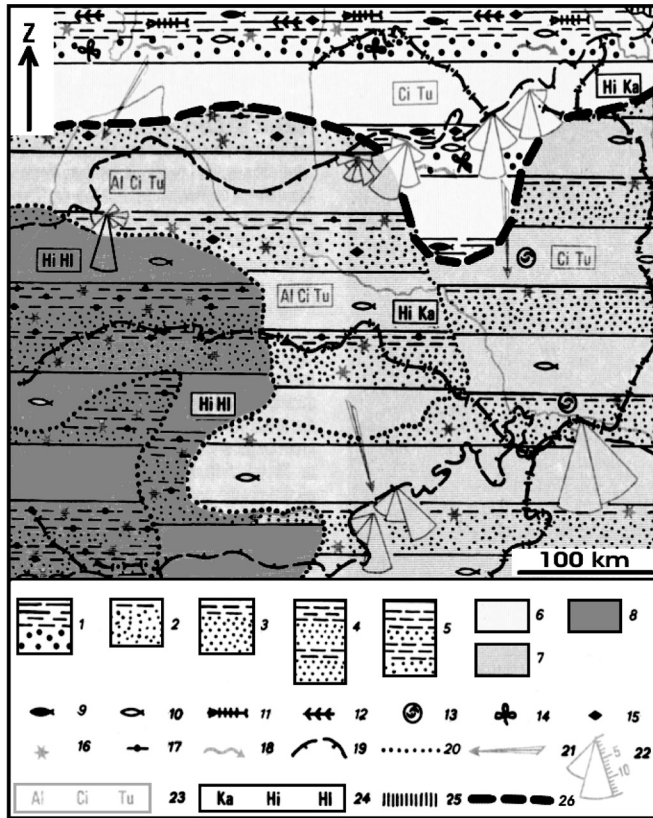
## Literatūras apskats

### Pētīto stratigrāfisko vienību raksturojums

Pēc pašreiz spēkā esošās stratigrāfiskās shēmas, Latvijā Gaujas un Amatas reģionālie stāvi atbilst Franās stāva apakšējai daļai. Pēdējās desmitgadēs veiktie paleontoloģiskie pētījumi rosina pieskaitīt Gaujas reģionālo stāvu Živetas stāvam (piemēram, Esin et al., 2000), taču mazāk skaidra ir Amatas reģionālā stāva pozīcija. Gaujas reģionālais stāvs ir izplatīts visā Latvijā, izņemot Z un DA malu. Tā nogulumu kopējais biežums ir 59–119 m. Šim reģionālajam stāvam Latvijas lielākajā daļā atbilst svīta ar analogisku nosaukumu. Vienīgi uz ziemeļaustrumiem no Cēsīm to pārstāv divas svītas – Sietiņu svīta (apakšdaļā) pēc vecuma aptuveni sakrīt ar Gaujas svītas apakšējo smilšaino daļu, bet Lodes svīta (augšdaļā) aptuveni sakrīt ar Gaujas svītas augšējo mālaino slāņkopu (Kurshs, 1992).

Gaujas svīta pārsedz vidusdevona Burtnieku svītas iežu izskaloto virsmu. Svītu veido sedimentācijas cikls, kura pamatnē ir konglomerāti ar aleirolīta un māla saveltņiem, kvarca oļiem, fosfātu konkrēcijām un zivju kauliem. Svītas apakšdaļā un vidusdaļā ir sārti un rūsgani smilšakmeņi, bet augšdaļā sarkani aleirolīti un māli. Svītas nogulumi ir veidojušies seklā jūrā no materiāla, ko upes ir pārnesušas galvenokārt no Eiramerikas kontinenta centrālās daļas uz iekšzemes jūrām (2. att.) (Kurshs, 1992).

Sietiņu svīta sastāv no gaišpelēkiem smilšakmeņiem, kuri, visticamāk, veidojušies deltu zonā (Kurshs, 1992; Pontén and Plink-Björklund, 2007). Svīta satur arī atsevišķus plānus raibu aleirolītu starpslāņus. No pagulošajiem vidusdevona nogulumiem Sietiņu svītas nogulumi atšķiras ar minerālu asociāciju lielāku briedumu. Svītā dominē pret ķīmisko dēdēšanu ļoti noturīgie minerāli – kvarcs, cirkons, turmalīns un staurolīts (Kurshs, 1975). Sastopami arī pārkrasoti Prototaxites (Hueber, 2001) ieslēgumi.



2. attēls. Gaujas reģionālā stāva izplatības un facižu kartoshēma (sast. V. Kuršs; autoru papildinājumi)

Apzīmējumi: 1 – deltas nogāzes smiltis, māli un aleirīti; 2–5 – jūras smilšu un aleirītu slāņmija, kas griezumā atbilst apzīmējumos norādītajai proporcijai un secībai; 6 – deltas nogulumi (Sietiņu svīta); 7 – seklas piekrastes nogulumi; 8 – relatīvi dziļākas jūras nogulumi; 9 – veseli zivju skeleti; 10 – zivju skeletu fragmenti; 11 – vēžveidīgo atliekas; 12 – pārkratomas Prototaxites atliekas; 13 – jūras bezmugurkaulnieki krama konkrēcijās; 14 – pārrogļotas un pārdzelzotas augu makroatliekas; 15 – fosfātu konkrēcijas; 16 – nogulumi sarkanā krāsā; 17 – karbonātu bumbuļi un šūnaini veidojumi; 18 – noslīdeņi; 19 – Gaujas svītas nogulumu izplatības robeža mūsu dienās; 20 – litofāciju zonu robežas; 21 – sanešu straumju virziens; 22 – smilšakmeņu slāņīšu krituma virzienu azimutu diagramma (mērogs norāda mērījumu skaitu); 23 – smilšakmeņu galvenie aksesorie minerāli (Al – almandīns, Ci – cirkons, Tu – turmalīns); 24 – māla minerāli (I – illīts, Ka – kaolinīts, HI – hlorīti); 25 – nogulumi izskaloiti; 26 – Gaujas un Sietiņu svītas robeža

Fig. 2. Schematic map of distribution and facies of the Gauja Regional Stage (compiled by V. Kurshs; supplemented by authors)

Legend: 1, delta slope sand, clay and silt; 2-5, marine sand and silt alternation that in section matches with the sequence and proportions shown in legend; 6, delta deposits (Sietiņi formation); 7, shallow sea coastal zone deposits; 8, relatively deeper sea deposits; 9, complete fish skeletons; 10, fish skeleton fragments; 11, remains of crustaceans; 12, silicified remains of Prototaxites; 13, marine invertebrate fossils in the chert concretions; 14, charred and iron-enriched plant macroremains; 15, phosphate concretions; 16, red coloured deposits; 17, carbonate nodules and cellular formations; 18, slumps; 19, boundary of the Gauja Formation; 20, boundaries of lithofacies zones; 21, clastics supply directions; 22, cross-strata dip azimuths in sandstone (scale shows the number of measurements); 23, main accessory minerals in sandstone (Al – almandine; Ci – zircon; Tu – tourmalin); 24, clay minerals (I – illite; Ka – kaolinite; HI – chlorite); 25, deposits are eroded.; 26, boundary between the Gauja and the Sietiņi Fm

## Baltijas devona paleobaseina klastisko nogulumu minerālais sastāvs

Agrajā, vidējā devonā un vēlā devona sākumā Baltijas paleobaseinā no Fenoskandijas ieplūda liels daudzums drupu materiāla. Paleogeogrāfiskās rekonstrukcijas (Scotese, 2003) liecina, ka tagadējā Fenoskandijas ziemeļaustrumu daļa devona periodā atradās pie ekvatora, kur dominēja humīds klimats, bet Baltijas paleobaseins aptuveni 10–20° dienvidu platuma – kopumā arīda klimata apstākļos. Skandināvijas Kaledonīdi silūra beigās un devona sākumā aktīvi attīstījās un vienlaikus tika denudēti, bet Fenoskandijas austrumu daļā tektoniskā aktivitāte, domājams, ir bijusi maza (Kurshs, 1975). Vienlaikus ar minētajām klimata īpatnībām tas noteica devona paleobaseinā ienestā drupu materiāla sastāvu. Baseina rietumu un centrālajā daļā no tektoniski aktīvajiem Kaledonīdiem ieplūda pret dēdēšanu vidēji noturīgs drupu materiāls – smilts frakcijā kopā ar kvarcu bija diezgan daudz laukšpata un vizlas, bet starp smagajiem, caurspīdīgajiem minerāliem aptuveni puse bija granātu un apaģīta (Kurshs, 1992). Baseina ziemeļaustrumos straumes acīmredzot ienesa drupu materiālu no Fenoskandijas austrumu daļas dēdējumgarozām, tādēļ smilšainajās nogulās vieglajā frakcijā izteikti dominē kvarcs, bet smagajā frakcijā – pret dēdēšanu ļoti noturīgie minerāli cirkons un turmalīns (Kurshs, 1992). Devona baseina mālainajos nogulumos pārskaloto dēdējumgarozas produktu klātbūtne iezīmējas kā kaolinīta satura pieaugums uz austrumiem. Šis minerālā sastāva faciālās atšķirības detalizēti aprakstījis un kā noneses apgabala atšķirību rezultātu pamatojis V. Kuršs (Kurshs, 1992). Viņš atzīmēja arī, ka tās ir izteiktas tikai dažās devona griezuma daļās, pie tam sevišķi spilgti izpaužas Gaujas reģionālajā stāvā. Dzelzs oksīdi un hidroksīdi, kas nosaka devona klastisko nogulumu, t. sk. Gaujas svītas smilšakmeņu, sarkanās un dzeltenās krāsas, tika ienesti no noneses apgabala tikai paleobaseina rietumu un centrālajā daļā. Senā baseina austrumos dzelzs savienojumi nenonāca, un tur arī smilšakmeņi (piemēram, Sietiņu svītas) ir gaišpelēki un pat balti (Kurshs, 1992).

## Smilšakmeņu raksturīgākās pēcsedimentācijas izmaiņas

Smilšakmeņu un to cementa sastāvu būtiski ietekmē salīdzinoši vēlinie iegrimšanas diaģenēzes (*burial diagenesis*) procesi (Tucker, 2001; Wolela, 2010), taču daži autori (El-ghali et al., 2009; Kordi et al., 2011) atzīmē arī būtiskas smilšakmeņu izmaiņas zema ūdens līmeņa laikposmos sedimentācijas baseina attīstības laikā, kas pēc būtības atbilst diaģenēzes stadijai pazemes ūdeņu piesātinājuma zonā (*meteoric phreatic diagenesis*). Pirmā no šīm izmaiņu stadijām atbilst Latvijas nogulumiežu iepriekšējos pētījumos (piemēram, Kurshs, 1975) minētajai kataģenēzei, bet izmaiņas pazemes ūdeņu piesātinājuma zonā ir pieskaitāmas regresīvajai kataģenēzei vai hiperģenēzes dziļākajai ietekmes zonai (pēc Vassoevich, 1983).

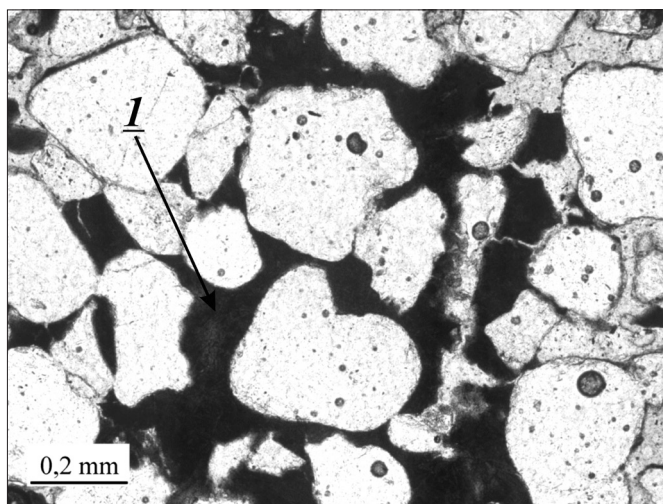
Pēcsedimentācijas procesus regulē smilšainā materiāla sākotnējā izgulsnēšanās vide, klimats, šo nogulumu sastāvs un struktūra. Vēlāk smiltsiežus ietekmē poru fluīdu migrācija, to iegrimšanas (aprakšanas) vēsture un citi faktori, kas nosaka iegrimšanas diaģenēzes izmaiņu intensitāti un virzību. Raksturīgākie iegrimšanas diaģenēzes procesi ir drupu materiāla noblīvēšanās un šķīšana spiediena ietekmē, krama un kalcīta cementācija, māla minerālu veidošanās, autigēnā laukšpata veidošanās, kā arī dzelzs oksīda plēvītes veidošanās (Tucker, 2001).

## Pētījumu rezultāti

Pētījumi ļāva raksturot Gaujas un Sietiņu svītas, kā arī šo svītu pārejas zonas smilšakmeņu cementa veidus un to izplatību pētītajos atsegumos. Iepriekšējo pētījumu (Kurshs, 1975; Kurshs, 1992) rezultāti liecina, ka Gaujas un Sietiņu svītas smiltsiežu minerālais sastāvs un cementācijas veidi mainās pakāpeniski, bez krasām robežām, tādējādi šī pētījuma rezultāti, domājams, ir attiecināmi arī uz plašāku reģionu Cēsu un Valmieras apkārtnē.

### Smilšakmeņu cementa veidi un to atšķirības pētītajās litostratigrāfiskajās vienībās

Gaujas svītas spilgti sarkanajos smilšakmeņos, kuros dominē muldveida slīpslāņotā tekstūra, pēc apjoma visvairāk ir dzelzs savienojumu cementa, kas piešķir tiem spilgti sarkano krāsu (3. att.). Daudz mazākā apjomā ir sastopamas laukšpata reģenerācijas apmales, un ļoti reti atrodams autigēnais laukšpats. Nelielā daudzumā ir izplatīts māla cements, kas sastāv galvenokārt no ilīta, ļoti nelielā daudzumā arī no kaolinīta un hlorīta, kā liecina rentgendifraktometriskās analīzes rezultāti.



3. attēls. Plānslīpējuma mikrofotogrāfija: dzelzs oksīdu un hidroksīdu cementa sakopojums (1)

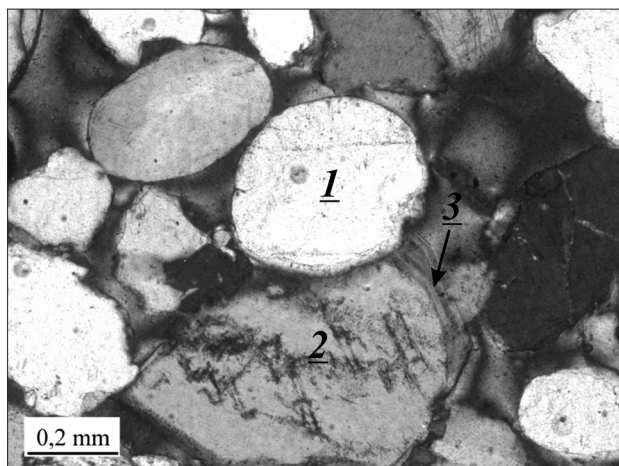
Gaujas svīta, Grīviņu iezis, paraugs Nr. G4. Bez analizatora

Fig. 3. *Thin-section photomicrograph: iron oxide-hydroxide cement cluster (1)*

*Gauja Formation, Grīviņi cliff, sample No. G4. Plane polarized light*

Sietiņu svītas baltajos kvarca smiltsiežos ar daudzveidīgām tekstūrām, t. sk. noslīdeņu deformācijām, dominējošais cementa veids pēc apjoma ir laukšpata reģenerācijas apmales (4. att.). Ļoti nelielā daudzumā ir sastopams dzelzs oksīdu un hidroksīdu cements, kā rezultātā smilšakmeņi ir baltā krāsā. Novērots arī māla cements, kas poru telpā izplatīts salīdzinoši bieži, un, kā liecina

rentgendifraktometriskā analīze, māla cementa sastāvā dominē hlorīts un kaolinīts, nedaudz mazāk ir ilīta.

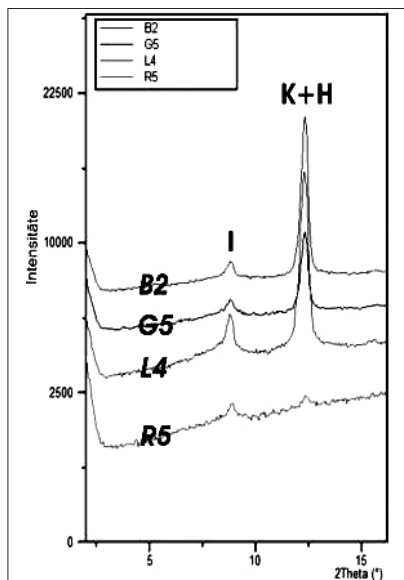


4. attēls. Plānslīpējuma mikrofotogrāfija: kvarca grauds (1) nedaudz iespiesies laukšpata graudā (2); ap laukšpata graudu redzama reģenerācijas apmale (3) Gaujas svīta, Grīviņu iezis, paraugs Nr. G1. Ar ieslēgtu analizatoru

Fig. 4. Thin-section photomicrograph: quartz grain (1) is slightly pressed within a feldspar grain (2); syntaxial overgrowth on feldspar grain (3) Gauja Formation, Grīviņi cliff, sample No. G1. Cross polarized light

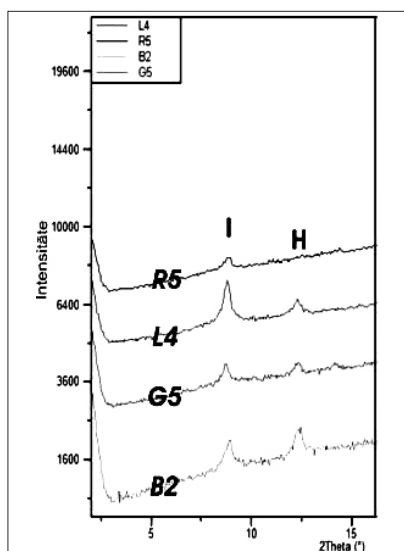
Abu svītu pārejas zonas smilšakmeņos Grīviņu iezī dominējošais cementa veids ir laukšpata reģenerācijas apmales. Dzelzs oksīdu un hidroksīdu cements ir sastopams retu apmaļu veidā ap atsevišķiem graudiem un retu ieapaļu sakopojumu veidā. Diezgan reti atrodams arī māla cements, kas, pēc rentgendifraktometriskās analīzes datiem, apmēram vienādā daudzumā sastāv no kaolinīta, ilīta un hlorīta. Arī Līču–Laņģu klintīs (svītu pārejas zonā) smilšakmeņos dominējošais cementa veids ir laukšpata reģenerācijas apmales. Sastopams arī dzelzs oksīdu un hidroksīdu cements, kas izplatīts apmaļu veidā ap retiem graudiem, kā arī atsevišķu bagātinātu joslu veidā. Dzelzs savienojumi pārejas zonas smilšakmeņos ir sastopami biežāk nekā Sietiņu svītas smilšakmeņos, kā rezultātā iežiem ir raksturīga gaiši rozā krāsa. Šajos smilšakmeņos salīdzinoši bieži sastopams māla cements, kurā dominē kaolinīts, bet ilīta un hlorīta ir krietni mazāk. Gan Grīviņu iezī, gan Līču–Laņģu klintīs abu svītu pārejas zonu smilšakmeņos dominē muldveida slīpslāņotā tekstūra.

Smilšakmeņu māla cementa rentgendifraktometriskās analīzes rezultāti atspoguļoti 5. un 6. attēlā.



5. attēls. Teksturētu, ar etilēnglikolu apstrādātu paraugu difraktogrammas  
 B2 – Bāle I; G5 – Grīviņu iezis; L4 – Līču–Laņģu klintis; R5 – Raiskuma klintis; I – illīts;  
 K+H – kaolinīts un hlorīts

Fig. 5. X-ray powder diffractograms of treated and glycolated samples  
 No. B2 –Bāle I, No. G5 –Grīviņi cliff, No. L4 –Līči-Laņģi cliff, No. R5 –Raiskums cliff; I – illite,  
 K+H - kaolinite and chlorite



6. attēls. Teksturētu, 550 °C temperatūrā karsētu paraugu difraktogrammas  
 B2 – Bāle I; G5 – Grīviņu iezis; L4 – Līču–Laņģu klintis; R5 – Raiskuma klintis; I – illīts; H – hlorīts

Fig. 6. X-ray powder diffractograms of treated and at 550° C heated samples  
 No. B2 –Bāle I, No. G5 –Grīviņi cliff, No. L4 –Līči-Laņģi cliff, No. R5 –Raiskums cliff; I – illite,  
 H – chlorite

Cementa sastopamības biežums Gaujas un Sietiņu svītas, kā arī pārejas zonas smilšakmeņos starp šīm svītām atspoguļots 1. tabulā.

*1.tabula*

**Cementa veidu relatīvās sastopamības biežums Gaujas un Sietiņu svītā un svītu pārejas zonas smilšakmeņos**

*Relative frequency of occurrence of types of cement in sandstones of the Gauja and Sietiņi formations, and the transitional zone between these formations*

Svītas (objekta) nosaukums <i>Name of formation (object)</i>	Dzelzs savienojumu cements <i>Cement of iron compounds</i>	Laukšpata reģenerācijas apmaļu cements <i>Feldspar syntaxial overgrowth cement</i>	Māla cements <i>Clay cement</i>
Gaujas svīta (Raiskuma klintis)	++++	++	+
Svītu pārejas zona (Grīviņu iezis)	++	+++	+
Svītu pārejas zona (Līču–Laņģu klintis)	++	+++	+++
Sietiņu svīta (Bāles atradnes I iecirknis)	+	++++	+++

++++ – ļoti plaši izplatīts (atrasts > 50% poru telpā) – *very widespread (occurs in more than 50% of pore space)*;

+++ – plaši izplatīts – *widespread*;

++ – reti sastopams – *occurs rarely*;

+ – ļoti reti sastopams – *occurs very rarely*

Svarīgi atzīmēt, ka pētāmo objektu smilšakmeņu paraugos novērots tas, ka dzelzs savienojumi pārsvarā apņem laukšpata reģenerācijas apmales, nevis sākotnējo graudu kontūru. Tie dzelzs savienojumi, kas sastopami uz grauda kontūras, ir veidojušies pirms laukšpata reģenerācijas procesa, bet tie, kas uz laukšpata reģenerācijas apmales, – jau pēc tās veidošanās.

Ir novēroti arī korodēti laukšpata graudi, visvairāk tie sastopami tieši Gaujas svītas (Raiskuma klintis) smilšakmeņos. Taču nav izdevies noskaidrot, kurā laikposmā un kāda faktora ietekmē ir norisinājusies laukšpata šķīšana. Nevienu no pētāmo objektu smilšakmeņu paraugiem netika novērotas dažādu cementu veidu savstarpējās aizvietošanas pazīmes.

Kā minēts iepriekš, māla cements ir sastopams visos pētījumu objektos. Tas veido galvenokārt norobežotus sakopojumus, kas ir izplatīti lokāli. Smilšakmeņu matricē un cementā netika atklāts smektitīts un jauktslāņu māla minerāli.

### **Drupu materiāla granulometriskais sastāvs**

Sietu analīze, kas veikta 20 paraugiem, un tās datu apstrāde liecina, ka visos pētījumu objektos dominē labi šķirotā, smalkgraudaina līdz vidējgraudaina smiltis. Vidējie graudu izmēri (mediāna) mainās no 0,18 līdz 0,41 mm, bet šķirotības pakāpe no vidēji labas līdz ļoti labai (atbilstoši McManus, 1988). Individuālo paraugu granulometriskās analīzes datu salīdzinājums ar cementācijas īpatnībām liecina, ka



pēfīto smilšakmeņu cementa veidi un to izplatība nav atkarīga no drupu materiāla graudu izmēriem un šķirotības pakāpes (2. tabula).

2. tabula

**Gaujas un Sietiņu svītas, kā arī šo svītu pārejas zonas smilšakmeņu granulometriskais sastāvs un dominējošais cementa veids**

*Grain size and most widespread cement type in sandstones of the Gauja and Sietiņi formations, and the transitional zone between these formations*

Parauga Nr.	Mediāna (vidējie graudu izmēri, mm) / dominējošā smilts frakcija	Šķirotība	Dominējošais cementa veids
Sample no.	Median (medium grain size)/main sand fraction	Sorting (dispersion)	Most widespread type of cement
<b>Gaujas svīta (Raiskuma klintis)</b>			
R1	0,18 / smalkgraudaina	0,55 (vidēji laba)	dzelzs savienojumi
R2	0,21 / smalkgraudaina	0,53 (vidēji laba)	dzelzs savienojumi
R3	0,41 / vidējgraudaina	0,64 (vidēji laba)	dzelzs savienojumi
R4	0,26 / vidējgraudaina	0,40 (laba)	dzelzs savienojumi
R5	0,24 / smalkgraudaina	0,49 (laba)	dzelzs savienojumi
<b>Svītu pārejas zona (Grīviņu iezis)</b>			
G1	0,33 / vidējgraudaina	0,34 (ļoti laba)	laukšpata reģenerācijas apmales
G2	0,31 / vidējgraudaina	0,33 (ļoti laba)	laukšpata reģenerācijas apmales
G3	0,32 / vidējgraudaina	0,37 (laba)	laukšpata reģenerācijas apmales
G4	0,28 / vidējgraudaina	0,37 (laba)	laukšpata reģenerācijas apmales
G5	0,38 / vidējgraudaina	0,70 (vidēji laba)	laukšpata reģenerācijas apmales
<b>Svītu pārejas zona (Līču–Laņģu klintis)</b>			
L1	0,32 / vidējgraudaina	0,41 (laba)	laukšpata reģenerācijas apmales
L2	0,26 / vidējgraudaina	0,42 (laba)	laukšpata reģenerācijas apmales
L3	0,19 / smalkgraudaina	0,51 (vidēji laba)	laukšpata reģenerācijas apmales
L4	0,18 / smalkgraudaina	0,39 (laba)	laukšpata reģenerācijas apmales
L5	0,22 / smalkgraudaina	0,41 (laba)	laukšpata reģenerācijas apmales
<b>Sietiņu svīta (Bāles atradnes I iecirknis)</b>			
B1	0,34 / vidējgraudaina	0,59 (vidēji laba)	laukšpata reģenerācijas apmales
B2	0,28 / vidējgraudaina	0,46 (laba)	laukšpata reģenerācijas apmales
B3	0,26 / vidējgraudaina	0,58 (vidēji laba)	laukšpata reģenerācijas apmales
B4	0,23 / smalkgraudaina	0,43 (laba)	laukšpata reģenerācijas apmales
B5	0,19 / smalkgraudaina	0,32 (ļoti laba)	laukšpata reģenerācijas apmales

## Diskusija

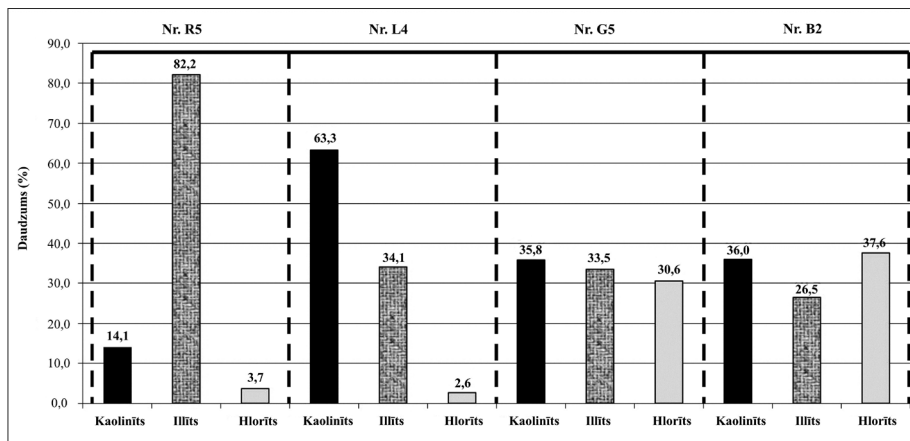
Šajā pētījumā iegūtie dati par dzelzs oksīdu un hidroksīdu cementa daudzuma pakāpenisku samazināšanos no Gaujas svītas uz Sietiņu svītas izplatības areālu sakrīt ar iepriekšējo V. Kurša pētījumu datiem. Viņš iepriekš arī atzīmējis, ka gan smilšakmeņu sarkanā, gan gaišā (baltā) krāsa ir primāra, tā ir mantota no noneses

apgabala cilmiežiem. Kaut arī sekundāra iežu pārdzelžošanās ir sastopama bieži, tomēr tai piemīt lokāls raksturs (Kuršs, 1992). Plašu dzelzs savienojumu izplatību devona smilšakmeņu cementā Galvenā devona laukā ir atzīmējuši S. Jengaličevs un J. Panova (Engalichev and Panova, 2008). Viņi norāda, ka šis smilšakmeņu cementa veids ir veidojies visagrāk.

Laukšpata reģenerācijas cementa dominējošā loma Sietiņu svītas nogulumos šajā pētījumā ir atzīmēta pirmoreiz. V. Kuršs gan norādījis, ka laukšpata reģenerācija un mazu autigēnu kristālu veidošanās devona smilšakmeņos ir izplatīta ļoti plaši (Kuršs, 1992). Juras smilšakmeņu pētījumos Spānijā secināts, ka laukšpata reģenerācijas procesi ir atkarīgi no tādām šo nogulumiežu sastāva īpatnībām, kas mantotas no noneses apgabalu iežu sastāva (González-Acebrón et al., 2010). Tas atbilst arī V. Kurša viedoklim par laukšpata un tā apmaļu veidošanos tieši Sietiņu svītā, tas noticis pārnestu dēdējumgarozas produktu pēcsedimentācijas izmaiņu dēļ (Kuršs, 1992). Citā pētījumā (El-ghali et al., 2009) secināts, ka triasa nogulumos Francijā kālija laukšpata reģenerācijas apmales ir visplašāk sastopamas zema ūdens līmeņa sistēmas joslas (LST) smilšakmeņos (El-ghali et al., 2009). Analogiskas likumsakarības ir atklātas arī kembrija un ordovika smilšakmeņos Ēģiptē (Kordi et al., 2011). Abās šajās publikācijās norādīts, ka aktīva atmosfēras ūdeņu cirkulācija pazemināta jūras ūdens līmeņa apstākļos ir izraisījusi drupu graudu šķīšanu un sekundāru izšķīdušā materiāla kristalizāciju uz laukšpata graudu virsmas. Savukārt kā galvenais iemesls laukšpata reģenerācijai Etiopijas triasa–juras smilšakmeņos minēta drupu laukšpata šķīšana. Te laukšpata reģenerācija ir notikusi iegrimšanas diaģenēzes sākumstadijā aptuveni 0,5–1 km dziļumā (Wolela, 2010).

Šajā pētījumā secināts, ka dzelzs savienojumi galvenokārt izveidojuši apvalciņus ap drupu graudiem jau pēc laukšpata reģenerācijas, taču ir uzkrājušies uz graudu virsmas arī pirms šī procesa. Tas norāda uz dzelzs savienojumu būtisku pārgrupēšanos pēcsedimentācijas procesu gaitā. Iespējams, tas liecina arī par laukšpata reģenerāciju salīdzinoši agrīnās pēcsedimentācijas izmaiņu stadijās. Savukārt pētījumā par Galvenā devona lauka austrumu daļu atzīmēts, ka krama cements (autori tā sauc kvarca un laukšpata reģenerācijas cementu) pārsvarā ir veidojies pēc dzelzs savienojumu plēvīšu veidošanās (Engalichev and Panova, 2008). Iespējams, tagadējā Latvijas teritorijā Gaujas reģionālā stāva smilšakmeņos pēcsedimentācijas procesu gaitā ir notikusi būtiskāka dzelzs savienojumu migrācija nekā Galvenā devona lauka austrumu daļā.

Māla cementa lokālās izplatības tendences un norobežotu sakopojumu klātbūtne norāda, ka šie māla sakopojumi ir jaunveidojumi (cements), nevis mehāniski izgulsnēta smilšakmeņu matrice. Kā jau minēts, ilīts dominē tipiskajos Gaujas svītas smilšakmeņos, tomēr tā saturs krasī samazinās ziemeļaustrumu virzienā (7. att.). Savukārt hlorīta izplatībā ir novērojama pretēja tendence – virzienā uz ziemeļaustrumiem tā daudzums pieaug. Kaolinīts dominē Sietiņu svītas smilšakmeņu sastāvā, kas atbilst pārejas zonai (Līču–Laņģu klintis). Tā saturs nedaudz samazinās uz ziemeļaustrumiem (Sietiņu svītā), bet ievērojama samazināšanās atzīmējama uz dienvidrietumiem (Gaujas svītā).



7. attēls. Kaolinīta, ilīta un hlorīta proporcijas māla minerālu vidū pēc rentgendifraktometriskās analīzes datiem

Paraugu ņemšanas vietas: Nr. R5 – Raiskuma klintis; Nr. L4 – Līču–Laņģu klintis; Nr. G5 –Grīviņu iezis; Nr. B2 – Bāle I

Fig. 7. Approximate proportions of kaolinite, illite and chlorite among clay minerals in samples examined by x-ray powder diffraction method

Sampling sites: No. R5 –Raiskums cliff, No. L4 – Līči–Laņģi, No. G5 – Grīviņu cliff, No. B2 – Bāle I

M. El-ghali un līdzautori triasa smilšakmeņos Francijā konstatējuši, ka no māla minerāliem pēcsedimentācijas procesos ir izveidojies kaolinīts un ilīts. Viņi secinājuši, ka šie minerāli ir veidojušies jau diaģenēzē jūras ūdeņu ietekmē vai iegrimšanas diaģenēzes sākumstadijās (El-ghali et al., 2009). Savukārt apkopojošā rakstā par mālu cementu smilšakmeņos (Worden and Morat, 2003) atzīmēts, ka diaģenēzē jūras ūdeņu ietekmē un iegrimšanas diaģenēzes sākumstadijā no māla minerāliem veidojas tikai kaolinīts. Ilīts tiek transportēts baseinā drupu materiāla veidā vai arī veidojas smilšakmeņos attīstītākas iegrimšanas diaģenēzes stadijā (> 70 °C). Hlorīts tiek apskatīts kā autigēns, attīstītais iegrimšanas diaģenēzei raksturīgs minerāls, kas veidojas no vulkānisko iežu komponentiem vai arī dzelzi un magniju saturošu minerālu šķīšanas rezultātā (Worden and Morat, 2003).

V. Kurša pētījumu rezultāti, savukārt, liecina par to, ka kaolinīts smilšakmeņu pamatmasas mālainajā piejaukumā veidojas pēcsedimentācijas procesos notikušās kaolinizācijas rezultātā uz vizlas sabrukšanas rēķina, bet mālaini aleirītiskajā nogulumu pamatmasā, kas asociējas ar šiem iežiem, izteikti dominē ilīts, kas ir uzkrājies baseinā sedimentācijas procesu rezultātā. Viņš atzīmējis, ka hlorīts Gaujas reģionālā stāva mālainajos nogulumos ir sastopams reti un tā saturs nepārsniedz dažus procentus (Kurshs, 1975; Kurshs, 1992). Iepriekšējos pētījumos Gaujas reģionālā stāva smilšakmeņu mālainajā frakcijā hlorīts nav atzīmēts (Kurshs, 1975; Kurshs, 1992). Pēc S. Jengaličeva un J. Panovas (Engalichev and Panova, 2008) datiem, Galvenā devona lauka austrumu daļas devona smilšakmeņu cementā dominē ilīts, ilīts–smektīts un kaolinīts. Šo minerālu attiecības tieši Gaujas reģionālajā

stāvā nav atzīmētas, taču minēts, ka šo reģionālo stāvu ietverošajos Eifela stāva – Franas stāva vidusdaļas nogulumos ilīta saturs mainās no 10 līdz 65%, bet kaolinīta daudzums – no 30 līdz 80%. Hlorīts ir atzīmēts mazāk nozīmīgo minerālu skaitā, tā saturs devona smilšakmeņos mainās no 1 līdz 12%, bet daudzums Gaujas reģionālajā stāvā nav precizēts (Engalichev and Panova, 2008).

Šajā pētījumā iegūtie dati par laukšpata reģenerācijas cementa un māla cementa daudzuma pieaugumu Sietiņu svītas smilšakmeņos salīdzinājumā ar Gaujas svītas smiltsiežiem sakrīt ar V. Kurša (Kurshs, 1992) izdarītajiem secinājumiem par pārskalotu dēdējumgarozas produktu izplatību Sietiņu svītā. No Fenoskandijas austrumu daļā esošās dēdējumgarozas, iespējams, tika transportēts kaolinīts un citi alumosilikātu dēdēšanas produkti, kas kalpoja par avotu vēlākiem minerālu jaunveidojumiem smilšakmeņu porās. Jāuzsver, ka līdzīgi dati par dēdējumgarozu pārskalošanas produktu ietekmi uz pēcsedimentācijas norišu īpatnībām ir iegūti arī pēdējos gados, pētot juras klastiskos nogulumus Spānijā (González-Acebrón et al., 2010).

Spriežot pēc minētajiem citu autoru pētījumu rezultātiem, datiem par augstu hlorīta saturu Sietiņu svītas smilšakmeņos ir zema ticamības pakāpe. Būtu nepieciešams veikt papildu pētījumus par māla minerālo sastāvu.

## Secinājumi

- Pētījumu reģionā laterālā virzienā no Gaujas svītas (dienvidrietumos) uz Sietiņu svītu (ziemeļaustrumos) smilšakmeņos likumsakarīgi mainās cementa sastāvs: samazinās dzelzs savienojumu cementa daudzums, bet pieaug laukšpata reģenerācijas cementa un māla cementa īpatsvars.
- Saskaņā ar rentgendifraktometriskās analīzes datiem Gaujas svītas smilšakmeņos māla cementa sastāvā dominē ilīts, bet pārejas zonas un Sietiņu svītas smilšakmeņos līdzīgās proporcijās ir izplatīts ilīts, kaolinīts un hlorīts. Tā kā analīžu skaits pagaidām ir neliels, šis jautājums prasa plašākus pētījumus nākotnē.
- Iegūtie dati par laukšpata reģenerācijas un māla cementa daudzuma, kā arī kaolinīta relatīvās proporcijas pieaugumu no Gaujas uz Sietiņu svītu apstiprina iepriekšējo pētījumu (Kurshs, 1992) secinājumus par pārskalotu dēdējumgarozas produktu klātbūtni Sietiņu svītā.
- Laukšpata reģenerācijas procesi pārsvarā ir notikuši pirms dzelzs savienojumu izgulsnēšanās, un tas norāda uz laukšpatu izmaiņām salīdzinoši agrīnos pēcsedimentācijas procesos.
- Pētīto smilšakmeņu cementa sastāvs un to izplatības veidi nav atkarīgi no smilts graudu izmēriem un materiāla šķirotības pakāpes.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. El-ghali, M. A. K., Morad, S., Mansurbeg, H., Caja, M. A., Sirat, M. & Ogle, N. 2009. Diagenetic alterations related to marine transgression and regression in fluvial and shallow marine sandstones of the Triassic Buntsandstein and Keuper sequence, the Paris Basin, France. *Marine and Petroleum Geology*, 26, pp. 289–309.
2. Engalichev, S. I., Panova, E. G. 2008. *Geohimiia peschanikov Vostochnoi chasti Glavnogo devonskogo polia [Geochemistry of sandstones of eastern part of the Main Devonian Field]*. Sankt-Peterburgskii Gosudarstvennyi Universitet, Sankt-Peterburg, 100 pp. [in Russian].
3. Esin, D., Ginter, M., Ivanov, A., Lebedev, O., Lukševičs, E., Avkhimovich, V., Golubtsov, V., Petukhova, L. 2000. Vertebrate correlation of the Upper Devonian and Lower Carboniferous on the East European Platform. *Corier Forschungsinstitut Senckenberg*, 223, pp. 341–359.
4. González-Acebrón, L., Arribas, J. & Mas, R. 2010. Role of sandstone provenance in the diagenetic albitization of feldspars: A case study of the Jurassic Tera Group sandstones (Cameros Basin, NE Spain). *Sedimentary Geology*, 229, pp. 53–63.
5. Hueber, F. M. 2001. Rotted wood-alga-fungus: the history and life of Prototaxites Dawson 1859. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 116, pp. 123–158.
6. Kordi, M., Turner, B., Salem, A. M. K. 2011. Linking diagenesis to sequence stratigraphy in fluvial and shallow marine sandstones: Evidence from the Cambrian–Ordovician lower sandstone unit in southwestern Sinai, Egypt. *Marine and Petroleum Geology*, 28, pp. 1554–1571.
7. Kurshs, V. M. 1975. *Litologija i poleznye iskopaemye terrigenogo devona glavno polya [Lithology and mineral resources of the terrigenous Devonian of the Main Devonian field]*. Zinatne, Riga, 221 pp. [in Russian with English summary].
8. Kurshs, V. M. 1992. *Devonskoe terrigenoe osadkonakoplenie na Glavnom Devonskom pole [Devonian terrigenous deposition on the Main Devonian field]*. Zinatne, Riga, 208 pp. [in Russian].
9. McManus, J. 1988. Grain size determination and interpretation. In: Tucker M. E. (ed.) *Techniques in Sedimentology*. Blackwell Science, pp. 63–85.
10. Pontén, A., Plink-Björklund, P. 2007. Depositional environments in an extensive tide-influenced delta plain, Middle Devonian Gauja Formation, Devonian Baltic Basin. *Sedimentology*, 54, pp. 969–1006.
11. Scotese, C. R. 2003. *PALEOMAP Project*. Sk. 27.01.2012. Pieejams: <http://www.scotese.com/newpage3.htm>
12. Tucker, M. E. 2001. *Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*. Third edition. Blackwell Publishing, Australia, pp. 55–62.
13. Vassoevich, N. B. 1983. Stadii litogeneza [Stages of Lithogenesis]. In: Vassoevich, N. B., Librovich, V. L., Logvinenko, N. V., Marchenko, V. I. (eds). *Spravochnik po litologii [Manual of Lithology]* Nedra, Moscow, pp. 85–96 [in Russian].
14. Wolela, A. 2010. Diagenetic evolution of the Ansian–Pliensbachian Adigrat Sandstone, Blue Nile Basin, Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*, 56, pp. 29–42.
15. Worden, R. H. & Morat, S. 2003. Clay minerals in sandstones: controls of formation, distribution and evolution. In: *Clay Mineral Cements in Sandstones: Special Publication 34 of the International Association Of Sedimentologists*, ed. by Worden, R. & Morat, S. Blackwell Science, pp. 3–42.

## Summary

*Research is focused on the cement composition and distribution in sandstones of the Devonian Gauja and Sietiņi formations. There are 4 outcrops documented, 20 grain-size analyses done, 19 thin-sections studied, and XRD analysis performed for clay material (20 untreated and 4 treated samples were analysed). This study allows to conclude that iron compound cement dominates in the Gauja Formation sandstones, feldspar syntaxial overgrowths are the most widespread in the Sietiņi Formation, the same overgrowths prevail, but iron compounds are present as well in the transitional zone between formations. Clay cement mainly consists of kaolinite, illite and chlorite.*

**Keywords:** *diagenesis, iron oxides and hydroxides, feldspar syntaxial overgrowth cement, clay, thin-section.*

## **Devona Lodes svītas nogulumi un to veidošanās apstākļi** *Deposits of the Devonian Lode Formation and Their Origin*

**Daiga Blāķe**

Latvijas Universitāte  
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Alberta iela 10, Rīga, LV-1010  
E-pasts: *daiga.blake@gmail.com*

Šajā pētījumā raksturotas devona Lodes svītas nogulumu izplatības likumsakarības, sastāvs, uzbūve un tekstūras. Veikta nogulumu un tajā sastopamo deformāciju veidošanās apstākļu interpretācija. Sastādīti 5 jauni Lodes svītas nogulumu griezumī Liepas māla atradnē un 2 griezumī Igaunijā Piuzas upes krastos. Papildināti arī iepriekš Liepas mālu atradnē sastādītie griezumī. Veikti slāņu saguluma elementu mērījumi, nogulumu granulometriskā sastāva analīze un tekstūru pētījumi. Noslīdeņu veidojumu un gravitācijas plūsmu pazīmju klātbūtne Lodes svītas nogulumos Latvijas teritorijā norāda, ka nogulumi, domājams, atbilst deltas nogāzes daļai, savukārt Igaunijā sastopamajiem analogiska vecuma nogulumiem pārsvarā ir smilšains sastāvs, plūdmaiņu procesu pazīmes un izskalojumi – tas liecina, ka tie uzkrājušies deltas virsējās daļas apstākļos.

**Atslēgvārdi:** māli, deltas nogāze, deltas virsējā daļa, gradācijas slāņojums, noslīdeņi.

### **Ievads**

Devona Lodes svītas nogulumi ir izplatīti Latvijas ziemeļaustrumu, Igaunijas dienvidaustrumu daļā, kā arī nelielā teritorijā Krievijā – Pleskavas reģiona rietumu daļā. Svītu veido klastiksie nogulumi – smilšakmeņi, aleirolīti un māli. Īpaša svītas pazīme ir iegarenas, pusapļa formas, ar sīkdispersiem māliem aizpildītas depresijas nogulumiežos. Lodes svīta tiek nodalīta kā Gaujas svītas augšējā mālainā daļa, tā atrodas apgabalā, kas pēc iepriekšējo pētījumu rezultātiem (Kuršs, 1975; 1992) definēts kā devona deltu izplatības zona. Pēc Latvijā pieņemtās stratigrāfiskās shēmas Gaujas svīta un tāpat arī tās augšējā daļā nodalītā Lodes svīta atbilst augšdevona Franās stāvam (Kuršs, 1992). Pēc Igaunijā pieņemtās stratigrāfiskās shēmas Gaujas svīta atbilst vidusdevona Živetas stāvam un tiek iedalīta Lodes un Sietiņu ridās (Kleesment and Mark-Kurik, 1997), tādēļ, aplūkojot minētos nogulumus Igaunijā, tiks lietots termins „rida”.

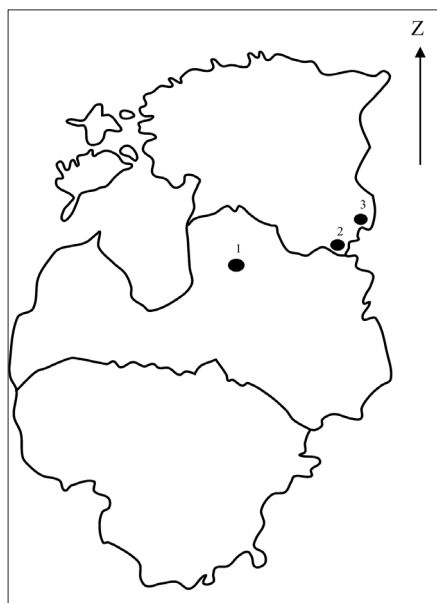
Diskusija par devona Lodes svītas (ridas Igaunijā) nogulumu veidošanās apstākļiem ir aktuāla ne tikai vietējā, bet arī starptautiskā līmenī, jo tiek veikti arvien jauni devona baseinu veidošanās apstākļu pētījumi Baltijā un arī plašākā reģionā. Iepriekš detalizētus stratigrāfiskās vienības pētījumus veicis V. Kuršs (Kuršs, 1975; 1992), tos papildinājuši arī Ģ. Stinkuļa, D. Pipiras (Pipira un Stinkulis, 2011) un autores (Blāķe, 2010) nesen veiktie pētījumi. Paleontoloģiskos pētījumus Lodes svītas Latvijas teritorijā veikuši V. Kuršs, E. Lukševičs, L. Ļarskaja, I. Upeniece, J. Upenieks un I. Zupiņš (Kuršs u. c., 1998). Atšķirīgu Lodes svītas nogulumu veidošanās apstākļu

interpretāciju un senās deltu zonas izplatības un konfigurācijas rekonstrukciju piedāvā arī Anna Pontena un Pireta Plinka-Bjorklunde (Pontén and Plink-Björklund, 2007), kas veikušas Gaujas svītas sedimentoloģiskus pētījumus Latvijas un Igaunijas teritorijā. Tomēr, neņemot vērā plašos pētījumus, joprojām pastāv neskaidrības par Lodes svītas nogulumu Latvijā un Lodes ridas nogulumu Igaunijā veidošanās apstākļiem, kā arī tajos sastopamo slāņojuma deformāciju izcelsmi.

Šajā darbā pētīti gan Lodes svītas nogulumi Latvijā, gan to analogi pēc ģeoloģiskā vecuma Igaunijā. Pētījuma mērķis ir raksturot Lodes svītas nogulumu slāņkopu Latvijā un Lodes ridas slāņkopu Igaunijā, interpretēt tās veidošanās apstākļus, kā arī procesus, kas izraisījuši deformāciju un ar māliem aizpildītu depresiju veidošanos šajos nogulumos.

## Materiāli un metodes

Lauka darbi veikti Latvijā un Igaunijā, vietās, kur atsedzas Lodes svīta (Latvijā) un Lodes rida (Igaunijā) (1. att.). Latvijā lauka darbi veikti Liepas māla karjerā, kur 2010. un 2011. gadā dokumentēti pieci atsegumi un papildināts viens 2008. gadā sastādīts griezumšķēršlis. Igaunijas DA daļā 2010. gada augustā dokumentēti divi Lodes svītas atsegumi, kas atrodas Piuzas upes labajā krastā; izmantoti arī urbuma Tsīstre 327 (*Tsiistre 327*) dati. Visos atsegumos veikta fotodokumentēšana un slāņu saguluma mērījumi ar ģeoloģisko kompasu.



1. attēls. Latvijā un Igaunijā lauka darbos pētīto atsegumu novietojums

1 – Liepas atradne Latvijā; 2 – urbuma Tsīstre 327 atrašanās vieta; 3 – Piuzas upes atsegumi Igaunijā

Fig. 1. Location of studied outcrops in Latvia and Estonia.

1 – Liepa pit in Latvia; 2 – Location of the borehole Tsiistre 327; 3 – outcrops of the river Piusa in Estonia



Laboratorijas darbos noteikts Lodes svītas nogulumu granulometriskais sastāvs. Izmantota kombinēta sietu un hidrometra metodika, vispirms no māliem atdalot frakciju  $> 0,05$  mm. Pētījuma gaitā šāda analīze veikta 25 paraugiem.

Veikta arī iepriekšējos gados veikto urbumu datu korelēšana Liepas atradnes teritorijā.

## Rezultāti

Pētījumu rezultātā precizēta Lodes svītas uzbūve Latvijā un Lodes ridas uzbūve Igaunijā, nodalīti nogulumu paveidi, raksturotas ar māliem aizpildītās depresijas un interpretēti nogulumu veidošanās apstākļi.

### Lodes svītas slāņkopas uzbūve

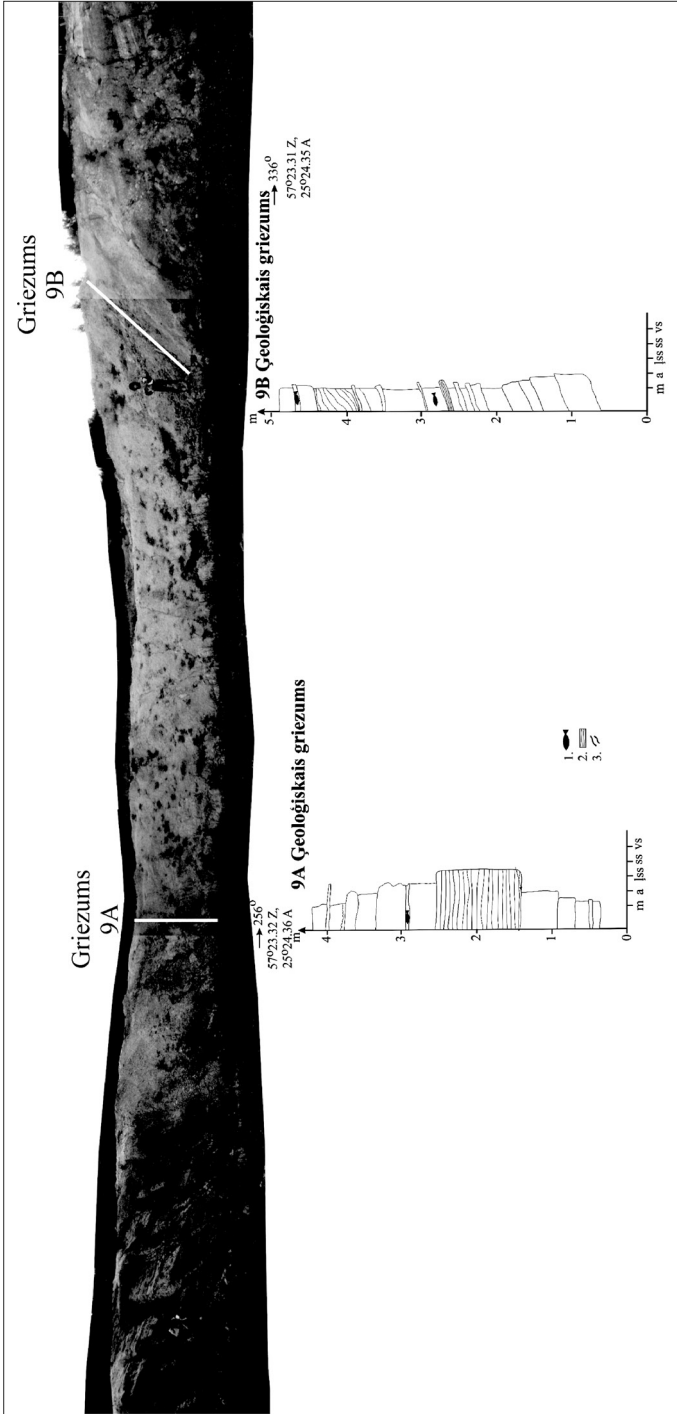
Latvijā jau iepriekš pētījumos konstatēts, ka Lodes svītas apakšējo daļu veido sarkani un rozīgi pelēki smilšakmeņi, kas ar leņķa diskordanci pārsedz pelēkbaltus Sietiņu svītas smilšakmeņus. Diskordances krituma leņķis, pēc V. Kurša datiem, var sasniegt  $70^\circ$  (Kurshs, 1992), bet autores aprakstītā Sietiņu un Lodes svītas kontakta plakne karjera ziemeļrietumu daļā krīt  $19^\circ$  leņķī (Blāķe, 2010).

Slāņkopas augšējo daļu veido mālaināki nogulumu – tie ir sarkani mālaini aleirolīti, violeti aleirītiski māli, zilganpelēki atkrāsoti aleirolīti un smilšaini aleirolīti, kā arī pelēki sīkdispersi māli. Vērojama tendence, ka virzienā uz augšu materiāls kļūst mālaināks – ar mazāku smiltis, bet lielāku mālu daļiņu piejaukumu. Sastādītie ģeoloģiskie griezumā aptver depresiju aizpildošo slāņkopu – gan tās centrālo daļu, gan arī deformēto malas zonu (2. att.).

Slāņu saguluma elementu mērījumi 9A un 9B griezumā (sk. 2. att.) norāda uz slāņu kritumu dienvidu virzienā (rezultējošais krituma azimuts  $184,0^\circ$ , bet leņķis  $36,7^\circ$ ). Līdzīgi mērījumu rezultāti iegūti arī iepriekšējos Lodes svītas nogulumu pētījumos (Kurshs, 1992; Blāķe, 2010).

Igaunijā nogulumu sastāvs un slāņu sagulums atšķiras no to analogiem pēc ģeoloģiskā vecuma Liepas mālu atradnē. Lodes ridas nogulumu ir krietni smilšaināki, bet māli ir konstatēti vien saveltņu un starpslāņu veidā, kas iekļauti smilšaino nogulumiežu slāņkopās.

**Kalmetu** atsegumā vērojama izteikta tendence, ka slāņkopas apakšdaļā iegūļ salīdzinoši rupjāks materiāls, bet virzienā uz augšu tas kļūst smalkāks. Smilšakmeņos izsekojami izmēros nelieli – līdz 2 centimetriem diametrā, sarkanu mālu saveltņi, kā arī dažviet gradācijas slāņojums slīpajos slāņšos (3. att.), kas, visticamāk, liecina par plūdmaiņu procesu ietekmi šī slāņa uzkrāšanās laikā. Gradācijas slāņojums uz slīpajiem slāņšiem tiek izmantots kā pazīme, kas norāda uz nogulumu uzkrāšanos plūdmaiņu uzplūdu un atplūdu straumju ietekmē (Reineck and Singh, 1980).

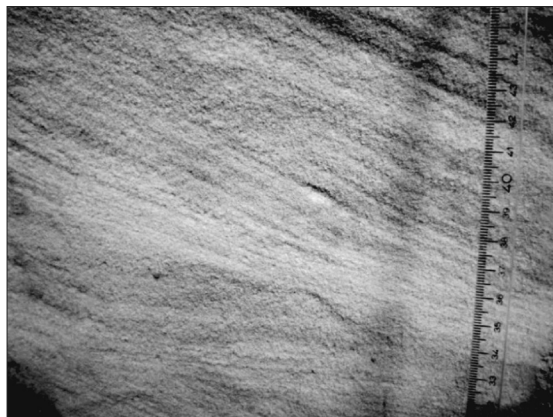


2. attēls. 9. ģeoloģiskais griezumus Liepas atradnes ziemeļrietumu daļā

Depresijas centrālā daļā aizpildīta ar sīkdisperstiem māliem, bet malas daļā atsedzas krokoti aleirolīti un mālaini aleirolīti (fotokolāža – autores foto, 31.03.2010.). Apzīmējumi: 1 – zivju atliekas; 2 – horizontāls slāņojums; 3 – krokoti nogulumi; m – māls; a – aleirolīts; lss – ļoti smalkgraudaina smiltis; ss – smalkgraudaina smiltis; vs – vidējgraudaina smiltis

Fig. 2. Geological section No 9 in the northern part of the Liepa pit.

Depression infilled with yellowish clayey material exposed in the central part, but sandstones and siltstones exposed in the marginal zone (photo by author, 31.03.2010.). Legend: 1 – fish remains; 2 – horizontal lamination; 3 – folded deposits; m – claystone; a – siltstone; lss – very fine-grained sand; ss – fine-grained sand; vs – medium-grained sand



3. attēls. Gradācijas slāņojums slīpajos slāņšos; Kalmetu atsegums (autores foto, 20.08.2010.)

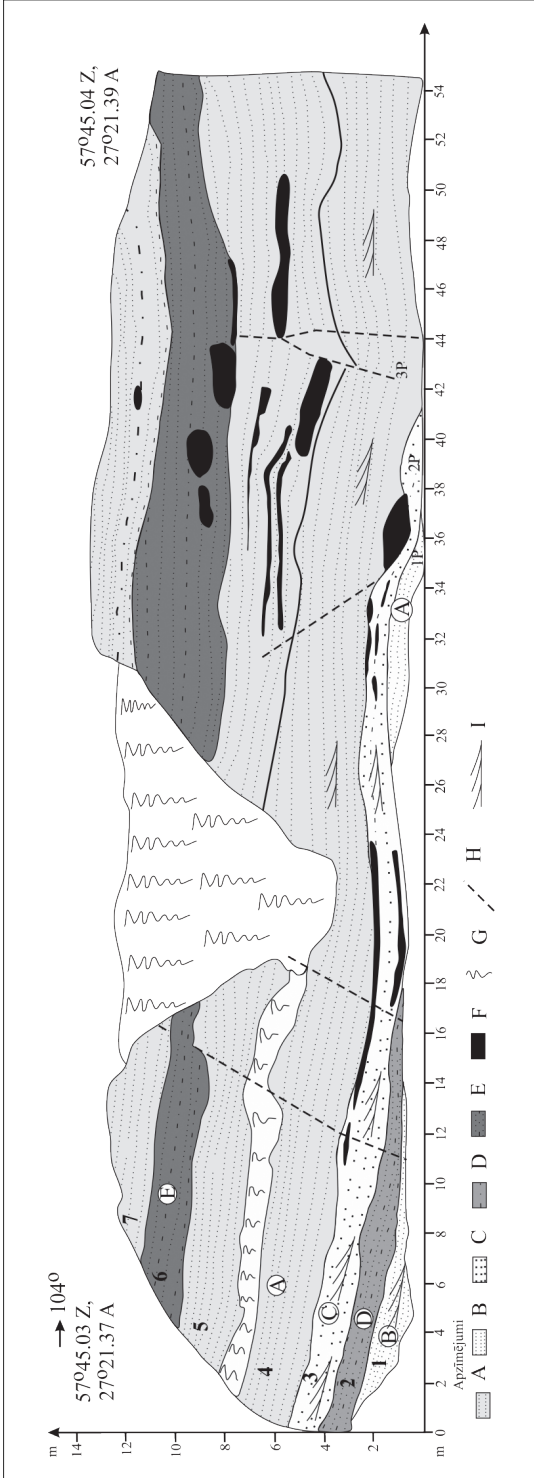
Fig. 3. Graded distribution of sand grains on the surface of cross strata; Kalmetu outcrop (photo by author, 20.08.2010.)

**Make** atsegumā, kas atrodas 2 km uz dienvidiem no Kalmetu atseguma, vērojamas arī vairākas slāņojuma deformācijas un izskalojumi. Slāņkopas apakšējo daļu tāpat veido dzeltenbrūni un pelēkbalti smilšakmeņi, tajos izceļas samērā stipri cementēts gaiši pelēkbrūnu smalkgraudainu smilšakmeņu slānis, kuriem vērojams palielināts  $Fe_2O_3$  piejaukums salīdzinājumā ar pārējo slāņkopas daļu. Arī šeit visrupjgraudainākie nogulumi (rupjgraudaini smilšakmeņi) ir sastopami griezuma apakšējā daļā – 3. slānī (4. att.) Atseguma apakšdaļā, bet tā austrumu daļā arī visā vertikālajā griezumā ir vērojamas ķieģeļsarkana māla lēcas un saveltņi, kā arī izskalojumi. Sedimentācijas tekstūru daudzveidība smilšakmeņos nav liela, tomēr 1., 3. un 4. slānī ir skaidri saskatāms slīpslāņojums (sk. 4. att.).

Gan Latvijā, gan Igaunijā noslāņojuma virsmu galvenais krituma virziens ir uz dienvidiem. Slāņu krituma leņķis Igaunijā caurmērā ir mazāks nekā Liepas mālu atradnē konstatētais. Tas ir robežās no  $4^\circ$  līdz  $25^\circ$ , savukārt krituma azimuts ir samērā noteikts un atbilst vienam virzienam – no  $169^\circ$  līdz  $208^\circ$ . Šīs tendences acīmredzot ir līdzīgas visā Lodes svītas izplatības areālā.

### Ar pelēkajiem māliem aizpildītās depresijas un to uzbūve

Ar pelēkajiem māliem aizpildītās depresijas ir Lodes svītai raksturīga pazīme Latvijā. Plaši, pie tam vairākos svītas griezuma intervālos šādas depresijas atsedzas Liepas mālu atradnē, bet Igaunijā lauka darbu laikā tās nav novērotas. Liepas atradnē identificētas vairākas ar māliem aizpildītās depresijas. To izmēri gan plānā, gan vertikālā griezumā ir dažādi, arī aizpildījuma sastāvā vērojamas atšķirīgas tendences. Tomēr kopīgās pazīmes ir iegarena forma ziemeļu–dienvidu virzienā, ziemeļu daļas pusapļa kontūra un garenasu kritums uz dienvidiem. Šīs pazīmes apraksta V. Kuršs (Kuršs, 1992), Pipīra un Stinkulis (2011), tās arī aprakstītas autores iepriekšējos pētījumos (Blāķe, 2010). Apvienojot lauka darbu un urbumu analīzes datus, atradnē dažādos līmeņos identificētas 6 mālu lēcas (5. att.).

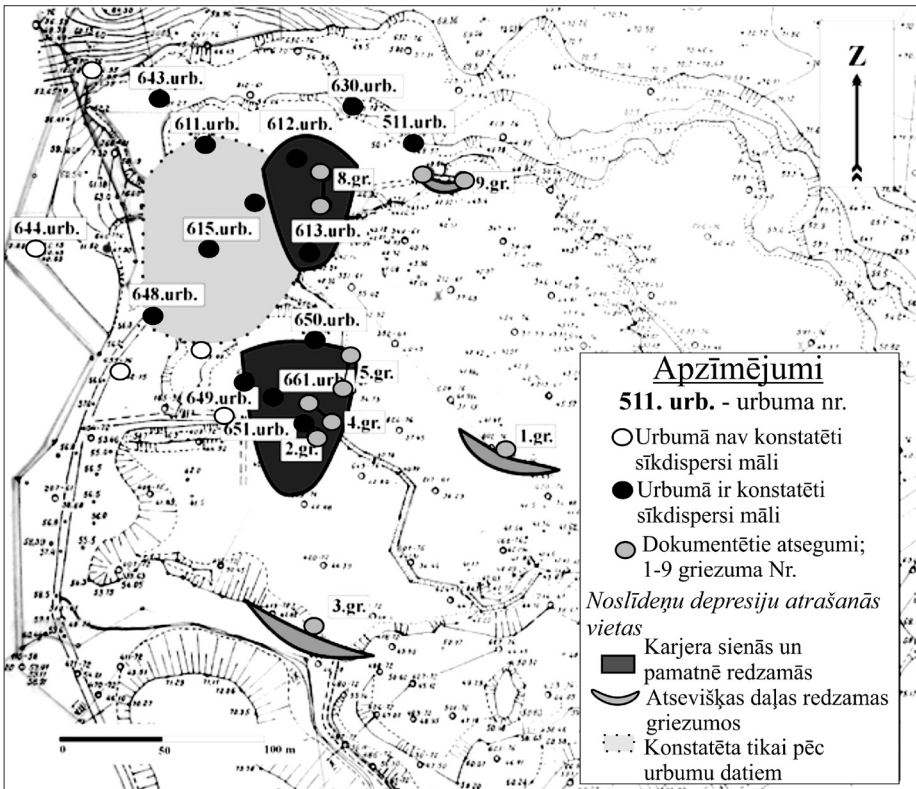


4. attēls. Lodes ridas ģeoloģiskais griezumus Make atsegumā Piisas upes labajā krastā Igaunijas dienvidaustrumos

Apzīmējumi: A – vidējgraudains smilšakmens; B – smalkgraudains smilšakmens; C – rupjgraudains smilšakmens; D – pelēki sārti aleirolīti; E – smalkgraudains smilšakmens ar aleirolītu un mālu piejaukumu; F – māla lēcas un savēlnji; G – nobiras; H – lūzumi; I – slīpstāpojušs; 1-3P – paraugu ņemšanas vietas; 1-7 – slāņa nr.

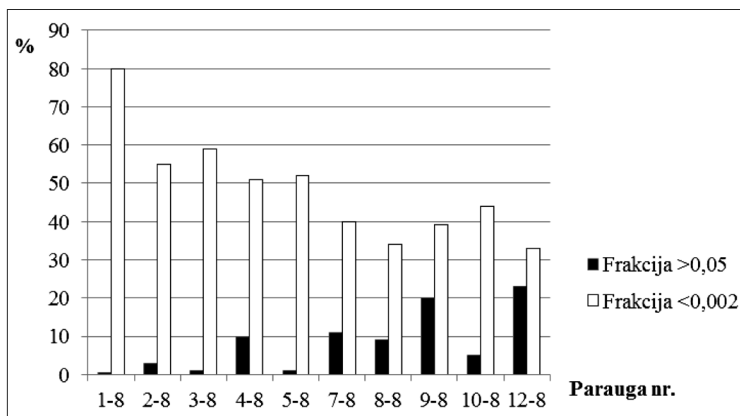
Fig. 4. Geological section of the Lode Member at the Make outcrop on the right bank of Piisa River; south-east Estonia  
Legend: A - medium-grained sandstone; B - fine-grained sandstone; C - coarse-grained sandstone; D - greyish pink siltstone; E - fine-grained sandstone with siltstone and claystone; F - clay lenses; G - talus; H - faults; I - ripple cross-lamination; 1-3P sampling points; 1-7 bed No.

Depresiju aizpildošo nogulumu sastāvs nav tik viendabīgs, kā tas sākotnēji šķiet lauka apstākļos. Detalizētas granulometriskās analīzes liecina, ka nogulumu sastāvs griezumā ievērojami mainās. Griezumā uz augšu graudu izmēri samazinās, līdz tā augšdaļā vērojams jau praktiski tīrs māls bez smilšaini aleirītisko daļiņu piejaukuma. Graudu izmēru samazināšanās uz augšu nav vienmērīga, tomēr kopējā tendence saglabājas visā mālu slāņkopā (6. att.). Līdzīgi dati iegūti arī citos pētījumos (Pipira un Stinkulis, 2011).



5. attēls. Ar māliem aizpildīto depresiju izvietojums Liepas mālu atradnē –  
 autora interpretācija  
 (shēma sastādīta, izmantojot griezumu un atradnes izpētes urbumu  
 (Mukane and Aleksejev, 1977))

Fig. 5. Location of depressions filled with very fine clay in the Liepa pit,  
 interpretation by the author  
 Scheme composed using geological section data and borehole data  
 from clay pit exploration, (Mukane and Aleksejev 1977)



6. attēls. Mālu granulometriskā sastāva izmaiņas 8B griezumā Liepas atradnes ziemeļrietumu daļā

Fig. 6. Changes of the grain-size of clayey material in the geological section 8B in the north-western part of the Liepa pit

Liepas atradnē sastopamo depresiju aizpildījums un to tekstūra atsegumos karjera D un ZR daļā ievērojami atšķiras. Karjera ZR daļā sastopamais depresijas aizpildījums ir samērā viendabīgs. Slāņojums un citas tekstūras nogulumos vizuāli praktiski nav novērojamas. Atsevišķus smilšainākus un mālainākus slāņītus iespējams identificēt tikai granulometriskās analīzes rezultātā. Karjera D sienā identificētas 3 atsevišķas kārtiņas ar gradācijas slāņojumu (7. att.). Katras individuālās kārtiņas biezums ir 13, 5,5 un 11,5 centimetri. Apakšējā kārtiņas daļa sastāv no atkrāsota zilganpelēka smilšaini aleirītiska materiāla ar mālu piejaukumu. Zilgani smilšaini aleirītiskās daļas biezums ir 2, 6 un 3,5 centimetri, un virzienā uz augšu smilšainie



7. attēls. Gradācijas slāņojums tuvplānā (Ģ. Stinkuļa foto, 03.12.2010.)

Fig.7. Gradational lamination in close-up (photo by Ģ. Stinkulis, 03.12.2010)

aleirolīti pakāpeniski pāriet 2, 5 un 5,5 cm biezos sarkanos mālainos aleirolītos, bet cikla augšdaļu veido māli. Pārejas no viena nogulumu tipa uz otru ir pakāpeniskas. Gradācijas slāņojums var kalpot kā pazīme tam, ka mālainais materiāls, kas aizpilda depresijas, vismaz episodiski gravitācijas plūsmu rezultātā ir uzkrājies deltas nogāzes daļā (McConnico and Bassett, 2007).

## Diskusija

V. Kuršs uzskata, ka senās deltu zonas nogulumu izplatības robežas sakrīt ar Lodes svītas izplatības robežām (Kurshs, 1992). A. Pontena un P. Plinka-Bjorklunda kā plašu deltu zonu interpretē ne tikai Lodes svītas izplatības apgabalu, bet arī praktiski visu Gaujas reģionālā stāva izplatības teritoriju, uzsverot, ka šo zonu veidojusi sazarota dažāda izmēra kanālu sistēma, kur pārmaiņus dominējusi gan plūdmaiņu, gan arī aluviālo apstākļu ietekme (Pontén and Plink-Björklund, 2007).

Šajā pētījumā veikto lauka darbu rezultāti liecina, ka nogulumu ir veidojušies deltu zonā, turklāt to sastāva izmaiņas norāda uz veidošanos konkrētās deltas daļās. Par nogulumu veidošanās apstākļiem deltu zonā liecina vairāki faktori.

Plānu, individuālu slāņīšu saglabāšanos, kādi sastopami Lodes svītas nogulumos, sekmē deltu zonām raksturīgi apstākļi, it īpaši liels sedimentācijas ātrums (Reineck and Singh, 1980). Analizējot lauka darbu laikā iegūtos datus kontekstā ar informāciju par līdzīgiem pētījumiem citur pasaulē, jāsecina, ka Latvijā Liepas atradnē sastopamie nogulumi pieder citai deltas daļai nekā DA Igaunijā Piuzas upes atsegumos dokumentētie. Lodes svītas nogulumu Liepas atradnē, visticamāk, ir uzkrājušies deltas nogāzes daļā. Par to liecina nogulumu granulometriskais sastāvs – deltas nogāzes nogulumiem bieži ir raksturīgs mālaini aleirītisks sastāvs, vietām ar smilšu starpkārtām (Reineck and Singh, 1980), kāds ir arī pētītajiem nogulumiem. Raksturīga deltas nogāzes pazīme ir noslīdeņu procesi un nogulumu transports gravitācijas plūsmās, to darbība pēc slāņkopu uzbūves īpatnībām identificēta arī Liepas mālu atradnē. Turklāt šādi procesi raksturīgi deltām ar lielu drupu materiāla pienesi, bez tam noslīdeņu veidojumi tipiski ir tieši deltas nogāzes augšējā daļā (McConnico and Bassett, 2007).

Igaunijā analizētie nogulumi ir smilšaināki – māli parādās tikai atsevišķu lēcu veidā, bet mālaini aleirolīti un aleirolīti pārstāvēti griezuma augšējā daļā. Nogulumos ir konstatētas plūdmaiņu pazīmes, kā arī izskalojuma jeb erozijas gultnes. Šādas pazīmes vienlaikus ar salīdzinoši rupjgraudaino sastāvu drīzāk raksturo deltas augšējo, nevis nogāzes daļu. Tipiskākā deltas augšējās daļas (angļu val. *delta top* jeb *delta plain*) pazīme ir nogulumu heterogēnais sastāvs un sarežģītā asociācija (Reineck and Singh, 1980).

## Secinājumi

- Lodes svītas sastāvs Latvijas un Igaunijas teritorijā ir nedaudz atšķirīgs – virzienā uz Igauniju pieaug smilšaino nogulumiežu īpatsvars, bet samazinās mālaino un aleirītisko nogulumu īpatsvars. Latvijā nodalītās Lodes svītas un Igaunijā definētās Lodes ridas stratigrāfiskais apjoms un robežas, domājams, sakrīt.

- Ar sīkdispersiem māliem aizpildītās depresijas Lodes svītas nogulumos, visticamāk, nav izplatītas viscaur šīs svītas izplatības laukumā – Igaunijā ne urbumu datus, ne pētītajos atsegumos līdzīgas formas nav atrastas.
- Liepas mālu atradnes teritorijā ir iespējams izsekot vismaz septiņas dažādas depresijas, kas aizpildītas ar sīkdispersu mālu materiālu. Depresijas izvietotas dažādos līmeņos Lodes svītā un uz tās robežas ar pagulošo Sietiņu svītu. Tas ļauj uzskatīt, ka tās izveidojušās dažādā laikā, tuklāt to aizpildījumā sastopamās tekstūras liecina, ka vismaz periodiski depresijas aizpildījušās gravitācijas plūsmu rezultātā.
- Latvijā Lodes svītas mālainie nogulumi, domājams, atbilst deltas nogāzes fācijai, ko raksturo reģionālais slīpais slāņu sagulums (Kuršs, 1975), noslēdzeno veidojumu un gravitācijas plūsmu pazīmju klātbūtne, savukārt Igaunijā sastopamie Lodes svītas nogulumi, domājams, uzkrājušies deltas virsējā daļā, ko tomēr ietekmējuši jūrā notiekošie plūdmaiņu procesi.

## Pateicības

Pētījums izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektos „Atbalsts maģistra studiju programmu īstenošanai Latvijas Universitātē” un „Atbalsts doktora studijām Latvijas Universitātē”.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Blāķe, D. 2010. Devona nogulumiežu slāņkopas uzbūves īpatnības Liepas mālu atradnē. *LU Raksti. Zemes un vides zinātnes*, 752, 8–18.
2. Kleesment, A. 1997. Formation of the Territory, Devonian sedimentation basin. In: Raukas, A. & Teedumaē, A. (eds.) *Geology and mineral resources of Estonia*. Tallinn, Estonian Academy Publishers, 205–209.
3. Kleesment, A., Mark-Kurik, E. 1997. Middle Devonian. In: Raukas, A. & Teedumaē, A. (eds.) *Geology and mineral resources of Estonia*. Tallinn, Estonian Academy Publishers, 112–121.
4. Kuršs, V. M. 1975. *Litologija i poleznie izkopaemie terrigenovo devona Glavnovo polja* [Lithology and mineral deposits of the terrigenous Main Devonian field]. Zinatne, Rīga. 221 c. [in Russian].
5. Kuršs, V. M. 1992. *Devonskoe terrigennoe osadkonakoplenie na glavnom devonskom pole* [Devonian terrigenous deposition on the Main Devonian field]. Zinatne, Rīga. 208 c. [in Russian].
6. Kuršs, V., Lukševičs, E., Upeniece, I., Zupiņš, I. 1998. Augšdevona klastiskie nogulumi un zivju atliekas Lodes mālu karjerā Latvijā (I daļa). *Latvijas Ģeoloģijas Vēstis*, 5, 7–19.
7. McConnico, T. S., Bassett, K. N. 2007. Gravelly Gilbert-type fan delta on the Conway Coast, New Zealand: Foreset depositional processes and clast imbrications. *Sedimentary Geology*, 198, 147–166.
8. Pipira, D., Stinkulis, G. 2011. Devona Lodes svītas uzbūve un sastāvs Liepas mālu atradnes rietumu daļā. *Latvijas Universitātes Raksti. Zemes un vides zinātnes*, 767. sēj., 117–124.



9. Pontén, A., Plink-Björklund, P. 2007. Depositional environments in an extensive tide-influenced delta plain, Devonian Baltic Basin. *Sedimentology*, 54, 969–1006.
10. Reineck, H. E., Singh, I. B. 1980. *Depositional Sedimentary environments*. New York, Springer – Verlag. 549 p.

#### NEPUBLICĒTĀ LITERATŪRA

Mukane, A., Aleksejev, V. 1977. Otchet o dorazvedke mestorozdenija glin Liepa v Cesissskom rajone 1975–1976 g.g. Tom 4. [*Report of additional exploration in Liepa clay pit; Cesis region; 1975–1976. Volume 4*] Rīga, Ministerstvo geologii SSSR.

### Summary

*Research is focused on distribution, composition, and interpretation of the origin of the Devonian Lode Formation. During the study 5 new outcrops of the Lode Formation in Liepa pit and 2 in Estonia on the banks of the River Piusa have been documented in details, and previously composed sections of the Lode Formation have been supplemented. Measurements of bedding elements, analysis of sedimentary and deformation structures and grain-size analysis have been performed. Indications of slump processes and gravity flows in the Lode Formation deposits in Liepa pit suggest delta slope environment during the formation of sequence. More sandy deposits with tidal indications and erosional surfaces in the Lode Member in Estonia suggest the delta plain environment.*

**Keywords:** *clay, delta slope, delta plain, gradational lamination, slumps.*

**Pamatjonu koncentrācijas izmaiņas pazemes ūdeņos,  
attīstoties depresijas piltuvei Rīgas apkārtnē**  
*Changes of Major Ions Content in Groundwater  
the Development of Depression Cone in the Riga Area*

**Baiba Raga**

Latvijas Universitāte  
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Alberta iela 10, Rīga, LV-1010  
E-pasts: *baiba.raga@lu.lv*

**Andis Kalvāns**

Latvijas Universitāte  
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Alberta iela 10, Rīga, LV-1010  
E-pasts: *andis.kalvans@lu.lv*

**Aija Dēliņa**

Latvijas Universitāte  
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Alberta iela 10, Rīga, LV-1010  
E-pasts: *aija.delina@lu.lv*

Rakstā pētītas pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas aktīvajā ūdens apmaiņas zonā Rīgas reģionā. Pētījumā izmantoti dati no Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra (LVĢMC) datubāzes aptuveni par 50 gadu ilgu periodu, iegūstot informāciju par galveno jonu koncentrāciju (mg/l) un pazemes ūdens līmeņu izmaiņām (m). Pazemes ūdeņu plūsmu raksturošanai un izpētei izmantots arī hidroģeoloģiskais modelis. Pētījuma mērķis ir noteikt, kā mainījies pazemes ūdens ķīmiskais sastāvs depresijas piltuves attīstības laikā, novērtējot antropogēnā mehānisma ietekmi un ūdens avotus, kas papildinājuši eksploatācijas horizontus. Rezultāti liecina, ka ievērojamākās sastāva izmaiņas notiek teritorijās, kur aktīvās apmaiņas zonas hidroģeoloģiskajā griezumā sastopami dažāda tipa ūdeņi, kuru savstarpējo sajaukšanos izraisa pazemes ūdens plūsmas vertikālās komponentes pastiprināšanās.

**Atslēgvārdi:** depresijas piltuve, Paipera diagramma, ūdens ķīmiskais sastāvs, ūdensieguve.

## Ievads

Pazemes ūdeņi ir nozīmīgs dzeramā ūdens resurss, tāpēc ir svarīgi tos efektīvi apsaimniekot, lai saglabātu kvalitātes prasībām atbilstošus dzeramā ūdens resursus. Neefektīva resursu apsaimniekošana var novest pie būtiskām pazemes ūdeņu kvalitātes un kvantitātes izmaiņām, līdz ar to ietekmējot citas dabas sistēmas vai pat izraisot ekoloģiskas problēmas.

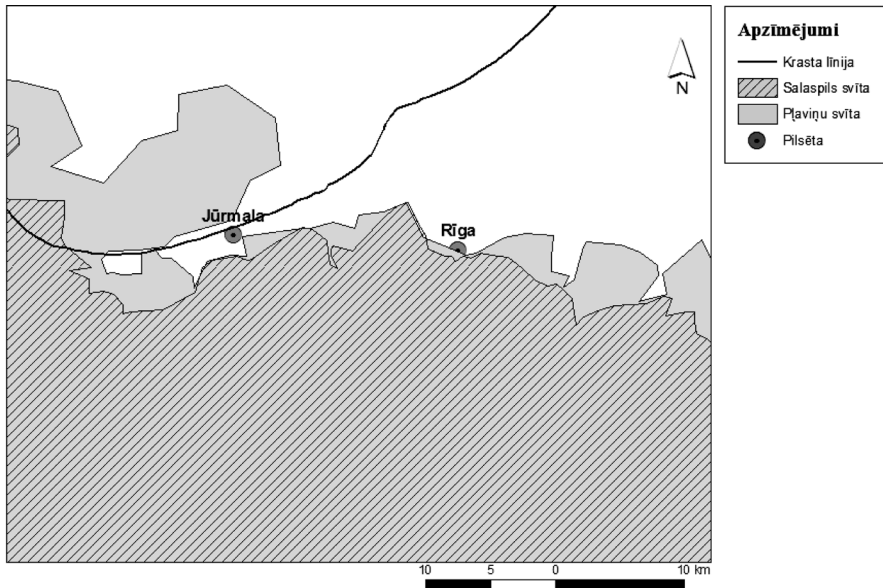
Ūdensapgādes vajadzībām Rīgas teritorijā 20. gs. 60. gadu pirmajā pusē sākās intensīva pazemes ūdeņu ieguve no aktīvās apmaiņas zonas, pamatā no augšdevona

Gaujas ūdens horizonta, kas ir daļa no Arukilas–Amatas ūdens horizontu kompleksa, ko veido teriģenie nogulumi. Tā rezultātā pazeminājās pazemes ūdeņu līmenis ekspluatētajos ūdens horizontos, bet galvenokārt Gaujas ūdens horizontā, veidojot t. s. depresijas piltuvi, kas maksimālo izplatību un ūdens līmeņa pazeminājumu aptuveni par 17 m Gaujas horizonta piltuves centrā sasniedza 20. gs. 70. gadu vidū (Levina u. c., 1998). Pēc tam, kad tika pievērsta lielāka uzmanība ūdens resursu efektīvākai izmantošanai, kā arī samazinoties ūdens patēriņam 20. gs. 90. gadu sākumā un vidū, pazemes ūdens līmenis Arukilas–Amatas ūdens horizontu kompleksā sāka atjaunoties, un mūsdienās tas ir praktiski nostabilizējies. Nelielas depresijas piltuves paliekas ir saglabājušās tikai atsevišķās vietās: Jūrmalā ar absolūtajām atzīmēm -2 līdz -3 m vjl., Jelgavā ap -1 m vjl. un Rīgā ar absolūtajām atzīmēm -2 līdz -3 m vjl. (Levina, Levins, 2006; Levina, Levins, 2005).

Pētījumā apskatīta teritorija aptuveni 80 km rādiusā ap Rīgu, kas ietver aptuvenās depresijas piltuves robežas tās maksimālās izplatības laikā. Tā kā Rīgas reģions pieder pie vislielākās urbanizētās teritorijas Latvijā ar aptuveni 900 000 iedzīvotāju, ir būtiski novērtēt tās dzeramā ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņu tendences Arukilas–Amatas ūdens kompleksā, kas radušās cilvēku saimnieciskās darbības rezultātā.

## Ģeoloģiskie un hidroģeoloģiskie apstākļi

Pētījumā apskatītas pazemes ūdens sastāva izmaiņas aktīvajā ūdens apmaiņas zonā, kas Latvijas teritorijā aptver visus ūdens horizontus no gruntsūdeņiem līdz vidusdevona Narvas reģionālajam sprostslnānim, Rīgas apkārtnē tie ir kvartāra, Pļaviņu–Amulas, Arukilas–Amatas ūdens horizontu kompleksi (Levins u. c., 1998).



1. attēls. Augšdevona Salaspils un Pļaviņu svītas izplatība

Fig. 1. Distribution of Upper Devonian Salaspils and Pļaviņas formation

Šajā teritorijā kvartāra nogulumu segas biezums ir no 10 līdz 40 m, ko pārsvarā veido Baltijas ledus ezera un augšpleistocēna Latvijas svītas glaciolimmiskie nogulumi – dažādgraudaina smilts un māls. Tāpat šajā teritorijā sastopami glaciģēnie, aluviālie, eolie, marīnie un purva nogulumi (Jansons u. c., 1971; Juškevičs u. c., 1999), kuros pārsvarā ir bezspiediena pazemes ūdeņi (Jansons u. c., 1965).

Zemkvartāra virsmā atsedzas vidusdevona un augšdevona nogulumi. Augšdevona Daugavas, Salaspils un Pļaviņu svīta sastāv no karbonātiskiem iežiem. Izņēmums ir Salaspils svīta, kur sastopami arī ģipša nogulumi. Šo trīs svītu kopējais biezums izpētes teritorijā ir 15–50 m, to izplatība redzama 1. attēlā.

Daugavas un Salaspils horizontā pazemes ūdeņu statistiskā līmeņa atzīmes ir ap 10 m vjl., atšķirība starp abiem horizontiem ir vien daži centimetri. Šajos horizontos dominē kalcija–sulfātu tipa pazemes ūdeņi (Jansons u. c., 1965). Zem Salaspils horizonta iegūļ Pļaviņu ūdens horizonts, kam izpētes teritorijā pjezometriskās virsmas atzīmes ir 2,2–2,8 m vjl. un kas pārsvarā satur kalcija–hidrogēnkarbonātu tipa ūdeņus (Jansons u. c., 1965).

Dziļāk iegūļ Arukilas–Amatas ūdens horizontu komplekss, kas ietver augšdevona Amatas un Gaujas svītas un vidusdevona Burtnieku un Arukilas svītas, kuras veido teriģēnie nogulumi. Tie pārsvarā ir smilšakmeņi, māli, aleirolīti un aleirītiski māli, kuru kopējais biezums ir 220–250 m (Jansons u. c., 1965; Jansons u. c., 1971). Pazemes ūdeņu statistiskais līmenis šajos četros ūdens horizontos ir 2–3,5 m vjl., un tie satur hidrogēnkarbonāta–kalcija tipa pazemes ūdeņus (Jansons u. c., 1965; Jansons u. c., 1971).

## Materiāli un metodes

Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs uztur datubāzes par pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva, fizikālo īpašību un līmeņa ilgtermiņa novērojumiem, kas tika izmantotas šī pētījuma īstenošanai. No datubāzes iegūta informācija par galveno jonu ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$  kopā ar  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  un  $\text{NH}_4$ ) koncentrāciju (mg/l) pazemes ūdeņos, ūdens pH, elektrovadītspēju ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), kopējo cietību (mg-ekv/l), kā arī par pazemes ūdens statistisko līmeņu atzīmēm (m vjl.).

## Datu analīzes metodes

Laika gaitā ūdens ķīmiskā sastāva noteikšanas metodes ir mainījušās, iespējams, ir arī pieļautas nozīmīgas kļūdas, tāpēc pirms turpmākās datu izmantošanas pētījumā tika veikta datu statistiskā analīze.

Datorprogrammas *MS Excel* vidē grafiskā veidā tika atspoguļots, kādas ir noteikta jona ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) no konkrēta monitoringa urbuma koncentrācijas izmaiņas novērojuma periodā. Izmantojot matemātisko regresiju, tika iegūta jonu koncentrācijas izmaiņu tendence laikā. No tālākās analīzes tika izslēgtas vērtības, kas atrodas divu standartnoviržu attālumā no aprēķinātās tendences līknes. Tā rezultātā tika iegūta datu kopa, kuras ticamība ir 97%. Izmantojot šo metodi, tika izslēgti kļūdaini mērījumi, kas traucētu tālākai pētījuma gaitai.

## Ūdens sastāva tipu noteikšana

Pēc galveno jonu ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ) datu statistiskās apstrādes un pārrēķina uz mg-ekv/l procentuālo saturu paraugā, datorprogrammā *R*

tika izveidotas Paipera diagrammas, kas raksturo pazemes ūdens ķīmisko sastāvu konkrētā monitoringa urbumā dažādos laika momentos.

Balstoties uz iegūtajām Paipera diagrammām, tika noteikti arī pazemes ūdens sastāva tipi, nosakot dominējošo katjonu un anjonu ūdens paraugā, kura relatīvā koncentrācija ir virs 50% (Domenico, Schwartz, 1980).

### **Pazemes ūdens līmeņa un plūsmu virzienu vizualizācija**

Pētījumā pazemes ūdens plūsmu raksturošanai tika izmantots Baltijas artēziskā baseina (turpmāk tekstā – BAB) hidroģeoloģiskais modelis, kas izveidots projektā „Starpnozaru zinātnieku grupas modeļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem”, balstoties uz modelēšanas sistēmu *MOSYS* (Seņņikovs, 2011). Savukārt aprēķinu vizualizācija un analīze tika veikta programmatūrā *HiFiGeo* (PAIC, 2002). Izmantojot aprēķinātos pazemes ūdeņu līmeņus dažādiem ūdensieguves variantiem (Klints et al., 2012), programmatūrā *HiFiGeo* tika izgatavoti hidroģeoloģiskie griezumi, kas attēlo gan modelētos pazemes ūdens plūsmas virzienus, gan ūdens līmeņu izmaiņas. Modelējot pazemes ūdeņu plūsmas, izmantoti trīs ūdensieguves varianti: 1950. gads raksturo cilvēka darbības neizmainīto situāciju, 1980. gads – izmainītos hidroģeoloģiskos apstākļus intensīvas ūdens ieguves rezultātā, bet situācija 2000. gadā ataino pazemes ūdeņu līmeņu atjaunošanos.

Izmantojot programmatūru *Surfer 9*, tika izgatavota karte, kas atspoguļo faktiskās (pēc novērojumu datiem) ūdens līmeņa izmaiņas Gaujas horizontā starp diviem periodiem – 1949.–1951. un 1970.–1972. gadu. Datu interpolācija tika veikta, izmantojot kringinga metodi (Webster, Oliver, 2007). Balstoties uz šo karti, depresijas piltuves teritorija tika sadalīta trīs zonās: centrālā, vidus zona un nomale (perifērija).

### **Ūdens tilpuma un sajaukšanās novērtējums**

Lielākā pazemes ūdens ieguves vieta bija Gaujas ūdens horizonts, tāpēc, lai aptuveni noteiktu kopējo iegūtā ūdens apjoma attiecību pret dabiskajiem krājumiem laika posmā no 1960. līdz 1995. gadam, tika veikti vienkārši aprēķini. Vispirms tika noteikts Gaujas svītas nogulumu kopējais tilpums depresijas piltuves centrālajā daļā, balstoties uz BAB hidroģeoloģiskā modeļa versiju V1. Pēc tam tika aprēķināta Gaujas svītas smilšakmeņu porainības (%) vidējā aritmētiskā vērtība. Nepieciešamie dati iegūti no ģeoloģiskās kartēšanas atskaitēm (Jansons u. c., 1965; Jansons u. c., 1971). Vienkāršu aprēķinu ceļā tika iegūta informācija par kopējo ūdens daudzumu ( $m^3$ ) depresijas piltuves centrālajā daļā. Savukārt, izmantojot datus par ūdens ieguvi no pazemes ūdeņu pamatmonitoringa atskaites (Levina, 1996), tika aprēķināts kopējais iegūtā pazemes ūdens daudzums un noteikta tā attiecība pret dabiskajiem krājumiem ( $m^3$ ).

Tā kā depresijas piltuves attīstības laikā ir notikusi starphorizontu pārtece, tika izveidotas sajaukšanās līknes, lai noteiktu iespējamus ūdens pieplūdes avotus, kas varēja izmainīt ūdens ķīmisko sastāvu. Uz vienas ass tika atliktas Cl<sup>-</sup> jona koncentrācijas vērtības, kas ir dabisks traseris (Raidla et al., 2008; Charef et al., 2011), kā arī liecinātu par sajaukšanos ar dziļākajiem ūdens horizontiem. Savukārt uz otras ass tika atliktas SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> jona koncentrācijas vērtības, kas norādītu par iespējamo ūdens pārteci no Salaspils horizonta, kur notiek ģipšu šķīšana.

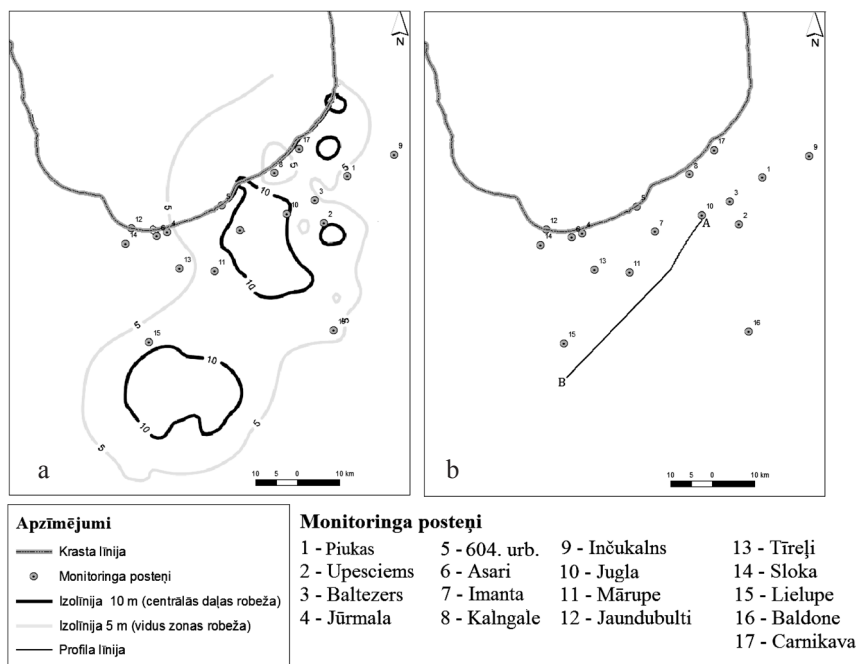
Par sākuma stāvokļiem katra monitoringa postenī tika ņemtas vidējās aritmētiskās vērtības gan no Arukilas, gan Salaspils horizonta datu kopas par visu novērojumu

periodu, savukārt beigu stāvokļa raksturošanai – 1. mērījums (visnenākais datubāzē pieejamais ieraksts) Gaujas horizontā attiecīgajā monitoringa postenī.

## Rezultāti: pazemes ūdeņu sastāva izmaiņas

### Līmeņu un plūsmas virzienu izmaiņas 50 gadu periodā Arukilas–Amatas ūdens horizontu kompleksā

Depresijas piltuve, kas attīstījusies Rīgā un 70–100 km rādiusā ap Rīgu, t. s. „Lielās Rīgas” teritorijā, iepriekšējos pārskatos (pētījumos) iedalīta divās zonās – depresijas centrālajā daļā un nomalē (Levina u. c., 1998). Šajā pētījumā „Lielās Rīgas” teritorija apskatīta, sadalot to trīs zonās, par pamatu ņemot iepriekšējo pētījumu rezultātus (Levina, 1997; Levina, 1998; Levina, Levins, 2005), kā arī karti, kur attēlotas pazemes ūdeņu līmeņu izmaiņas Gaujas ūdens horizontā starp 1949.–1951. gadu un 1970.–1972. gadu. To uzskatāmi var redzēt 2. a attēlā, kur atainotas centrālās, vidus un perifērijas zonas robežas. Centrālās zonas robeža noteikta pa izolīniju, kur līmeņa pazeminājums ir 10 m Gaujas ūdens horizontā. Savukārt viduszonas robeža noteikta pa izolīniju, ko raksturo 5 m ūdens līmeņa pazeminājums. Pazemes ūdens līmeņu izmaiņas un plūsmas virzieni tika apskatīti hidroģeoloģiskajā griezumā no Rīgas līdz Jelgavai (griezuma līniju sk. 2. b attēlā).

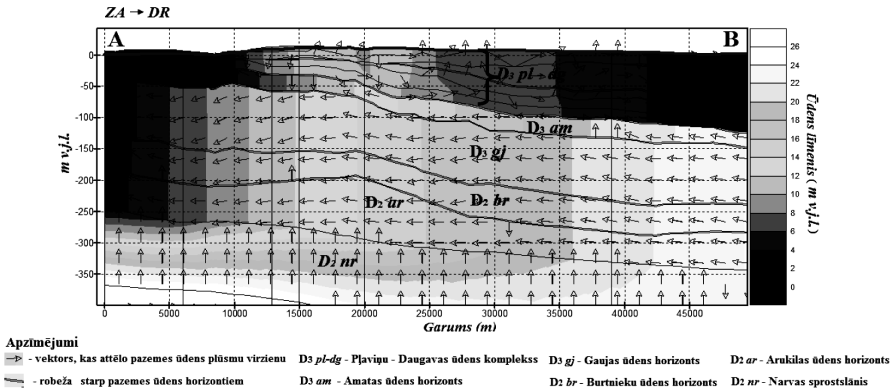


2. attēls. Pētījuma teritorija: a) depresijas piltuves zonu sadalījums; b) hidroģeoloģiskā griezumā līnija

Fig. 2. Territory of the study a) zoning of the depression cone; b) profile line of the hydrogeological cross-section

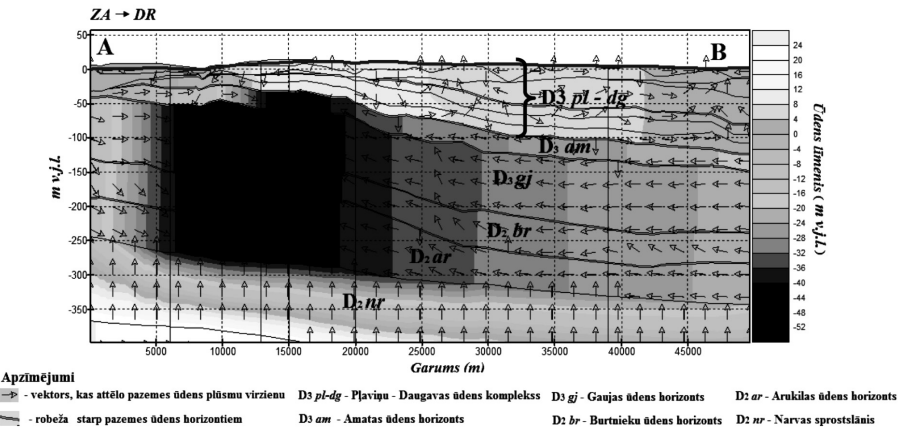
Pazemes ūdeņu plūsmas 3. attēlā raksturo cilvēka darbības rezultātā neizmaiņītos hidroģeoloģiskos apstākļus Arukilas–Amatas ūdens kompleksā 1950. gadā.

Aplūkojot spiedienu sadalījumu griezumā, var uzskatāmi redzēt, ka pazemes ūdeņu plūsmas ir orientētas virzienā no barošanās apgabaliem uz atslodzes vietu – Rīgas jūras līci. Tāpat skaidri nodalāmi Arukilas–Amatas un Pļaviņu–Amulas ūdens horizontu kompleksi, kam raksturīgi dažādi ūdens spiediena sadalījumi un plūsmas virzieni.



3. attēls. Modelētais pazemes ūdens plūsmas virziena un spiediena sadalījums hidroģeoloģiskajā griezumā A-B 1950. gadā

Fig. 3. Groundwater flow directions and distribution of piezometric head in the cross-section A-B in the year 1950



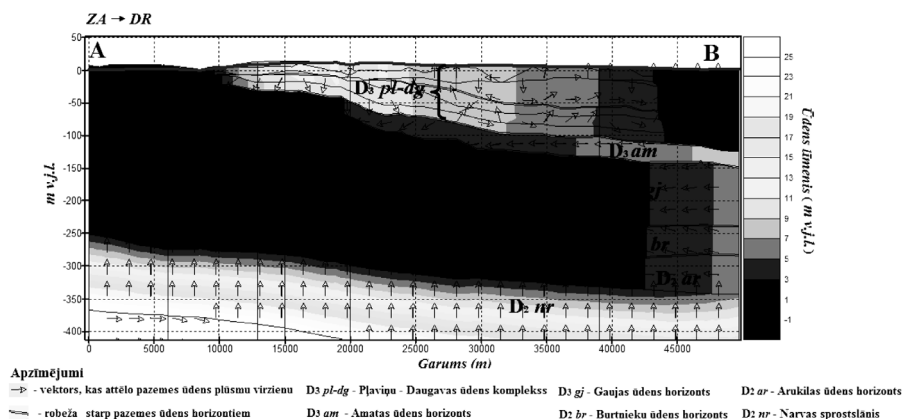
4. attēls. Modelētais pazemes ūdens plūsmas un spiediena sadalījums hidroģeoloģiskajā griezumā A-B 1980. gadā

Fig. 4. Groundwater flow directions and distribution of piezometric head in the cross-section A-B in the year 1980

1980. gadā skaidri iezīmējas hidroģeoloģisko apstākļu izmaiņas Arukilas–Amatas ūdens horizontā, jo būtiski ir pārorientējušies pazemes ūdeņu plūsmu virzieni un spiediena sadalījums. Plūsmas Arukilas–Amatas un Pļaviņu–Amulas ūdens kompleksā ir vērstas uz depresijas piltuves centru, kas atrodas Gaujas horizontā, tas

uzskatāmi redzams 4. attēlā. Maksimālais pazemes ūdens līmeņa pazeminājums – 17 m – Gaujas horizontā novērots 1978. gadā (LVĢMC bez dat.).

Aplūkojot modelēto situāciju 2000. gadā, desmit gadus pēc intensīvas ūdens ieguves samazināšanas, redzams, ka ūdens līmenis Gaujas horizontā ir atjaunojies. Savukārt novērotās ūdens līmeņu izmaiņas varētu būt saistītas ar pašreizējo ūdens ieguvi (sk. 5. attēlu). Līdz ar to ir novērojama pazemes ūdeņu plūsmu diferenciācija. Rīgas apkārtnē ir novērojamas pazemes ūdens plūsmas, kas ir orientētas uz depresijas piltuves centru, kā arī uz Rīgas jūras līci. Tāpat ir novērojama pazemes ūdens plūsmu sadalīšanās uz diviem lokāliem apgabaliem, kur ūdens ieguves dēļ ir pazemināts ūdens līmenis.



### 5. attēls. Modelētais pazemes ūdens plūsmas un spiediena sadalījums hidroģeoloģiskajā griezumā A-B 2000. gadā

Fig. 5. Groundwater flow directions and distribution of piezometric head in the cross-section A-B in the year 2000

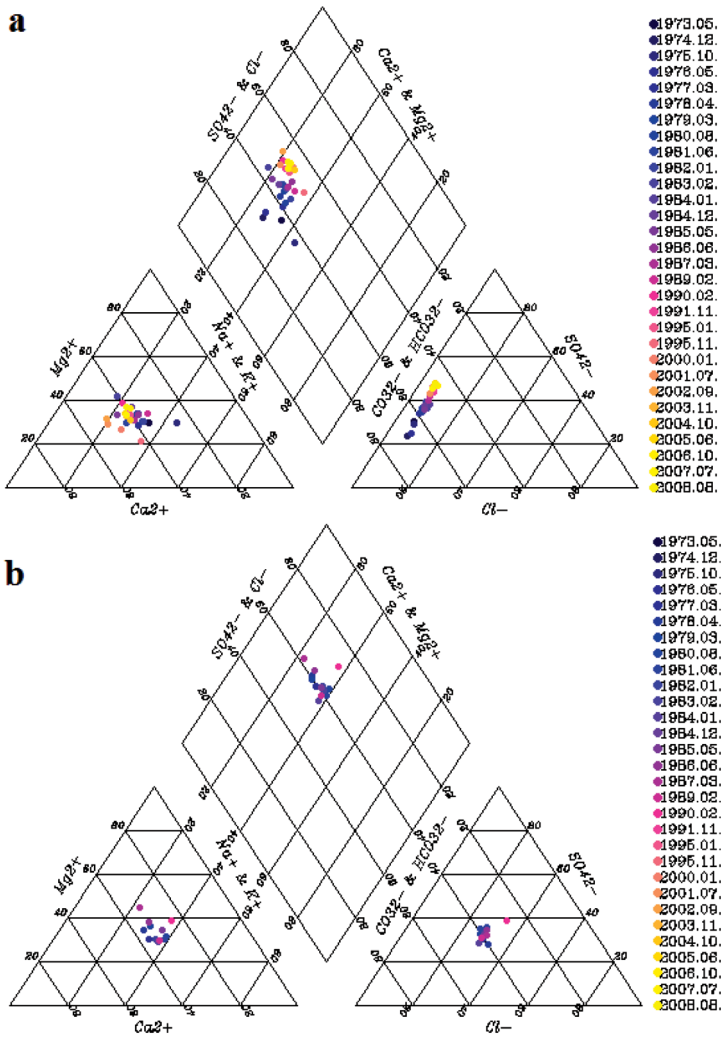
## Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas

### Centrālā daļa

Par Lielās Rīgas depresijas piltuves centru tiek uzskatīta daļa, kur pazemes ūdeņu līmeņa pazeminājums Gaujas ūdens horizontā ir vislielākais (< 10 m) un kur iegūtā ūdens daudzums laika posmā no 1960. līdz 1995. gadam ir aptuveni 25% no kopējā apjoma jeb 1/4. Šajā teritorijā pazemes ūdens sastāva izmaiņas tiek novērotas divās vietās – monitoringa postenī „Imanta” un 604. urbumu (sk. 2. a attēlu).

Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas ļoti ietekmē Salaspils svītas izplatība (sk. 1. attēlu). Monitoringa postenī „Imanta” ir novērojama sulfātu koncentrācijas palielināšanās dziļāk esošajos horizontos. Savukārt 604. urbumā šī tendence nav novērojama, kaut gan pazemes ūdens līmeņa pazeminājums Gaujas horizontā ir pietiekami liels attiecībā pret statisko ūdens līmeni. Šīs sastāva atšķirības uzskatāmi var novērot Paipera diagrammās (sk. 6. attēlu).

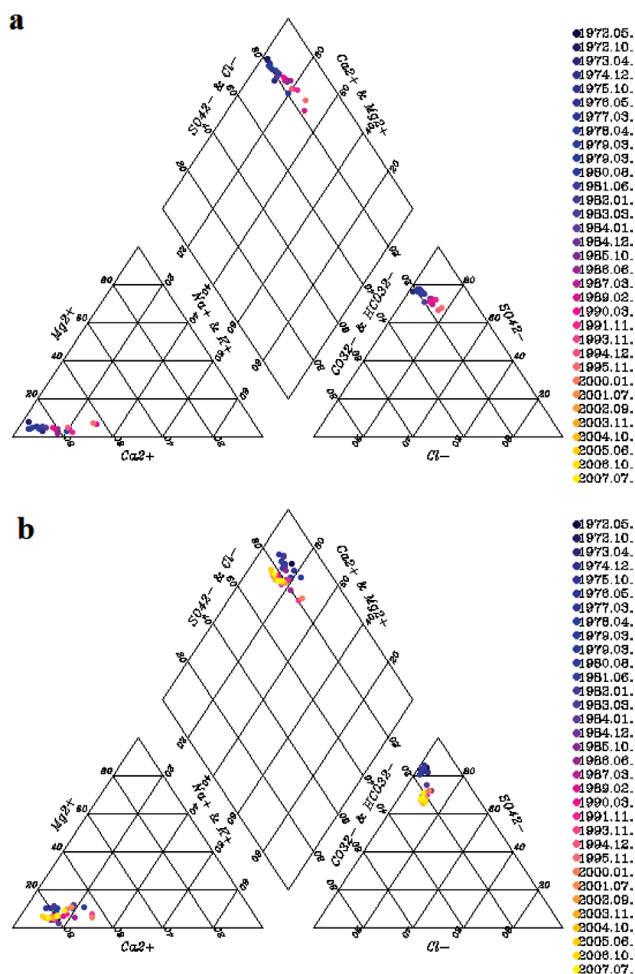




6. attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas: a) monitoringa postenis „Imanta,” 683. urbums, Gaujas ūdens horizonts; b) monitoringa urbums Nr. 604, Gaujas ūdens horizonts

Fig. 6. Changes of groundwater chemical composition a) monitoring post „Imanta”, well no. 683. , Gauja aquifer; b) monitoring well no. 604. , Gauja aquifer

Monitoringa postenī „Imanta” ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas ir novērojamas vairākos horizontos. Salaspils ūdens horizontā pēdējo piecdesmit gadu laikā palielinās nātrija un kālija jonu īpatsvars, nedaudz pieaug arī hlorīdjonu īpatsvars (sk. 7. a attēlu). Dziļāk ieguļ Pļaviņu ūdens horizonts, kura ūdeņos 20. gs. 70. gadu sākumā dominēja sulfātjoni, bet, sākot atjaunoties pazemes ūdens līmenim, pieauga hidroģenkarbonātu jonu saturs, un tādējādi ūdens tips no izteikta kalcija–sulfāta tipa palēnām pāriet uz kalcija–hidroģenkarbonāta tipa ūdeni (sk. 7. b attēlu).



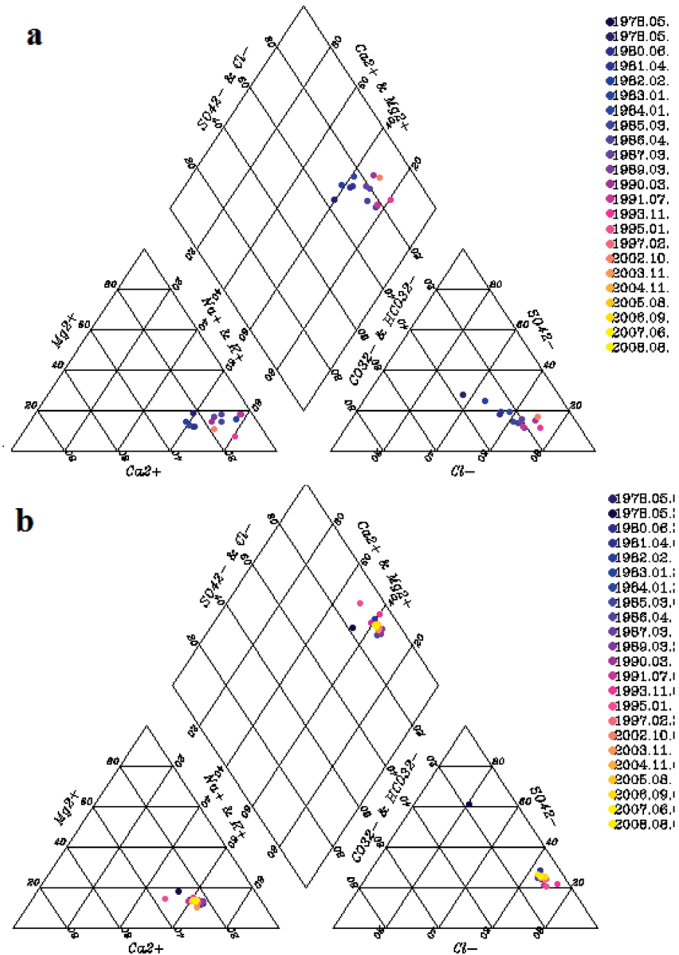
7. attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas: a) monitoringa postenis „Imanta”, 687. urbums, Salaspils horizonts; b) monitoringa stacija „Imanta”, 686. urbums, Pļaviņu horizonts

Fig. 7. Changes of groundwater chemical composition a) monitoring post „Imanta” well no.687, Salaspils aquifer; b) monitoring post „Imanta”, well no.686, Pļaviņas aquifer

### Vidējā zona

Par depresijas piltuves vidējo zonu tiek uzskatīta teritorija, kur ūdens līmeņu pazeminājums Gaujas ūdens horizontā ir amplitūdā no 5 līdz 10 m (sk. 2. a attēlu). Monitoringa postenī „Jugla” var novērot ļoti izteiktu dziļāko sāļūdeņu intrūziju seklākajos ūdens horizontos pa lūzumzonām, ko depresijas piltuves attīstība šajā teritorijā tikai pastiprina (Levina, Levins, 2005). Gaujas ūdens horizontā periodā no 1978. līdz 2003. gadam palielinās  $\text{Cl}^-$  un  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  jonu relatīvā koncentrācija (sk. 8. attēlu). Sajaucoties ar hidrogēnkarbonātu un sulfātu pazemes ūdeņu tipiem, Gaujas horizontā veidojas pazemes ūdeņi ar augstu kalcija, magnija, nātrija,

hidrogēnkarbonātu, sulfātu un hlorīdu koncentrāciju (Levina, Levins, 2005). Tieši Arukilas ūdens horizonts, kas ieguļ saldūdens zonas apakšējā daļā un atrodas tieši virs Narvas reģionālā sprostslāņa, tiek uzskatīts par sāļūdens avotu (Levina, Levins, 2005).



8. attēls. Pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas monitoringa postenī „Jugla”:  
 a) 1502. urbums, Gaujas ūdens horizonts; b) 1504. urbums, Arukilas ūdens horizonts  
 Fig. 8. Changes of groundwater chemical composition in monitoring post „Jugla”  
 a) well no. 1502, Gauja aquifer; b) well no. 1504 Arukila aquifer

Monitoringa postenī „Mārupe” Amatas ūdens horizontā ir novērojama tendence palielināties  $\text{Ca}^{2+}$  un  $\text{SO}_4^{2-}$  jonu relatīvajai koncentrācijai. Tas liecina par Salaspils horizonta ūdens intrūziju, ko izraisījusi ūdens līmeņa pazemināšanās Gaujas horizontā, bet pašā horizontā būtiskas ķīmiskā sastāva izmaiņas nav novērojamas. Tas izskaidrojams ar urbuma slikto tehnisko stāvokli, jo, noņemot ūdens paraugu no dziļākiem horizontiem, notiek arī pietece no Salapils ūdens horizonta.

Uz rietumiem no monitoringa posteņa „Mārupe” atrodas postenis „Tīreļi” (sk. 2. a attēlu). Šeit nav novērojamas izteiktas pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas aktīvajā ūdens apmaiņas zonā depresijas piltuves attīstības laikā. Līdzīga situācija ir novērojama monitoringa postenī „Zaķumuiža”, kas atrodas Daugavas labajā krastā.

Monitoringa posteni „Kalngale”, „Jūrmala” un „Carnikava” atrodas Rīgas jūras līča piekrastē (sk. 2. a attēlu). Kaut arī ūdens līmenis ir pazeminājies, kas varēja izraisīt jūras ūdens intrūziju, būtiskas ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas nav konstatējamas.

Monitoringa postenī „Baltezers” starp diviem urbumiem, kuru filtri ierīkoti Gaujas ūdens horizontā, ir novērojamas atšķirīgas ķīmiskā sastāva izmaiņas laikā. 7. urbumā, kur filtra intervāls atrodas dziļumā no -79 līdz -82 m vjl. (LVGMC bez dat.), pieaug  $\text{Ca}^{2+}$  un  $\text{SO}_4^{2-}$  jonu saturs. Savukārt 6. urbumā, kur filtrs atrodas aptuveni 30 m dziļāk, samazinās  $\text{Ca}^{2+}$  un  $\text{SO}_4^{2-}$  jonu relatīvā koncentrācija attiecībā pret pirmo šajā urbumā veikto mērījumu. Situāciju iespējams skaidrot tā, ka ūdens no Gaujas horizonta dziļākās daļas sajaucas ar ūdeni no pagulošajiem horizontiem.

Monitoringa postenī „Jaundubulti” var novērot, ka Gaujas, Burtnieku un Arukilas ūdens horizontā ir sastopami viena tipa ūdeņi. Visos horizontos ir novērojama augstāka sulfātu jonu relatīvā koncentrācija, kā avots, iespējams, ir Salaspils horizonts, jo vertikālā griezumā ir novērojama  $\text{SO}_4^{2-}$  koncentrācijas samazināšanās.

### **Perifērija (nomale)**

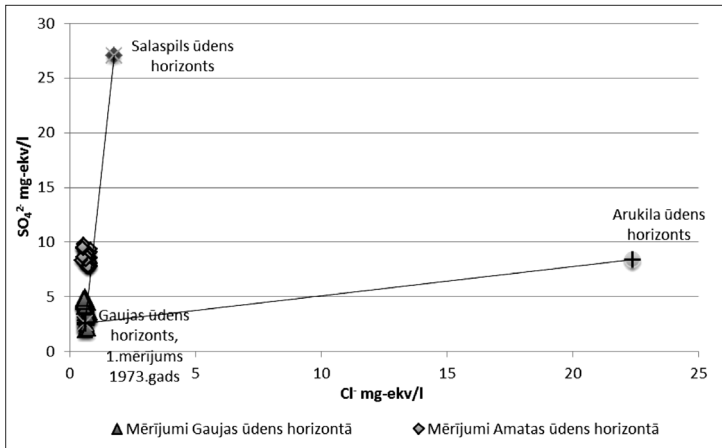
Par depresijas piltuves perifēriju tiek definēta teritorija, kur pazemes ūdeņu līmeņu izmaiņas ilgtermiņā ir ļoti minimālas. Šajā teritorijā būtiskas ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas nav konstatētas. Gaujas horizontā ir pārsvarā viens ūdens tips: kalcija – hidrogēnkarbonāta. Ir atsevišķi izņēmumi, piemēram, monitoringa postenis „Sloka”, kur sastopams kalcija–sulfātu tipa ūdens. Tas izskaidrojams ar ūdens horizonta papildināšanos no Salaspils horizonta, kur ir arī kalcija–sulfātu ūdens tips.

## **Diskusija: antropogēnā ietekme uz ūdens sastāva izmaiņām – tās mehānisms**

Pazemes ūdens resursu intensīva izmantošana un ar to saistītās izmaiņas hidrodinamiskajā sistēmā ir izplatītas daudzās urbanizētās teritorijās visā pasaulē, tās izraisa virkni dažādu problēmu, sākot ar ūdens kvalitātes problēmām līdz pat ēku deformācijai grunts sēšanās rezultātā (Bell, 1999).

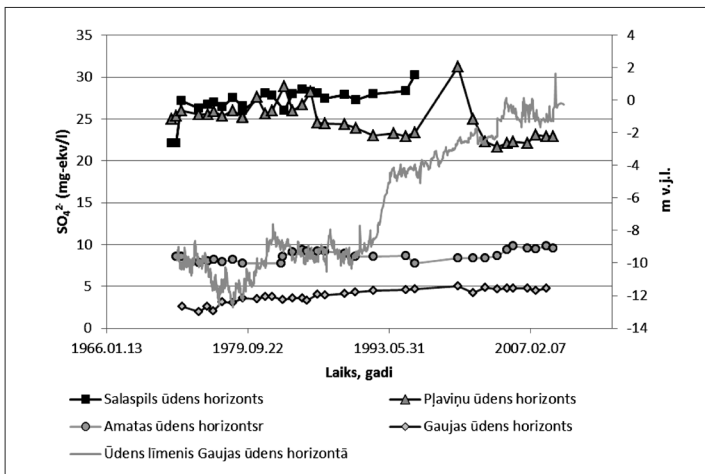
„Lielās Rīgas” gadījumā ir novērojamas būtiskas pazemes ūdens līmeņa svārstības un pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas Arukilas–Amatas ūdens horizontu kompleksā. Veicot monitoringa novērojumu datu analīzi, var secināt, ka pazemes ūdens ķīmiskā sastāva izmaiņas notikušas, sajaucoties dažādas ģenēzes un tipa ūdeņiem. Laika posmā no 1960. līdz 1995. gadam depresijas piltuves centrālajā daļā iegūtais ūdens daudzums ir salīdzināms ar  $\frac{1}{4}$  no Gaujas ūdens horizonta dabiskajiem krājumiem šajā daļā. Dabisko krājumu atjaunošanās horizontā notika, tiem papildinoties ar dabiskajiem resursiem, kā arī t. s. piesaistāmajiem resursiem, kas radās horizonta eksploatācijas rezultātā, un šajā gadījumā notika pazemes ūdeņu pārtece no seklāk un dziļāk iegulošiem ūdens horizontiem.

Apskatot pazemes ūdens ķīmisko sastāvu piltuves centrālajā daļā ilgākā laika posmā, ir novērojamas secīgas jonu koncentrāciju izmaiņas, kas liecina par dažādu tipu ūdeņu sajaukšanos. To uzskatāmi ataino arī konstruētās līknes (sk. 9. attēlu). Pēc tām var redzēt, ka notikusi kalcija–sulfātu tipa ūdens infiltrācija dziļākajos horizontos. Bet, kā jau iepriekš minēts, tas novērojams tikai teritorijā, kur izplatīta Salaspils svīta.



9. attēls. Dažādu ūdens tipu sajaukšanās monitoringa postenī „Imanta”  
 ( — — sajaukšanās līkne starp Salaspils un Gaujas horizonta ūdeni,  
 - - - - sajaukšanās līkne starp Arukilas un Gaujas horizonta ūdeni)

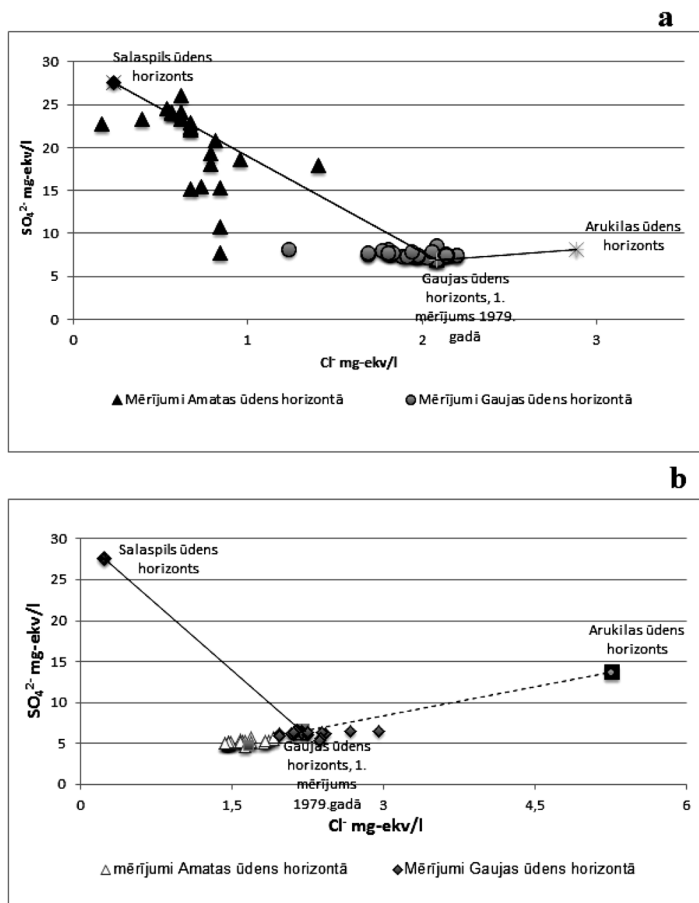
Fig. 9. *Mixing of water of different types in monitoring station „Imanta”*  
 ( — - mixing line of water from Salaspils and Gauja aquifer,  
 - - - - mixing line of water from Arukila and Gauja aquifer)



10. attēls. Sulfātjona koncentrācijas un Gaujas horizonta ūdens līmeņa izmaiņas monitoringa stacijā „Imanta”, depresijas piltuves centrālā daļā

Fig. 10. *Changes of sulphate ion concentration and piezometric level of Gauja aquifer in monitoring post „Imanta”, central part of depression cone*

Depresijas piltuves centrālajā daļā ir bijusi intensīvāka Salaspils horizonta ūdens intrūzija dziļākajos ūdens horizontos. Bet, kā redzams 10. attēlā, izmaiņas Amatas un Gaujas ūdens horizontā notiek ar ievērojamu laika nobīdi attiecībā pret ūdens līmeņa izmaiņām. Tā iemesls var būt mazcaurlaidīgo iežu slāņi, kas atdala pazemes ūdens horizontus (LVĢMC bez dat.). Savukārt pēc sulfāta koncentrācijas izmaiņām Pļaviņu horizontā var novērot, ka, 20. gs. 80. gadu sākumā Gaujas horizontā ūdens līmenim atjaunojoties par 4 m, lejup orientēto plūsmu intensitāte mazinās.



11. attēls. Dažādu ūdens tipu sajaukšanās: a) monitoringa postenis „Mārupe”;

b) monitoringa postenis „Tīreļi”

(— – sajaukšanās līkne starp Salaspils un Gaujas horizonta ūdeni;

--- – sajaukšanās līkne starp Arukilas un Gaujas horizonta ūdeni)

Fig. 11. Mixing of water of different types a) monitoring post „Mārupe”;

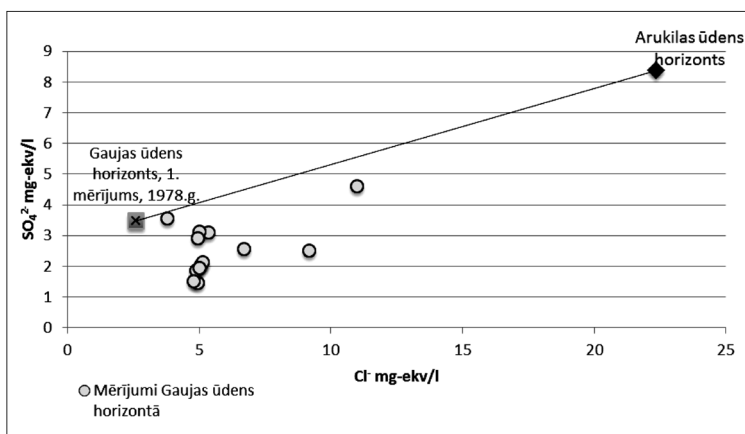
b) monitoring station „Tīreļi”

(— - mixing curve of water from Salaspils un Gaujas aquifer,

--- - mixing line of water from Arukila un Gaujas aquifer)

Depresijas piltuves vidējā zonā, monitoringa postenī „Mārupe” Amatas horizontā, ir novērojama laba korelācija starp sulfātjonu un Gaujas horizonta ūdens līmeņa izmaiņām, ko raksturo determinācijas koeficients, kura vērtība ir 0,75. Iepriekšējos pētījumos šīs izmaiņas skaidrotas ar nekvalitatīvi ierīkotu monitoringa urbumu (Semjonovs, 1997). Šis apgalvojums varētu būt patiess, jo dziļākajā Gaujas horizontā sulfātjona koncentrācijas pieaugums nav novērojams. Arī apskatot sajaukšanās līknes starp Arukilas, Gaujas un Salaspils horizonta ūdeni monitoringa postenī „Mārupe” un „Tīreļi”, kur hidroģeoloģiskie apstākļi ir līdzīgi (sk. 11. attēlu), var novērot, ka „Tīreļos” pazemes ūdens ķīmiskais sastāvs Amatas horizontā mainījies, sajaucoties ar kalcija–hidrogēnkarbonāta tipa ūdeni. Par iespējamo avotu tiek uzskatīts Pļaviņu horizonts.

Iepriekšējos pētījumos monitoringa postenī „Jugla” ir konstatēta Arukilas horizonta ūdens intrūzija Gaujas horizontā (Levina, Levins, 2006). To arī labi ataino izveidotā sajaukšanās līkne, starp Gaujas un Arukilas horizonta ūdeni (sk. 12. attēlu).



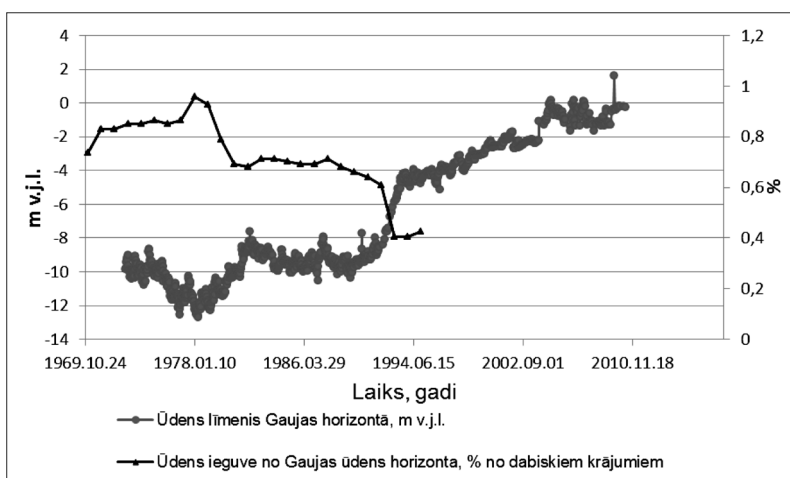
12. attēls. Dažādu ūdens tipu sajaukšanās monitoringa postenī „Jugla”  
(— – sajaukšanās līkne starp Arukilas un Gaujas horizonta ūdeni)

Fig. 12. Mixing of water of different types in monitoring post „Jugla”  
(— - mixing line of water from Arukilas un Gaujas aquifer)

Ūdens pārtece no citiem horizontiem ir izskaidrojama ar ekspluatētā horizonta vajadzību pēc papildu resursiem. To piemin arī Custodio (2002), norādot, ka ekspluatācijas periodā papildināšanās process ir vēl lielāks nekā dabiskajos, cilvēka darbības neizmainītajos hidroģeoloģiskajos apstākļos. Pēc sajaukšanās līknēm var redzēt, ka lielāka dažādu ūdens tipu sajaukšanās ir raksturīga vienā ūdens kompleksā, jo reģionālā ūdens plūsma ekspluatācijas horizontā sajaucas ar hidrauliski ciešāk saistītiem horizontiem (Esteller et al., 2010). Depresijas piltuves teritorijā nav novērojama papildu barošana no Rīgas jūras līča, kā tas ir raksturīgs daudzās urbanizētās teritorijās, kas atrodas pie jūrām, okeāniem. Šis process ir novērojams tikai aktīvās ūdens apmaiņas zonas augšējās ūdens horizontos, kur jūras ūdens intrūzija notiek caur Daugavas gultni (Levins u. c., 1998). Tam par iemeslu ir fakts, ka Rīgas reģionam salīdzinājumā ar Liepāju ir labāki hidroģeoloģiskie

apstākļi. Rīgā un tās apkārtnē Arukilas–Amatas ūdens kompleksu Rīgas jūras līcī pārsedz ūdensnecaurlaidīgs mālu un aleirītu slānis (Semjonovs, 1997).

Viens no lūzuma punktiem depresijas piltuves attīstībai ir 20. gs. 70. gadi. Tā kā ievērojami kritās ūdens līmenis un bija vajadzība pēc lielākiem dzeramā ūdens resursiem, tika samazināta ūdens ieguve no Gaujas horizonta, paralēli palielinot virszemes ūdeņu īpatsvaru ūdensapgādē (Levins, 1999). Iespējams, līdz šim periodam arī notika ūdens pārtece no citiem horizontiem. Savukārt otrs lūzuma punkts ir 20. gs. 90. gadu sākums, kad samazinās pazemes ūdens patēriņš industriālām vajadzībām. 13. attēlā uzskatāmi var redzēt, ka centrālajā daļā ūdens ieguves ietekme uz pjezometriskā līmeņa svārstībām Gaujas horizontā ir tieša un bez izteiktas laika nobīdes.



13. attēls. Ūdens ieguves un ūdens līmeņa izmaiņas Gaujas ūdens horizontā monitoringa postenī „Imanta”

Fig. 13. Water extraction and groundwater level changes in Gauja aquifer in monitoring station „Imanta”

Vēl viena no depresijas piltuves teritorijā sastopamajām problēmām ir pazemes ūdens piesārņojums antropogēnās darbības rezultātā. Salaspils horizontā monitoringa postenī „Imanta” laika gaitā secīgi palielinās  $\text{Na}^+$  un  $\text{Cl}^-$  jonu relatīvā koncentrācija (sk. 7. a attēlu). Tā kā dziļākajos horizontos šādas izmaiņas nav novērojamas, tiek pieņemts, ka šo jonu avots varētu būt sāls, ko izmanto ielu kaisīšanai, vai arī radies no citiem cilvēka saimnieciskās darbības izraisītiem procesiem, kas var paaugstināt hlorīdu koncentrāciju (Kegabu et al., 2011; Esteller et al., 2010). Virs Salaspils svītas uzguļ smilšmāls, kura biezums ir  $\sim 4$  m, bet virs tā atrodas aptuveni 10 m biezs smilts slānis (LVĢMC bez dat.). Pēc A. Dēliņa un J. Prola 1998 gadā izstrādātajiem kritērijiem (Dēliņa, 2007), smiltij dabiskās aizsargātības pakāpe ir vāja, savukārt morēnas smilšmālam – augsta. Ņemot vērā kvartāra nogulumu biezumu un dabiskās aizsargātības kritērijus, Salaspils horizonta ūdens kvalitāti piesārņojumam nevajadzētu ietekmēt. Tomēr novērojumi liecina par pretējo, tāpēc pastāv iespēja, ka notiek tieša pazemes ūdeņu papildināšanās ar virszemes ūdeņiem.



## Secinājumi

- Ūdens ieguves izmaiņas bez būtiskas laika nobīdes ietekmē pazemes ūdens līmeņa pazemināšanos un atjaunošanos.
- Gaujas ūdens horizonts centrālajā daļā galvenokārt papildinās no pārsedzošajiem ūdens horizontiem, bet vidus zonā – no dziļāk esošajiem Arukilas un Burtnieku ūdens horizonta.
- Savstarpēji hidrauliski nošķirtos ūdens horizontu kompleksos, kā Arukilas–Amatas un Pļaviņu–Amulas, ķīmiskā sastāva izmaiņas depresijas piltuves centrālajā daļā parādās ar laika nobīdi.
- Hidrauliski saistītos pazemes ūdens horizontos ūdens līmeņa pazemināšanas dēļ ķīmiskā sastāva izmaiņas notiek ar maznozīmīgu laika nobīdi.

## Pateicības

Pētījums veikts ar projekta Nr. 2009/0212/IDP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/060 „Starpnozaru zinātnieku grupas un modeļa sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem” finansiālo atbalstu.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Bell, F. G. 1999. *Geological hazards: their assessment, avoidance and mitigation*. E & FN Spon, London. 648 p.
2. Charef, A., Ayed, L., Azzouzi, R. 2011. *Impact of natural and human processes on the hydrochemical evolution of overex-ploited coastal groundwater: Case study of the Mornag aquifer refill (South-East Tunis, Tunisia)*. *Chemie Erde - Geochemistry*.
3. Custodio, E. 2002. Aquifer overexploitation: what does it mean? *Hydrogeology Journal*, 10, 254–277.
4. Dēliņa, A. 2007. *Kvartārsegas pazemes ūdeņi Latvijā*. Rīga, Latvijas Universitāte. 52 lpp.
5. Domenico, P. A., Schwartz, F. W. 1998. *Physical and chemical hydrogeology*. Second edition. John Wiley & Sons, New York. 502 p.
6. Esteller, M. V., Rodriguiz, R., Cardona, A., Padilla-Sanohez, L. 2010. Evaluation of hydrochemical changes due to intensive aquifer exploitation: case studies from Mexico. *Environmental monitoring and assesment*. Published online: 14 October 2011.
7. Jansons, A., Bendrupe, L., Turkina, L. 1965. *Pārskats par 1:50 000 mēroga komplekso ģeoloģisko un hidroģeoloģisko kartēšanu, lapas O-35-97-V un O-35-109-A (Daugavas kartēšanas grupa), 1963.–65. g.* Ģeoloģijas pārvalde, Rīga. 1151 lpp.
8. Jansons, A., Bendrupe, L., Turkina, L. 1971. *Pārskats par hidroģeoloģisko kartēšanu 1:50 000 mērogā Jūrmalas pilsētas ūdensapgādei, lapas O-34-107-G, O-34-119-B un O-34-120-A,B, 1967.–1971. g.* Ģeoloģijas pārvalde, Rīga. 812 lpp.
9. Juškevičs, V., Mūrnieks, A., Misāns, J. 1999. *Latvijas ģeoloģiskā karte, mērogs 1:200000, 42. lapa – Jūrmala*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 52 lpp.
10. Kegabu, M., Shimada, J., Delinom, R., Tsujimura, M., Taniguchi, M. 2011. Groundwater flow system under a rapidly urbanizing coastal city as determined by hydrogeochemistry. *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 40, 226–239 p.
11. Klints, I., Virbulis, J., Dēliņa, A. 2012. *Influence of water abstraction on groundwater flow in the BAB*. Groundwater in Sedimentary Basins Abstract book. Riga. 48 p.

12. Levina, N. 1996. *Pazemes ūdeņu monitorings, 1995. g.* Informatīvs pārskats. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 31 lpp.
13. Levina, N. 1997. *Pazemes ūdeņu monitorings, 1996. g.* Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 46 lpp.
14. Levina, N., Levins, I., Gaile, R., Cīrulis, A. 1998. *Pazemes ūdeņu monitorings, 1997. gads.* Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 55 lpp.
15. Levina, N., Levins, I. 2005. *Pazemes ūdeņu pamatmonitorings, 2004. gads.* Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra, Rīga. 345 lpp.
16. Levina, N., Levins, I. 2006. *Pazemes ūdeņu pamatmonitorings, 2005. gads.* Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra, Rīga. 335 lpp.
17. Levina, N., Levins, I., Gaile, R., Cīrulis, A. 1998. *Pazemes ūdeņu monitorings, 1997. gads.* Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 55 lpp.
18. Levins, I. 1990. *Latvijas hidroķīmiskā karte 1:500 000 mērogā. Materiāli tēmai „Baltijas republiku hidroģeokīmiskās un inženierģeoloģiskās kartes sastādīšana 1:500 000 mērogā.”* Latvijas ģeoloģija, Rīga. 95 lpp.
19. Levins, I. 1999. *Nacionālā plānojuma sadaļas „Pazemes ūdeņu bilance un kvalitāte” II etaps (Latvijas dzeramo pazemes ūdeņu karte. Pazemes ūdeņu aizsargātības karte).* Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 30 lpp.
20. Levins, I., Levina, N., Gavēna, I. 1998. *Latvijas pazemes ūdeņu resursi.* Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga. 24 lpp.
21. LVĢMC [Bez dat.] DB „hmetlimeni” (Latvijas urbumu datubāze) Sk. 15.02.2012.
22. PAIC. 2002. *HiFiGeo v.3.5 for Windows 95/98/2000/NT/XP.* Lietotāja rokasgrāmata, 67.
23. Raidla, V., Kirsimāe, K., Vaikmāe, R., Jõeļeht, A., Karro, E., Marandi, A., Savitskaja, L. 2009. Geochemical evolution of groundwater in the Cambrian–Vendian aquifer system of the Baltic Basin. *Chemical Geology* 258. 219–231 p.
24. Semjonovs, I. 1997. *Pazemes ūdeņu aizsardzība Latvijā.* Gandrs. Rīga. 463 lpp.
25. Seņņikovs, J. 2011. Baltijas artēziskā baseina matemātiskais modelis. *Latvijas Universitātes 69. zinātniskā konference. Ģeoloģijas sekcijas apakšsekcija „Baltijas artēziskā baseina pazemes ūdeņi.” Referātu tēzes.* Rīga, Latvijas Universitāte, 7.–9. lpp.
26. Webster, R., Oliver, M. A. 2007. *Geostatistics for environmental scientists.* Second Edition. John Wiley & Sons Ltd, Chichester. 315 p.

## Summary

*This study analyses the groundwater chemical composition changes in the depression cone in the Riga region. In the study, long-term monitoring data from „Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre” database has been used to track groundwater chemical changes in aquifers of active water exchange zone, to establish the influence of anthropogenic factor and possible sources that supplement the exploitation aquifers. Changes in groundwater flow in the area of the depression cone were studied using a hydrogeological model. Significant changes in water chemical composition in areas, where lowering of piezometric surface was sufficient to cause stronger downward flow from upper aquifers and in hydrogeological cross-section of active water exchange zone different types of water are determined.*

**Keywords:** *depression cone, Piper diagram, chemical composition of water, water extraction.*

**Pilnīgās atstarošanas rentgenfluorescences pielietojums  
mikroelementu un makroelementu analīzei pazemes ūdeņos**  
*Application of a Total Reflection X-ray Fluorescence  
Spectrometry to the Analysis of Trace and Major Elements  
in Groundwater*

**Inga Retiķe, Andis Kalvāns,  
Aija Dēliņa, Alise Babre,  
Baiba Raga, Eleonora Pērkone**

Latvijas Universitāte  
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Raiņa bulvāris 19, Rīga, LV-1586  
E-pasts: [inga.retike@lu.lv](mailto:inga.retike@lu.lv)

Pētījumā aplūkotas pilnīgās atstarošanas rentgenfluorescences spektrometra izmantošanas iespējas mikroelementu un makroelementu noteikšanai divdesmit pazemes ūdens paraugos. Rezultāti tika salīdzināti ar datiem, kas iegūti, paraugus analizējot ar atomabsorbcijas spektrometriju (AAS) un induktīvi saistītās plazmas masspektrometriju (ICP-MS) analīzes metodi. Lai pārliecinātos par metožu sniegto rezultātu pareizību, tika analizēti sertificēti references ūdens paraugi ERM CA011b- *Hard Drinking water* UK un IV-ICPMS-71A. Rezultāti rāda, ka, izmantojot PicoTax TXRF spektrometru, ar vairākiem izņēmumiem ir iespējams iegūt pareizus rezultātus. TXRF metode nespēj aizvietot ICP-MS analīzes metodi, tomēr tā ir konkurētspējīga ar AAS metodi.

**Atslēgvārdi:** pilnīgās atstarošanas rentgenfluorescences spektrometrija (TXRF), PicoTAX, ICP-MS, AAS, pazemes ūdeņi.

## **Ievads**

Dzeramā ūdens ķīmiskā sastāva pētījumi ir viens no aktuālākajiem pētījumu virzieniem pasaulē (Baratía et al., 2010; Dinelli et al., 2012; Frengstad et al., 2010), jo mūsu veselību ietekmē uzturā lietojamā ūdens kvalitāte. Pazemes ūdeņi ir nozīmīgākais dzeramā ūdens resurss Latvijā, tomēr to kvalitātes monitorings galvenokārt aprobežojas ar makroelementu un fizikāli ķīmisko parametru noteikšanu tajos. Lai gan mikroelementi veido daļu parametru, kas nosaka pazemes ūdeņu atbilstību dzeramā ūdens kvalitātes prasībām (Dzeramā ūdens., 2003), tomēr šādas analīzes ir samērā dārgas un Latvijā tiek veiktas reti.

Pieejamos datus par mikroelementu saturu Latvijas pazemes ūdeņos var iedalīt divās lielās grupās – vēsturiskie un mūsdienu dati. Vēsturiskie dati ir iegūti, meklējot derīgos izraktnus PSRS laikā, un nav iespējams novērtēt šo datu kvalitāti, kā arī salīdzināt ar datiem, kas iegūti jaunākajos pētījumos. Turpretī jaunākos laikos ir īstenots tikai viens apjomīgs pētījums par mikroelementu saturu pazemes

ūdeņos (Gosk et al., 2006; Levins and Gosk, 2007). Šajā pētījumā tika noteikta mikroelementu koncentrācija galvenokārt sekli iegulošajos pazemes ūdeņos Latvijā, lai noskaidrotu antropogēnā piesārņojuma ietekmi uz gruntsūdeņiem.

Pilnīgās atstarošanas rentgenfluorescences spektrometrijas (angļu val. *total reflection x-ray fluorescence spectrometry- TXRF*) izmantošana mikroelementu noteikšanai dažāda tipa ūdeņos pirmoreiz tika lietota jau 20. gs. 80. gadu sākumā (Beckhoff et al., 2006; Bohlen, 2009) un ar vairākiem uzlabojumiem joprojām tiek plaši izmantota daudzviet pasaulē (Dhara and Misra, 2011; Juvonen, 2009; Valentinuzzi et al., 2006). Šīs metodes priekšrocības salīdzinājumā ar tādām biežāk izmantotām analītiskajām metodēm kā induktīvi saistītās plazmas masspektrometrija (ICP-MS) un atomabsorbcijas spektrometrija (AAS) ir samērā lētās izmaksas, neliels analīzēm nepieciešamais ūdens parauga tilpums (parasti < 1 ml), kā arī ātra parauga sagatavošana analīzēm un iespēja mērīt katru paraugu atsevišķi, izvairoties no parauga konservēšanas un/vai ilgas glabāšanas.

TXRF ir samērā precīza analīzes metode (PicoTAX TXRF spektrometrs spēj noteikt elementu koncentrāciju, sākot no 1 µg/l), ar to iespējams vienlaikus noteikt daudzus mikroelementus un makroelementus, tomēr jāņem vērā, ka arī šai metodei ir būtiski ierobežojumi (Dhara and Misra, 2011; Juvonen et al., 2009; Margui et al., 2010).

Pētījuma mērķis ir aplūkot pilnīgās atstarošanas rentgenfluorescences spektrometrijas un PicoTax TXRF spektrometra izmantošanas iespējas mikroelementu un makroelementu koncentrācijas noteikšanai pazemes ūdeņos, kā arī rezultātus salīdzināt ar datiem, kas iegūti, paraugus analizējot ar AAS un ICP-MS analīzes metodi.

## **Materiāli un metodes**

Rentgenfluorescences analīzes pamatā ir atoma elektronu apvalka K, L un M enerģijas līmeņu ierosināšana un atgriešanās līdzsvara stāvoklī. Pilnīgās atstarošanas rentgenfluorescences spektrometrija balstās uz parauga apstarošanu ar augstas enerģijas rentgena starojumu. Krītošam rentgena starojumam izsitot atoma iekšējās čaulas elektronu, tukšums nekavējoties tiek aizpildīts ar elektronu no augstākas orbitāles. Elektronam pārejot atpakaļ zemākā orbitālē, enerģijas starpība starp iekšējo un ārējo elektrona līmeni tiek līdzsvarota, izstarojot sekundāro starojumu (rentgenfluorescence) (Bruker., 2007; Mages et al., 2003; Potts and West, 2008).

Pētījumā izmantotais *Röntec* PicoTAX TXRF spektrometrs ir aprīkots ar 50 kV rentgenstaru lampu, kas ietver molibdēna anodu, kuras izstarotais rentgenstarojums, pateicoties rentgenstaru optiskajai iekārtai – Ni/C daudzkārtinai sakausējuma plāksnītei ar atstarošanas spēju virs 80%, tiek pārveidots par monohromatisku rentgenstaru, kurš tiek raidīts pret paraugu šaurā leņķī (0,3° līdz 0,6°) un tiek pilnībā atstarots. Fluorescento starojumu (līdz 17,5 keV) uztver berilija detektors, kura laukums un biezums ir attiecīgi 10 mm<sup>2</sup> un 7,5 µm (Stosnach, 2006). Tālāk detektora uztvertais fluorescentais starojums tiek attēlots kā digitāls spektrs un apstrādāts, izmantojot datorprogrammu PICOFOX 5.1.7.1.

Lai pārlicinātos par izvēlētās metodes sniegto rezultātu pareizību, tika analizēti sertificēti standartparaugi (ERM CA011b- *Hard Drinking water* UK un IV-ICPMS-71A) ar noteiktām elementu koncentrācijām. Paralēli visos paraugos tika noteikta

Ca, K, Fe, Mn, Cu un Zn koncentrācija ar atomabsorbcijas spektrometru *Perkin Elmer AAnalyst 200*; daļai ūdens paraugu mikroelementu koncentrācija tika noteikta, izmantojot induktīvi saistītās plazmas masspektrometru *Varian 810-MS*.

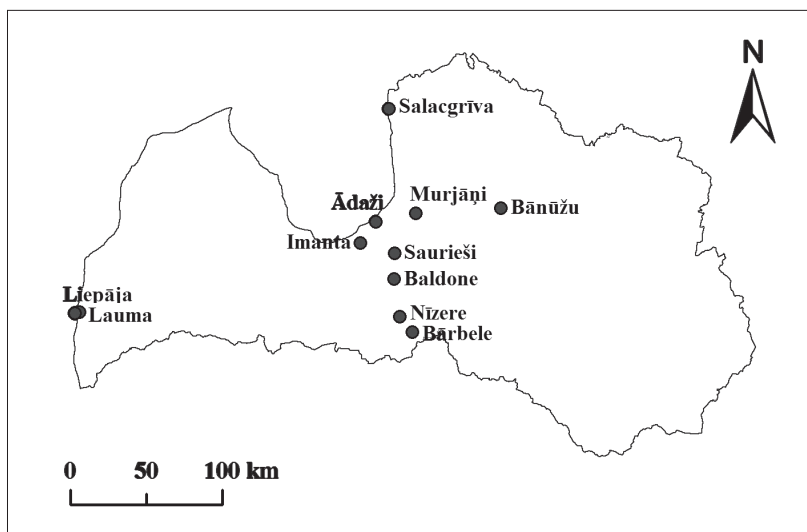
### Paraugu ievākšana un sagatavošana analīzēm

2011. un 2012. gadā tika ievākti divdesmit pazemes ūdeņu paraugi gan no potenciāli piesārņotiem gruntsūdeņiem, ierīkojot urbumus Ādažu poligonā (1. tabula), gan no jau ierīkotajiem kvalitātes monitoringa urbumiem un avotiem dažādos ūdens horizontos, kas raksturo atšķirīga ieguluma dziļuma un sastāva pazemes ūdeņus (1. att.).

1. tabula

**Paraugu ņemšanas vietas koordinātes Ādažu poligonā**  
*Coordinates of sampling sites in Ādažu polygon*

Urbuma Nr.	Koordinātes	
	X (E),m	Y (N),m
A-1	52324	632911
A-3	52475	632970
A-5	52347	632949
A-8	52380	632901
B8-1	523180	6329259
B9-2	524185	6329630
B5-3	522139	6331099
B2-4	521874	6331343
C2-5	525170	6328492
C3-5	527467	6329384



1. attēls. Paraugu ņemšanas vietas

Fig. 1. Sampling sites

Lai iegūtu reprezentatīvu pazemes ūdeņu paraugu no vēlamā ūdens horizonta, ir nepieciešams urbumu atsūknēt, jo ūdens, kas ilgstoši atradies urbumā un bijis saskarē ar gaisu un urbuma apvalkcauruli, var būt mainījis savu ķīmisko sastāvu. Lai precīzi aprēķinātu nepieciešamo ūdens tilpumu, kas jāatsūknē, ir jāzina urbuma dziļums, ūdens līmenis tajā, kā arī urbuma apvalkcaurules iekšējais diametrs (Fetter, 2008).

*In situ* tika noteikti tādi ātri mainīgie parametri kā pH, elektrovadītspēja, EVS, oksidēšanās un reducēšanās potenciāls (*Eh*) un izšķīdušā skābekļa saturs ( $O_2$ ). Pēc ātri mainīgo parametru nostabilizēšanās paraugi mikroelementu analīzēm lauka apstākļos tika filtrēti (0,45  $\mu$ m, Millipore) un pildīti 50 ml polipropilēna pudelītēs, kas iepriekš vismaz diennakti turētas 10% slāpekļskābē un skalotas ar dejonizētu ūdeni. Tajā pašā dienā laboratorijā paraugi tika paskābināti ar analītiski tīru slāpekļskābi (*Merck Suprapur*®, 65%) līdz pH = 4 (Margui et al., 2010). Anjonu analīzēm paredzētie ūdens paraugi tika pildīti viena litra HDPE pudelēs un netika filtrēti vai paskābināti. Līdz turpmākām analīzēm laboratorijā visi ūdens paraugi tika glabāti aukstumskapī 4 °C temperatūrā.

Analizējot ūdens paraugus, parauga turētājs tika silikonizēts (10  $\mu$ l *Silicone solution SERVA in isopropanol*) un 20 min žāvēts uz keramiskās plītiņas 60  $\pm$  5 °C (*Labochema*). Silikonizēšana rada hidrofobu virsmu, kas neļauj ūdens pilienam izplūst, jo tā diametrs nedrīkst pārsniegt 8 mm, kā arī palīdz paraugu uznest precīzi stikliņa centrā, kas ir viens no priekšnoteikumiem, lai iegūtu pareizus rezultātus (Bruker., 2007). Turpmākām analīzēm parauga turētāji tika izmantoti ne ātrāk kā diennakti pēc silikonizēšanas. Negatīvu iespaidu uz rezultātiem atstāj arī nehomogēni paraugi, jo piliena ārmaļās izgulsnējas karbonāti (Dhara and Misra, 2011; Juvonen et al., 2009; Bohlen, 2009).

Vienreiz lietojamā 1 ml mēģenē (*Ependorf*) pie 180  $\mu$ l ūdens parauga tika pievienoti 10  $\mu$ l Ga (10 mg/l Ga in 2%  $HNO_3$ , *Perkin Elmer*) iekšējā standarta un sajaukti ar vibromaisītāju. Pēc tam 10  $\mu$ l sagatavotā parauga tika uznesti uz parauga turētāja (sintētiskā kvarca stikliņš, diametrs – 30 mm, biezums – 4 mm) un nožāvēti uz keramiskās plītiņas 60  $\pm$  5 °C temperatūrā (*Labochema*). Lai novērstu parauga piesārņošanu žāvēšanas procesā, paraugu turētāji tika žāvēti zem Petri plates (Bruker., 2007; Mages et al., 2003). Katrs parauga turētājs pirms lietošanas tika nomērīts ar TXRF spektrometru, izmantojot cikla garumu 200 sekundes, lai pārliecinātos, ka tas nav ticis piesārņots (Bruker., 2007).

Gadījumos, kad analizējamais ūdens paraugs satur augstu Ca un K, arī Fe koncentrāciju, rezultātus bija iespējams uzlabot, paraugam pievienojot 20  $\mu$ l 0,3 g/l PVA šķīdumu (*Poly(vinyl alcohol) 98–99% hydrolyzed, Aldrich*). Pazemes ūdeņos mikroelementu koncentrācija nav augsta, tādēļ parauga uznešana un nožāvēšana uz paraugu turētāja lielākoties tika atkārtota 2–4 reizes (Juvonen et al., 2009). Tomēr jāņem vērā, ka ikkatra papildu darbība paildzina laiku, kāds pavadīts saskarē ar apkārtējo vidi, un paaugstina risku piesārņot paraugu. Pilnībā sagatavotā parauga TXRF analīzes ilgums tika izvēlēts 1000 s. Katram paraugam tika veikti vismaz 3 atkārtojumi un pirms parauga analizēšanas tika veikta iekārtas kalibrācija un citi sagatavošanās darbi atbilstoši ražotāja norādēm. Tika kalibrēta argona un silīcija pīķu attiecība, un iekārta tika iedarbināta vismaz 30 minūtes pirms mērījumu veikšanas (Bruker., 2007). Lai pārliecinātos par K un Ca rezultātu pareizību, izmantojot AAS

un TXRF analīzes metodi, programmā *RockWorks 15 Utilities* tika aprēķināts jonu bilances vienādojums (Younger, 2007). Pētījumā netika noteiktas amonija jonu un nitrājonu vērtības, kas atsevišķos gadījumos var būtiski ietekmēt jonu bilanci.

## Rezultāti un diskusija

*Röntec PicoTAX TXRF* spektrometrs nespēj noteikt vieglos elementus līdz atomskaitlim 11 un elementus, kuru atomskaitlis ir lielāks par 92, kā arī Tc, Xe, At, Rn, Zr un Fr (Bohlen, 2009). Si un Ar koncentrāciju nav iespējams noteikt, jo kā paraugu turētājs tiek izmantots sintētiskā kvarca stikliņš, bet argons ir sastopams gaisā. Tā kā pētījumā izmantotais spektrometrs ir aprīkots ar molibdēna rentgenstaru lampu, tādu elementu kā Sb, Cd un Ag precīza noteikšana nav iespējama, jo šos elementus iespējams noteikt tikai pēc La līnijām, kas parasti daļēji vai pilnībā pārklājas ar Ca un K K $\alpha$  līnijām (Stosnach, 2005). Apgrūtināta ir arī vieglo elementu ar atomskaitli no 11 līdz 13 noteikšana, jo, piemēram, Al un Na K $\alpha$  līnijas attiecīgi pārklājas ar Br un Zn La līnijām (Gilfrich et al., 1995). Piesardzīgi jāizvērtē iegūtie rezultāti situācijās, kad Pb un Cu koncentrācija paraugā ir augsta. Atsevišķos gadījumos augstā Pb koncentrācija var ietekmēt daudz zemākā koncentrācijā esošā As rezultātus, bet augstā Cu koncentrācija – daudz zemākā koncentrācijā sastopamā Ni rezultātus. Augsta Ca koncentrācija reizēm negatīvi ietekmē Ba rezultātus (Juvonen et al., 2009; Stosnach, 2006). Arī gadījumos, kad Co koncentrācija ir zema, augsta Fe koncentrācija var ietekmēt spēju noteikt Co koncentrāciju (Dhara and Misra, 2011).

Visi iegūtie rezultāti tika pārbaudīti pēc Diksona kritērija (Jansons un Meija, 2002), lai pārliecinātos par mērījumu kvalitāti.

Gadījumos, kad divas zemākās vai augstākās vērtības bija vienādas, vērā netika ņemti rezultāti, kas neietilpa triju standartnoviržu robežās (Christian, 1994), un paraugs tika atkārtoti sagatavots un nomērīts.

Iegūtie rezultāti, analizējot standartparaugus ERM CA011b, parāda, ka, izmantojot *PicoTAX TXRF* spektrometru, iespējams ļoti pareizi noteikt tādus elementus kā Cr, Cu, Fe, Mn, Sr un Zn (relatīvā kļūda < 10%). Tādus elementus kā Ca, K, As un Ni iespējams noteikt ar relatīvo kļūdu < 20%, bet tādus elementus kā Ba, Pb un Se – ar relatīvo kļūdu < 30% (2. tabula). Svarīgi pieminēt, ka tikai vienā no desmit atkārtojumiem bija iespējams noteikt Co vērtību, tam par iemeslu varētu būt augstā Fe koncentrācija un La līniju pārklāšanās (Dhara and Misra, 2011).

Analizējot otru standartparaugu, kurā visas sertificētās vērtības ir  $10 \pm 0,01$  mg/l, ļoti pareizus rezultātus bija iespējams iegūt tādiem elementiem kā Zn, Se, Cr, TI, Ba, As, Pb, Mn, un Sr (relatīvā kļūda  $\leq 10\%$ ). Pareizus rezultātus uzrādīja tādi elementi kā Co, Ho, Cu, Fe, Ni, Cs, Lu un Rb (relatīvā kļūda  $\leq 20\%$ ), bet tādu elementu kā V, La, Ca, K, Pr, Gd, Y un Er koncentrāciju bija iespējams noteikt ar relatīvo kļūdu  $\leq 30\%$ . (2. att.). Elementi, kuru relatīvā kļūda (%) bija lielāka par 30%, netiek apskatīti.

2. tabula

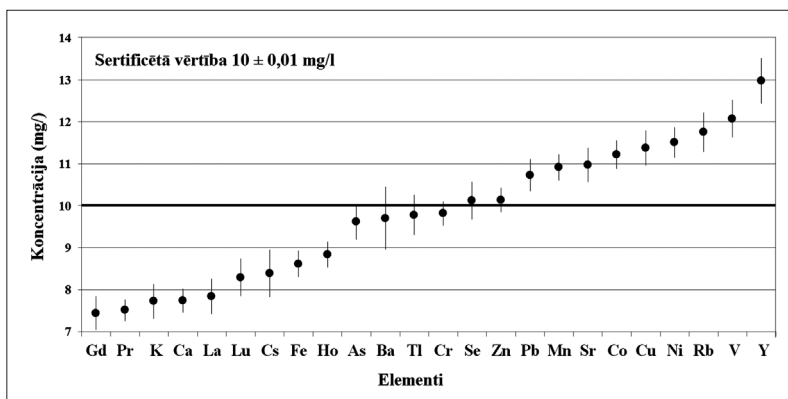
**Sertificētās ūdens standartparauga (ERM CA011b- *Hard Drinking water UK*) un ar Röntec PicoTAX spektrometru izmērītās vērtības**  
**Certified water standard (ERM CA011b- *Hard Drinking water UK*) and by Röntec PicoTAX spectrometer measured values**

Elements	Sertificētā vērtība (µg/l)	Paplašinātā nenoteiktība (µg/l)	Ar TXRF nomērtā vērtība (µg/l)	Drošības intervāls (µg/l)	Relatīvā kļūda (%)
Al	209	11	ZNR		
As	10,15	0,34	8,83	1,45	13
Ba	115,2	3,7	83,6	11,0	27
Be	5,01	0,41	N		
B	952	48	N		
Cr	48,2	1,6	45,5	1,39	6
Co	4,82	0,28	4 <sup>a</sup>		
Cu	1936	75	1916	41	1
Fe	186	11	193	4	4
Pb	24,51	0,52	18,25	3,10	26
Mn	48,3	1,6	43,8	1,4	9
Mo	5,45	0,33	N	0,00	
Ni	19,27	0,68	15,83	1,91	18
Se	9,91	0,41	7,17	0,65	28
Sr	471	21	462	8	2
Zn	597	19	563	13	6
Br			62,25	3,48	

Elements	Sertificētā vērtība (mg/l)	Paplašinātā nenoteiktība (mg/l)	Ar TXRF nomērtā vērtība (mg/l)	Drošības intervāls (mg/l)	Relatīvā kļūda (%)
Ca	73	2,7	60	1,2	18
Mg	14,78	0,48	N		
K	5,11	0,16	4,43	0,10	13
Na	22,77	0,78	10,38 <sup>c</sup>	4,80	54

Apzīmējumi: ZNR – zem noteikšanas robežas; N – nevar noteikt; a – vērtība noteikta tikai vienā mērījumā no desmit atkārtojumiem; b –  $t_{0,95}$ , n = 10; c –  $t_{0,95}$ , n = 4.

ZNR - under detection limit; N- impossible to measure; a- element was detected only in one of ten replicates; b- $t_{0,95}$ , n=10; c- $t_{0,95}$ , n=4

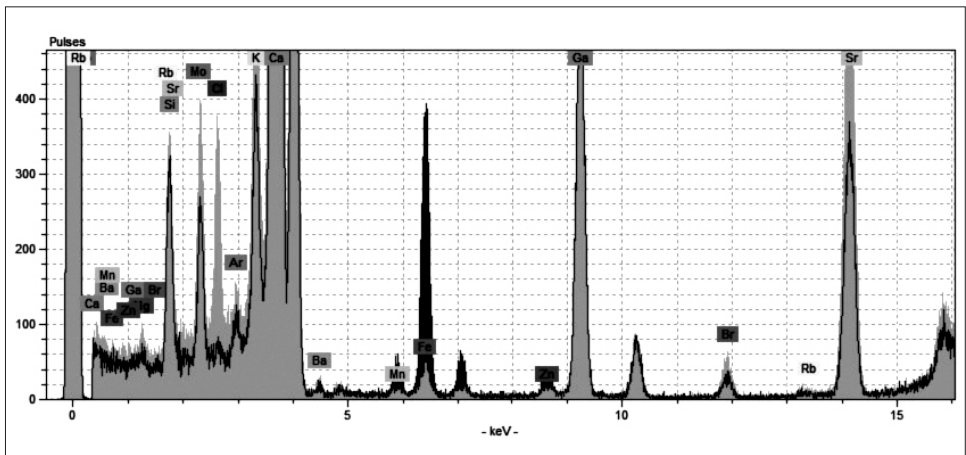


2. attēls. Sertificētās ūdens standartparauga (IV-ICPMS-71A) un ar Röntec PicoTAX spektrometru izmērītās vērtības

Fig. 2. Certified water standard (IV-ICPMS-71A) and by Röntec PicoTAX spectrometer measured values



Lai iegūtu pareizus rezultātus, liela nozīme ir ne vien parauga ievākšanai, bet arī tā glabāšanai līdz turpmākām analīzēm laboratorijā. Ņemot vērā, ka izvēlētās metodes specifika prasa daudz laika katra parauga analīzei, paraugu konservēšana ir obligāta. Lauka apstākļos tika ievākti vairāki paraugu dublikāti, kas tika filtrēti, bet netika paskābināti. Kā redzams 3. attēlā, paraugā, kas divus mēnešus glabājies nepaskābināts salīdzinājumā ar paraugu, kas ticis paskābināts, ir ievērojami samazinājusies Fe, Mn, Zn un Sr koncentrācija. Turpretī Goska un līdzautoru (2006) pētījuma rezultāti liecina, ka mikroelementu saturs izmaiņas paskābinātos paraugos nepārsniedz 15% robežu (kas bija metodes pieļaujamās kļūdas robeža) pat pēc 305 dienu ilgas parauga glabāšanas. Citā pētījumā (Staniszewski and Freimann, 2008) norādīts, ka kļūdainu As koncentrāciju negatīvi ietekmē arī ūdens parauga glabāšana pilnībā nepiepildītā pudelītē. Domājams, ka pudelītē palikušais gaiss varētu negatīvi ietekmēt arī citu metālu koncentrāciju.



3. attēls. TXRF spektri paskābinātam un nepaskābinātam pazemes ūdens paraugam (Murjāņi 99)

Fig. 3. TXRF spectra for acidified and not acidified groundwater sample (Murjāņi 99)

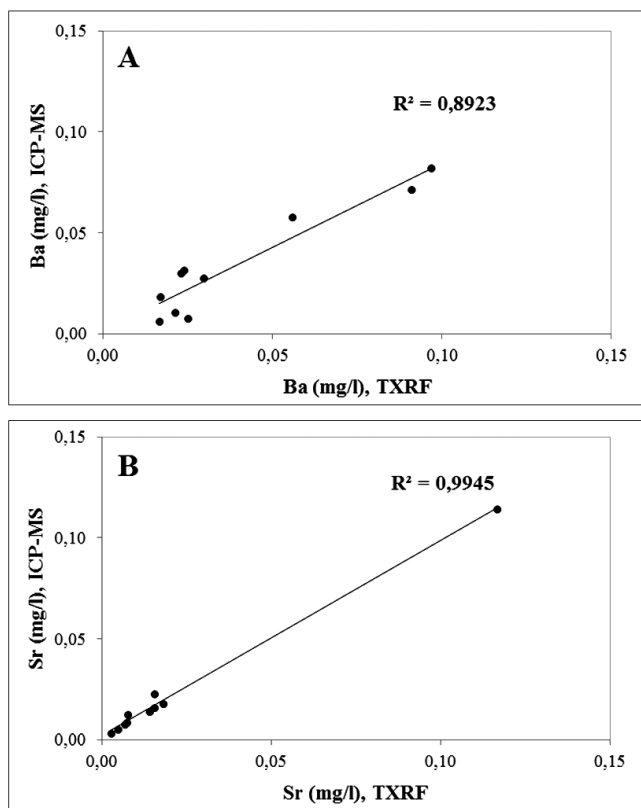
Pelēkā krāsā – neskābināts, melnā krāsā – skābināts.

Lai sagatavotu kvalitatīvu paraugu, visiem sagatavošanas cikliem jānorit maksimāli tīrā vidē. Tomēr ikdienā nodrošināt šādus apstākļus ne vienmēr ir iespējams, tādēļ ieteicams pagatavot vairākus tukšos paraugus. Paraugu var sagatavot jau lauka apstākļos, par pamatu izmantojot dejonizētu ūdeni, kas lauka apstākļos tiek iepildīts traukā. Tukšajam paraugam nepieciešams iziet visus tos pašus parauga sagatavošanas ciklus, ko citiem ievāktajiem ūdens paraugiem, šajā gadījumā gan filtrēšanu, gan paskābināšanu. Būtiski, lai tukšā parauga sagatavošanā tiktu izmantots analītiski tīrs destilētais ūdens, jo nereti tukšie paraugi uzrādīja augstāku Fe un Zn koncentrāciju nekā pašā ūdens paraugā noteiktā. Laba alternatīva varētu būt Mages un līdzautoru (2003) pētījumā izmantotā tukšo paraugu sagatavošanas metode, kur viens parauga turētājs tiek pakļauts apkārtējās vides ietekmei kopā ar citiem analizējamiem paraugiem un kur iegūtā tukšā parauga koncentrācija datu apstrādes laikā tiek atņemta. Tomēr šāda pieeja neatspoguļo iespējamo lauka apstākļos radušos parauga piesārņojumu. Apkārtējā vidē sastopamie elementi, kas visbiežāk mēdz ietekmēt ar

TXRF analīzes metodi iegūtos rezultātus, ir Ca, Fe, Ti, Zn un Cu (Mages et al., 2003), kā arī Ba un K.

Analizējot pazemes ūdeņu paraugus ar TXRF analīzes metodi, kopumā tika noteikti 15 elementi, no kuriem tādi elementi kā Ca, K, Br, Sr un Ba bija sastopami visos divdesmit paraugos. 18 paraugos tika noteikta Fe un Zn koncentrācija, 16 paraugos Mn un trīs paraugos Cu koncentrācija, bet tādu elementu kā Ti, Pb, La, Ni, Rb un Cr koncentrācija tika noteikta ne vairāk kā divos paraugos.

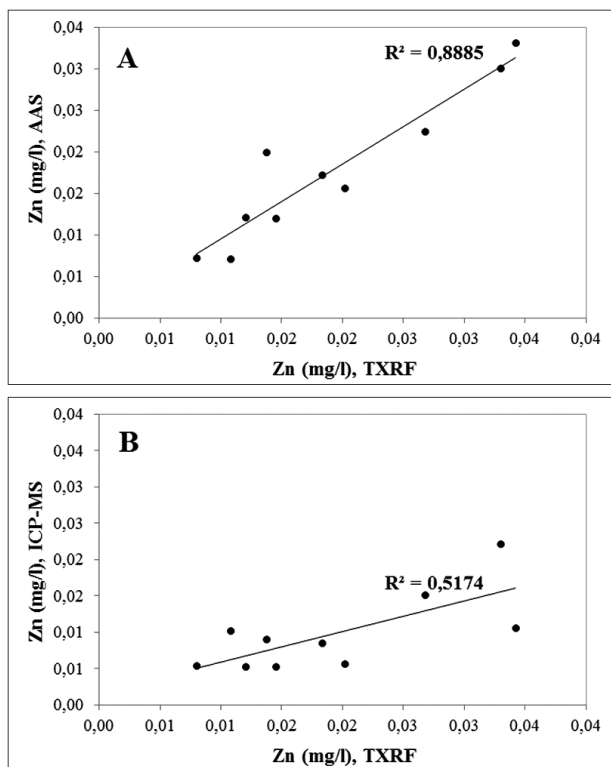
Desmit pazemes ūdeņu paraugi tika iegūti, ierīkojot urbumus kvartāra nogulumos Ādažu poligonā. 4. attēlā redzami rezultāti rāda, ka Sr vērtības statistiski ticami korelē ar rezultātiem, kas iegūti, izmantojot ICP-MS analīzes metodi, – tas novērots, arī analizējot standartparaugus, kur Sr relatīvā kļūda bija mazāka par 10% (2. tabula, 2. att.). Nedaudz vājāka, bet tomēr statistiski ticama korelācija vērojama arī starp Ba rezultātiem, kas iegūti, izmantojot abas iepriekš minētās metodes. Analizējot standartparaugus, Ba relatīvā kļūda (%) salīdzinājumā ar sertificēto vērtību būtiski samazinājās, paaugstinoties Ba koncentrācijai paraugā.



4. attēls. Lineārā korelācija starp TXRF un ICP-MS analīzes rezultātiem  
A) bārijam un B) stroncijam

Fig. 4. Linear correlation between TXRF and ICP-MS results for  
A) barium and B) strontium

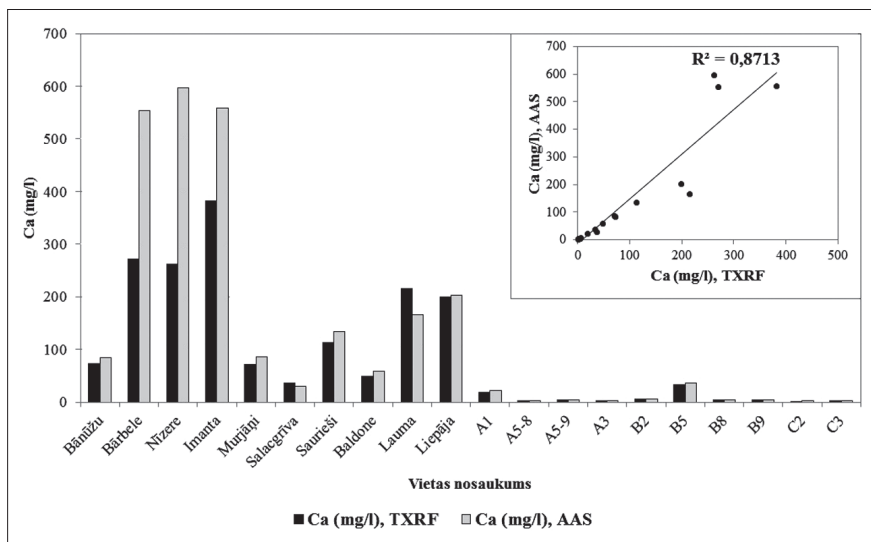
ICP-MS analīzes uzrādītā Zn koncentrācija kopumā ir zemāka nekā vērtības, kas iegūtas, izmantojot AAS un TXRF analīzes metodi (5. att.). Statistiski ticama korelācija pastāv starp elementiem, kas noteikti ar AAS un TXRF analīzes metodi. Šajā gadījumā rezultātus varētu būt ietekmējusi parauga konservēšana, jo ICP-MS analīzēm paredzētie paraugi netika paskābināti vai filtrēti. Salīdzinot ar AAS un TXRF iegūto Zn koncentrāciju visos 20 pazemes ūdeņu paraugos, ir vērojama samērā vāja ( $r^2 = 0,382$ ) korelācija. Sagatavojot paraugu TXRF analīzēm, ir grūti novērst Zn nokļūšanu paraugā no apkārtējās vides, kas aprakstīts arī *Mages* un līdzautoru (2003) veiktajā pētījumā.



5. attēls. Lineārā korelācija starp  
 A) TXRF un ICP-MS un B) TXRF un AAS analīzes rezultātiem cinkam

Fig. 5. Linear correlation between  
 A) TXRF and AAS and B) TXRF and ICP-MS results for zinc

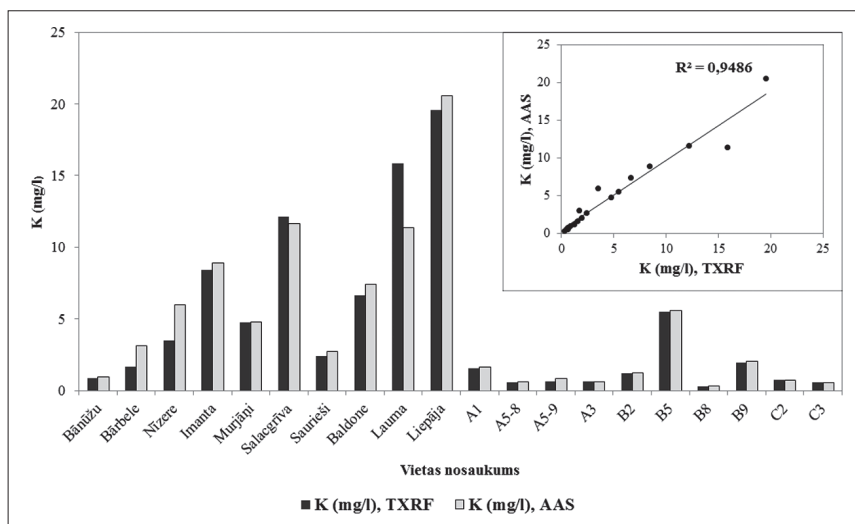
Kā redzams 6. attēlā, Ca koncentrācija, kas noteikta, izmantojot TXRF analīzes metodi salīdzinājumā ar AAS metodi, parasti ir zemāka. Ca koncentrācijai paraugā paaugstinoties virs 200 mg/l, rezultātus būtiski ietekmē nehomogēna parauga veidošanās (Juvonen et al., 2009), kas ievērojami palielina atšķirību starp Ca vērtībām, kuras noteiktas, izmantojot TXRF un AAS. Atsevišķos gadījumos nehomogēna parauga veidošanos bija iespējams novērst, paraugam pievienojot PVA (0,3 g/l).



6. attēls. Ar TXRF un AAS analīzes metodi noteiktā kalcija koncentrācija

Fig. 6. Measured calcium values using TXRF and AAS

K rezultātu sakritība ar rezultātiem, kas iegūti ar AAS, būtiski nemainās, ūdens paraugā palielinoties K saturam līdz 20,57 mg/l (7. att). Ar TXRF metodi iegūtās vērtības parasti ir nedaudz zemākas salīdzinājumā ar AAS analīzes rezultātiem. Būtiski palielinoties Ca saturam paraugā, ar TXRF noteiktās K vērtības nedaudz samazinās attiecībā pret K vērtībām, kas noteiktas ar AAS, jo iespējama Ca un K  $Ka$  līniju pārklāšanās.



7. attēls. Ar TXRF un AAS analīzes metodi noteiktā kālija koncentrācija

Fig. 7. Measured potassium values using TXRF and AAS

## Secinājumi

Pilnīgas atstarošanas rentgenfluorescences spektrometra *Röntec PicoTAX* izmantošana ūdens paraugu analīzēm ir iespējama un daudzos gadījumos sniedz pareizus un precīzus rezultātus. Metodes galvenās priekšrocības ir samērā ātrā parauga sagatavošana analīzēm, kas neprasa paraugu uzkrāšanu, un ir iespējams vienlaikus noteikt plašu elementu klāstu. Metodes galvenie trūkumi ir nespēja iegūt daudzu hidroģeoloģijā un ķīmijā būtisku elementu pareizu koncentrāciju (piemēram, B, F, I u. c.), kā arī nespēja iegūt kvalitatīvus rezultātus gadījumos, kad augsta koncentrācija izraisa spektra līniju pārklāšanos. Metodes sniegtā precizitāte un rezultātu pareizība ir pieņemama gadījumos, kad nepieciešams nekavējoties iegūt vispārēju priekšstatu par mikroelementu un makroelementu saturu ūdens paraugā, tomēr metode kopumā nespēj konkurēt ar ICP-MS analīzes metodi. Lai gan TXRF un AAS metode ir konkurētspējīgas, tomēr jāņem vērā, ka kvalitatīva parauga sagatavošana TXRF analīzei prasa labas iemaņas, analīzes cikls ir garš un apkārtējās vides ietekme uz rezultātu kvalitāti ir ievērojama, tādēļ pirms izvēlēties šo metodi būtiski jāapsver, vai ir pieejami nepieciešamie resursi un vai ir iespējams veltīt daudz laika un pacietības kvalitatīvu rezultātu iegūšanai.

## Pateicības

Pētījums veikts ar ES struktūrfondu projekta vienošanās Nr. 2009/0212/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/060 atbalstu. Liels paldies SIA „Latvijas valsts meži”, Latvijas Universitātes Studentu padomei un Rutka stipendijas valdei. Pētījuma tapšanā liels paldies jāsauc arī Dr. habil. ķīm. prof. Mārim Kļaviņam, M. vides zin. Oskaram Purmalim un Dr. ķīm. *Hagen Stosnach* par jaunām idejām un iespēju realizēt pētījumu.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Baratia, A. H., Maleki, A., Alasvand, M. 2010. Multi-trace elements level in drinking water and the prevalence of multi-chronic arsenical poisoning in residents in the west area of Iran. *Science of The Total Environment*, 408 (7), 1523–1529.
2. Beckhoff, B., Kanngießer, B., Langhoff, N., Wedell, R., Wolff, H. 2006. *Handbook of practical X-Ray Fluorescence Analysis*. Springer-Verlag, Berlin. 863 pp.
3. Bohlen, A. 2009. Total reflection X-ray fluorescence and grazing incidence X-ray spectrometry- Tools for micro- and surface analysis. *Spectrochimica Acta Part B*, 64, 821–832.
4. Bruker AXS Microanalysis GmbH. 2007. S2 PICOFOX™ User Manual. Bruker AXS Microanalysis GmbH, Berlin. 120 pp.
5. Christian, G. D. 1994. *Analytical Chemistry*. Fifth Edition. John Willey & Sons, New York. 676 pp.
6. Dhara, S., Misra, N. L. 2011. Application of total reflection X-ray fluorescence spectrometry for trace elemental analysis of rainwater. *PRAMANA-Journal of Physics*, 76 (2), 361–366.

7. Dinelli, E., Lima, A., Albanese, S., Birke, M., Cicchella, D., Giaccio, L., Valera, P., Vivo, D. B. 2012. Major and trace elements in tap water from Italy. *Journal of Geochemical Exploration*, 112, 54–75.
8. *Dzeramā ūdens obligātās nekaitīguma un kvalitātes prasības, monitoringa un kontroles kārtība*. Ministru kabineta noteikumi Nr. 235. Pieņemti 29.04.2003.
9. Fetter, C. W. 2008. *Contaminant Hydrogeology*. Second Edition. Waveland Press Inc. 500 pp.
10. Frengstad, B. S., Lax, K., Tarvainen, T., Jaeger, Ø., Wigum, B. J. 2010. The chemistry of bottled mineral and spring waters from Norway, Sweden, Finland and Iceland. *Journal of Geochemical Exploration*, 107, 350–361.
11. Gilfrich, J. V., Noyan, I. C., Jenkins, R., Huang, T. C., Snyder, L. R., Smith, D. K., Zaitz, M. A., Predecki, P. K. 1995. *Advances in X-Ray Analysis*. Volume 39. Forty-Fourth Annual Conference on Applications of X-ray Analysis. University of Denver, New York. 911 pp.
12. Gosk, E., Levins, I., Jorgsen, F. L. 2006. *Agricultural Influence on Groundwater in Latvia*. Danmarks Og Gronlands Geologiske Undersogelse Rapport 2006/85.
13. Jansons, E., Meija, J. 2002. *Kļūdas kvantitatīvajās noteikšanās*. Rasa ABC, Rīga. 155 lpp.
14. Juvonen, R., Parviainen, A., Ruskeeniemi, L. K. 2009. Evaluation of a total reflection X-ray fluorescence spectrometer in the determination of arsenic and trace metals in environmental samples. *Geochemistry: Exploration, Environment Analysis*, 9, 173–178.
15. Levins, I., Gosk, E. 2007. Trace elements in groundwater as indicators of anthropogenic impact. *Environmental Geology*, 55, 285–290.
16. Mages, M., Woelf, S., Ovari, M., Tuomplingjun, W. 2003. The use of a portable total reflection X-ray fluorescence spectrometer for field investigation. *Spectrochimica Acta Part B*, 58, 2129–2138.
17. Margui, E., Tapias, J. C., Casa, A., Hidalgo, M., Queralt, I. 2010. Analysis of inlet and outlet industrial wastewater effluents by means of benchtop total reflection X-ray fluorescence spectrometry. *Chemosphere*, 80, 263–270.
18. Potts, P. J., West, M. 2008. *Portable X-ray Fluorescence Spectrometry*. Capabilities for In Situ Analysis. RSC Publishing, Cambridge. 291 pp.
19. Staniszewski, B., Freimann, P. 2008. A solid phase extraction procedure for the simultaneous determination of total inorganic arsenic and trace metals in seawater: Sample preparation for total-reflection X-ray fluorescence. *Spectrochimica Acta Part B*, 63, 1333–1337.
20. Stosnach, H. 2005. Environmental Trace Element Analysis Using a Benchtop Total Reflection X-ray Fluorescence Spectrometer. *Analytical Sciences*, 21, 873–876.
21. Stosnach, H. 2006. On-site analysis of heavy metal contaminated areas by means of total reflection X-ray fluorescence analysis (TXRF). *Spectrochimica Acta Part B*, 61, 1141–1145.
22. Valentinuzzi, M. C., Sanchez, H. J., Abraham, J. 2006. Total reflection X-ray fluorescence analysis of river waters in its stream across the city of Cordoba, in Argentina. *Spectrochimica Acta Part B*, 61, 1175–1179.
23. Younger, P. L. 2007. *Groundwater in the Environment: an introduction*. Blackwell Publishing, Singapore. 297 pp.

## Summary

*The suitability of the total reflection X-ray fluorescence (TXRF) spectrometry was studied for determination of major and trace elements in twenty groundwater samples. Results for groundwater samples were compared with inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) and atomic absorption spectroscopy (AAS). Certified reference samples ERM CA011b- Hard Drinking water UK and IV-ICPMS-71A were analysed to assure the quality of the method. The outcome shows that with some restrictions it is possible to achieve good results using PicoTax TXRF spectrometer. Nevertheless TXRF can not replace the ICP-MS method but can compete with the results obtained by AAS.*

**Keywords:** *Total reflection x-ray fluorescence spectroscopy (TXRF), PicoTAX, ICP-MS, AAS, groundwater.*

## **Teritoriālas kopienas veidošanās un to veicinošie faktori: Mūrnieku ielas piemērs Rīgā**

### ***The Development of Place-based Community and Factors That Promote It: the Case of Mūrnieku Street in Rīga***

**Maija Ušča**

Latvijas Universitāte  
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Alberta iela 10, Rīga, LV-1010  
E-pasts: [maijausca@gmail.com](mailto:maijausca@gmail.com)

Rakstā apskatītas idejas par teritoriālu kopienu, tās iespējamajiem mērogiem un veidošanos ietekmējošiem faktoriem. Kā piemērs pētīts Mūrnieku ielas gadījums Rīgā, kur izpilddirekcijas iniciatīva ir veicinājusi ne tikai ielas (dažos gadījumos arī pagalmu) fizisku sakārtošanu un labiekārtošanu, bet arī iedzīvotāju savstarpējo saikņu veidošanu. Rakstā, balstoties uz datiem, kas iegūti daļēji strukturētās dziļajās intervijās ar ielas iedzīvotājiem un pašvaldības pārstāvjiem, autore skaidro, kā minētā iniciatīva ir ietekmējusi teritoriālas kopienas veidošanos izpētes teritorijā.

**Atslēgvārdi:** teritoriāla kopiena, kopienas veidošanās, iniciatīvas, pilsētvide.

## **Ievads**

Latvijā pēdējos gados arvien aktuālāka kļūst ideja par iedzīvotāju apmierinātību ar savu mājokli, tā apkārtni, par apkaimi kā teritoriju, kurai iedzīvotāji var just piederību (pretstatā atsvešinātajam pilsētas mērogam), kuras veidošanā un labiekārtošanā viņi var iesaistīties paši, negaidot palīdzību vai iniciatīvu no malas. Šo procesu rezultātā vairākās Rīgas apkaimēs, piemēram, Bolderājā, Kundziņsalā, Mežaparkā, Vecmīlgrāvī u. c., ir attīstījušās iedzīvotāju iniciatīvas – organizācijas ar noteiktu mērķi un interesēm, kas vērstas uz tuvāko apkārtni. Šajās apkaimēs var runāt par teritoriālas kopienas esamību, kamēr citas iedzīvotājus vienojošās lietas un savstarpējās saiknes nav identificētas. Lai izprastu, kas ietekmē teritoriālas kopienas veidošanos, kā piemērs skatīta Mūrnieku iela Rīgā, kur no 2003. gada līdz 2007. gadam tika īstenots ielas reģenerācijas projekts. Šī projekta rezultātā ne tikai ir radies vienots mērķis visai ielai un uzlabota fiziskā vide, bet arī stiprinātas iedzīvotāju savstarpējās saiknes. Pētījumā minētais projekts skatīts kā teritoriālas kopienas veidošanos ietekmējošs faktors.

## **Teritoriāla kopiena: konceptuāli daudzveidīgs skatījums**

Kopienas var veidoties dažādu faktoru ietekmē, ar dažādiem mērķiem, kas noietkai cilvēku grupai ir kopīgi – tie var būt vienoti uzskati, attiecības, apstākļi (Chaskin, 1997), intereses, etniskā piederība, nodarbošanās vai teritorija (Peterman, 2000),



jo kopienas nepastāv vakuumā, tām ir noteikts telpisks novietojums (Buttimer, 1976). Kopumā cilvēka ģeogrāfijā ideju par pilsētu kopienām izmanto kā noteiktu kategoriju, kas attiecas uz vienu no divām pazīmēm: ģeogrāfiski vai administratīvi vienotām cilvēku grupām; noteiktām kopīgām pazīmēm (piemēram, interesēm, identitāti u. c.), kas indivīdus apvieno vienā kopienā (Vromen, 2003).

Minētajās kopienas raksturierzīmēs parādās gan teritoriālā iezīme, gan kopīgās saiknes. Mūsdienās gan arvien vairāk tiek runāts par to, ka teritoriālu kopienu nozīme pilsētā samazinās (e. g., Bellah, 1996; Putnam, 2000), par apdraudējumu teritoriālas kopienas esamībai, jo cilvēkiem ir savas personiskās, „pārvietojamās” kopienas (no noteiktas teritorijas atsaistītas kopienas) (Kingston et al., 1999). Šo ideju jau 20. gs. 60. gados postulēja Džeina Džeikobsa, kas atzina, ka pilsētas iedzīvotāji ir mobili un var izvēlēties savu vietu un savu sabiedrību visā pilsētā (Jacobs, 1961). Tas nozīmē, ka ideja par teritoriālo kopienu nav universāla – ne katrs pilsētas iedzīvotājs ir kādas teritoriālas kopienas pārstāvis, teritoriālu kopienu raksturo kas vairāk nekā tikai kopīga teritorija, tomēr pilnībā atteikties no „vietas” idejas kopienas kontekstā nevar. M. Kuzenbaha atzīst, ka teritoriālas kopienas var definēt dažādi – tās var būt dažāda izmēra un struktūras (Kusenbach, 2008), tomēr ir iespējams izšķirt trīs atzītas, būtiskas visām teritoriālajām kopienām raksturīgas pazīmes: noteikts novietojums, kopīgas indivīdu saiknes (kopīgas intereses, identitāte u. c.), indivīdu sociālā mijiedarbība (e. g., Hillery, 1995; Olson, 1982; Lyon, 1999).

Lai gan pēdējos gados Latvijā ir mainījušies uzskati par plānošanas procesiem un to realizāciju, kā arī uzsāktas diskusijas un pētījumi par pilsētu apkaimēm un kopienām, līdz šim nav skaidri definēts termins „teritoriāla kopiena” un to raksturojošās pazīmes. Līdzšinējie pētījumi veikti Rīgas administratīvo, statistikas teritoriju vai pēdējos gados – tādu mērķtiecīgi nodalītu teritoriju griezumā, kuras tiek sauktas par apkaimēm (Ušča, 2010). Tomēr šajos pētījumos par Rīgu lielāka uzmanība vērsta uz pilsētas telpas vēsturiskās struktūras, nekustamo īpašumu tirgus tendenču izpēti un ekonomiski ģeogrāfisku raksturošanu, mazāk pievēršoties teritoriālajām kopienām un sociālās telpas izpētei. Līdzīgi kā tas ir Rīgas gadījumā, vairāki zinātnieki (e. g., Sampson et al., 2002; Brooks-Gunn et al., 1993) atzinuši, ka arī citur pasaulē ir daudz pētījumu, kas apkaimi un kopienas skata administratīvi definētās teritoriālās vienībās, piemēram, skolu mikrorajonos, statistikas vienībās, apkaimēs ar skaidri novilkām robežām. Tai pašā laikā apkaimju robežas un kopienas, kas balstītas uz iedzīvotāju uztveri, ir jēgpilnākas un loģiskākas (Coulton et al., 2001), jo iedzīvotāji neseko administratīvajām robežām, viņi neatkarīgi no tām izvēlas savus ikdienas ceļus un uzturēšanās vietas.

## Teritoriālas kopienas mērogs

Jau pagājušā gadsimta 50. un 60. gados zinātnieki sāka runāt par to, ka indivīdi savu mājokļu apkaimi izmanto, jūt un par to domā dažādos veidos. 1952. gadā, iepazīstinot ar savu ideju par „kopienu ar ierobežotu atbildību”, Janovics atzīmēja, ka „vietējās kopienas iedzīvotājiem ir dažāda līmeņa psiholoģiskā un sociālā iesaiste šajā kopienā” (Janowitz, 1952, p. 211), tas nozīmē, ka viņš runāja par dažādas hierarhijas kopienām, ko raksturo atšķirīga piesaiste teritorijai un citiem kopienas dalībniekiem.

Savā fundamentālajā darbā *The Death and Life of Great American Cities* Dž. Džeikobsa (Jacobs, 1961) arī runā par dažāda līmeņa kopienām un apkaimēm, izšķirot ielu apkaimes, pilsētu rajonus un pilsētu kā kopumu. Ielu apkaimes spēj efektīvi organizēties un uzturēt kārtību savā nelielajā teritorijā, izmantojot ikdienas sabiedrisko dzīvi, uzticēšanos un sociālo kontroli. Tai pašā laikā jebkurai ielu apkaimē, lai tā spētu pilnībā sevi pārvaldīt, ir jābūt saistītai ar pilsētu kā kopumu, kā arī ar varu un resursiem, ko tā reprezentē. Šī ielas līmeņa apkaimes saistība ar pilsētu kā kopumu var notikt tikai caur rajonu apkaimēm. Līdz ar to rajonu apkaimes ir kā starpnieki starp ielu apkaimēm un pilsētu kopumā.

Kopienas var skatīt kā simboliskas vienības, kuru mērogs sniedzas no nelieliem sociāliem formējumiem līdz lielām apkaimēm un pilsētu daļu kopienām. Šī kopien hierarhija norāda, ka indivīds var izvēlēties kopienas līmeni, kas visprecīzāk apmierina viņa vajadzības, un arī norāda, ka fenomens, kas tiek definēts kā „kopiena”, var atšķirties dažādu indivīdu starpā, dažādos novietojumos un laikos (Hunter, 1974). Pētot pilsētu kopienas, Slovaks (Slovak, 1986) ir nodalījis divu līmeņu kopienas – ēku kopienas un plašākas pilsētas kopienas. Minētajā pētījumā viņš atklāja, ka kopienas dažādos mērogos ir krasi atšķirīgas.

Pētījumā par kopien hierarhiju un mērogiem, kas balstīts uz divu Losandželosas (ASV) apkaimju izpēti, izšķirtas četru mērogu kopienas: mikroapkaimes, ko parasti veido vairākas kaimiņos esošas mājsaimniecības, kuru pārstāvjiem ir kopīgas saiknes, noteikta veida mijiedarbība un dažkārt kopīgi pasākumi; ielas un kvartāli, kas ir kopienas ar vismaz daļēji noteiktām dabiskām robežām un kuras sociāli raksturo noteikta pieredze un atbildības izrādīšana par telpu, kā arī uz kvartāla vai ielas teritoriju bāzētu pasākumu veidošana; kājām sasniedzama apkaime – apkaime, ko iedzīvotāji pārziņa, ko ikdienā izmanto; anklāvi – ģeogrāfiski vienotu teritoriju sociālo grupu kopienas (piemēram, grupas ar vienotu nodarbošanos, etnisko vai reliģisko piederību u. c.) (Kusenbch, 2008). Lai gan Losandželosa ir īpaša urbāna vide ar ļoti daudzveidīgām kopienām, ko vairāki cilvēku ģeogrāfijas pētnieki ir pētījuši kā specifisku urbānu telpu, piemēram, Edvards Soja (Soja, 1996), Maikls Dīrs (Dear, 1996), autore savu pieeju teritoriālas kopienas izpētē daļēji balsta uz minēto piemēru, jo šie kopien mērogi ir pielāgojami konkrētai situācijai.

## Teritoriālas kopienas veidošanās un to ietekmējošie faktori

Ir teritorijas, kur indivīdiem ir ciešas savstarpējās saiknes, kur iedzīvotāji ir izveidojuši savas organizācijas ar noteiktu mērķi, aktīvi tajās iesaistās un darbojas, veido sev apkārt esošo vidi, apkaimi. Tajā pašā laikā pilsētās ir sastopamas apkaimes, kur iedzīvotāji nepazīst savus kaimiņus, norobežojas privātajā telpā un savu neapmierinātību par apkārtējo vidi izpauž sūdzoties, nevis iesaistoties vides sakārtošanā un uzlabošanā. Šīs parādības ir saistītas ar apstākļiem, kas ietekmē kopienas veidošanos un kas tiks konkrētāk skatīti šajā apakšnodaļā.

Ir pētīti daudzveidīgi aspekti, kas ietekmē teritoriālu kopienu esamību/neesamību noteiktā vietā vai apkaimē. Jaunā urbānisma (*New Urbanism*) idejas atbalstītāji (tā ir 80. gados ASV radusies arhitektu, plānotāju un attīstītāju kustība) uzsver arhitektūras, teritorijas plānojuma, vides dizaina elementu lomu kopienas sajūtas veidošanā (*sense of community*) (e. g., Fleming et al., 1985; Calthorpe, 1993). Citos

pētījumos runāts arī par eksteritoriālu faktoru ietekmi uz kopienas veidošanos, atzīstot, ka fiziskās telpas ietekme uz kopienu veidošanās procesiem ir pārspīlēta (Webber, 1963). Liela loma iedzīvotāju mijiedarbībā ir arī iedzīvotāju vecumam, dzimumam, sociālajam statusam (Campbell and Lee, 1992), kopīgām vērtībām (Hunter, 1975) un apkaimē nodzīvoto gadu skaitam (Haerberle, 1988).

Dž. Džeikobsa (Jacobs, 1961) uzsver kopienu pārvaldes nozīmi, norādot, ka apkaimes nevar uztvert tikai kā vietas vai teritorijas – par tām ir jādomā kā par sevis vadīšanas vienībām. Līdz ar to izdošanās vai neizdošanās izveidot un uzturēt kopienu ir atkarīga no spējas sevi (kopienu) vadīt un pārvaldīt. Kopumā kopienas veidošanos ietekmējošos apstākļus var iedalīt vairākās grupās: iedzīvotāju sociālais raksturojums, fiziskā vide, iniciatīvas un kopienas vadīšana/pārvalde.

Piekrītot vairāku autoru viedoklim (Hillery, 1995; Olson, 1982; Lyon, 1999), šajā pētījumā autore par teritoriālo kopienu uzskata indivīdu grupu, kuru raksturo noteikta kopīga teritorija, kopīgas saiknes un mijiedarbība. Tajā pašā laikā autore papildina šo pieeju ar Kusenbahas (Kusenbach, 2008) atziņām, ka teritoriālai kopienai iespējami dažādi mērogi. Līdz ar to pētījumā skatīta ne tikai teritoriālas kopienas esamība, bet tā arī definēta dažādos mērogos. Papildus šai pieejai autore pēta faktorus, kas konkrētajā gadījumā ir ietekmējuši kopienas veidošanos.

## Izpētes teritorija un metodes

Kopienas pētīšanai tika izvēlēta Mūrnieku iela – teritorija Rīgas centra nomalē, Avotu apkaimē, starp Avotu, Augusta Deglava, Valmieras un Mafisa ielu (1. attēls).



1. attēls. Mūrnieku ielas atrašanās vieta Rīgā

Fig. 1. Mūrnieku street in Riga

Šis rajons ir izbūvēts 19. gs. beigās vienlaikus ar tuvējo rūpnīcu attīstību. Šajā ielā no 2003. gada līdz 2007. gadam notika Latgales priekšpilsētas izpilddirekcijas (tagad – Rīgas Austrumu izpilddirekcijas) iniciēts pilotprojekts. Pilotprojekta mērķis

bija nodrošināt dzīvojamā fonda saglabāšanu un uzlabošanu, veicinot īpašnieku – gan ēku, gan dzīvokļu īpašnieku – resursu piesaisti, kā arī īrnieku tiešu līdzdalību pagalmu teritorijas labiekārtošanā. Projekta laikā tika renovēta iela, atjaunots vēsturiskais segums ar visām inženiertehniskajām komunikācijām un vēsturiskais apgaismojums, sadarbībā ar iedzīvotājiem labiekārtoti pagalmi, atjaunoti žogi, labiekārtots skvērs Mūrnieku un Matīsa ielas stūrī un veikti citi pasākumi. Papildus fiziskajiem ielas uzlabojumiem iedzīvotāji tika iesaistīti ielas renovācijas procesos, kas ir ļoti nozīmīgi tieši kopienas veidošanas kontekstā. Šis bija viens no pirmajiem izpilddirekcijas un iedzīvotāju sadarbības pilsētvides reģenerācijas projektiem. Austrumu izpilddirekcija iedzīvotāju viedokļa apzināšanas praksi un iesaisti ir turpinājusi arī pēc Mūrnieku ielas projekta, piemēram, Daugavas promenādes labiekārtošanas gaitā, kā arī īstenojot projektu „Droša Māja” un „Caddies” projektu, kura mērķis ir parādīt iedzīvotājiem, ka iespēja labi dzīvot bieži vien ir pašu rokās un ka brīnišķīgus rezultātus apkārtējās vides veidošanā un sakopšanā var sasniegt pašu spēkiem. Tādējādi Austrumu izpilddirekcija aktīvi iesaista iedzīvotājus apkārtējās vides sakopšanā un mudina iedzīvotājus izrādīt savu iniciatīvu.

Pēc Mūrnieku ielas fiziskās vides reģenerācijas projekta izpilddirekcija turpināja uzlabot Mūrnieku ielas kultūras dzīvi un veicināja kaimiņattiecību veidošanos. Mūrnieku ielā pāris reizes gadā (izņemot 2010. gadu) notiek svētki, koncerti, piemēram, Rīgas svētku laikā, Kaimiņu diena (2. attēls). Šie pasākumi tematiski ir vērsti uz apkaimes vēstures apzināšanu, tajos skan dziesmas un dzeja par Grīziņkalnu – apkaimi, kur atrodas Mūrnieku iela. Sociāli tie ir vērsti uz Mūrnieku ielas iedzīvotāju un tuvējās apkaimes iedzīvotāju satikšanos, priecāšanos kopā.



2. attēls. Kaimiņu diena Mūrnieku ielas 4. nama pagalmā, 05.2009. (autores foto)

Fig. 2. Neighbours' day in the courtyard of residential building in Mūrnieku street, 05.2009. (photo taken by the author)

Šajā pētījumā, kas veikts Mūrnieku ielā, uzmanība pievērsta kopienai un to veidojošiem faktoriem no iedzīvotāju skatpunkta. Pētījums ir balstīts uz 12 daļēji strukturētām padziļinātām intervijām ar Mūrnieku ielas iedzīvotājiem un Austrumu izpilddirekcijas pārstāvjiem (nekustamā īpašuma nodaļas pārstāvjiem un kultūras projektu vadītāju), kas veiktas 2007. gada aprīlī un 2010. gada oktobrī, kā arī sarunām ar iedzīvotājiem 2007. un 2009. gada pavasarī un teritorijas apsekošanu. Intervijās autore centās noskaidrot gan iedzīvotāju, gan izpilddirekcijas pārstāvju viedokli par ielā notikušajiem reģenerācijas procesiem, kā arī to ietekmi uz savstarpējo saikņu, kopienas veidošanos. Padziļinātās intervijas tika ierakstītas, pierakstītas un tad analizētas. Veicot teritorijas apsekojumu, tika veiktas piezīmes, kas analizētas un izmantotas pētījumā.

## Rezultāti un diskusija: Mūrnieku ielas kopienas, to veidošanos ietekmējošie faktori

Iegūtie rezultāti analizēti un interpretēti, apskatot trīs teritoriālās kopienas aspektus Mūrnieku ielā: (1) kopienas identificēšana, (2) faktori, kas ietekmējuši kopienas veidošanos (3) dažādos kopienu mērogos. Mūrnieku ielas gadījumā identificējamās ielas un pagalma mēroga kopienas.

Ielas atjaunošanas projekta gaitā iedzīvotāji ir iepazinušies savā starpā, tādējādi veidojot kopīgas teritorijas apziņu, kas, balstoties uz autores pieeju kopienas izpētē (tā ieskicēta teorētiskās nodaļas beigās), ir viens no kopienas esamības priekšnosacījumiem „*Pazīstu tos, kas te blakus. Te, kur tā Juta. Tad tos, kas barakā bija, bet viņiem iedeva dzīvokļus, tie aizgāja projām. Un tad tos, kas to stūra māju atjaunoja. Ar tiem esam sapulcēs tikušies,*” intervijā atzina kāda Mūrnieku ielas iedzīvotāja. Minētajā citātā interesanti iezīmējas norādes uz ielas mērogu (ielas mēroga kopienu): te ap stūri, tepat blakus. Tai pašā laikā tajā atklājas arī iedzīvotāju sadarbība un kopīga atbildība – piedalīšanās sapulcēs.

Būtiski ir arī tas, ka sadarbības laikā iedzīvotāji ir iepazinušies arī ar cilvēkiem, kuru rokās ir šīs ielas atjaunošana un turpmāka plānošana, – tas veicina savstarpēju uzticēšanos un apziņu, ka Mūrnieku iela nav „viena no”, ka tā ir īpaša iela un ka tās iedzīvotāji ir īpaši, jo ir no šīs ielas: „*Pavlovs [Dmitrijs Pavlovs – Rīgas Latgales priekšpilsētas izpilddirekcijas izpilddirektors – aut. piez.] tik atsaucīgs cilvēks!!! Interesējas. Viņš iet pa ielu, sasveicinās, ar katru parunājas...*”

Runājot ar iedzīvotājiem par ielas atjaunošanu, viņi uzsver un raksturo ne tikai funkcionālos un vizuālos uzlabojumus Mūrnieku ielā, bet arī norāda, kā tie ietekmējuši sociālās vides izmainīšanos šajā vietā: „*Pirms uzlabojumiem iela bija galīgi tāda... tādi bomži staigāja... bija bailīgi. Bija bail naktī iziet ārā. Tad stāstīja, kā naktī apzaga, visu atņēma utt. Un tad vēl tā degšana. Tagad tiešām tāds klusums pie mums, daudz smukāk, tīrāks... (..) Tagad, paldies dievam, ir mierīgāk palicies. Vai ka to ielu atjaunoja – varbūt viņiem palika neērti.*” Šajā gadījumā vides sakopšana – skaista un, galvenais, droša vide – ir veicinājusi iedzīvotāju lepnumu par savu ielu, piederības sajūtu vietai (Mūrnieku ielai). Piemēram, stāstot par pasākumiem, Mūrnieku ielas iedzīvotāja saka „*pie mums te – Mūrniekos*”. Šādā

veidā viņa norāda uz piederību konkrētai apkaimei, kā arī uz to, ka šāda apkaime pastāv.

Tātad Mūrnieku ielas atjaunošanas projekts ir veicinājis ielas kopienas veidošanos caur savas ielas kā vienotas teritorijas apzināšanos, kā arī caur sadarbību, jo, renovējot ielu, pašvaldības darbiniekiem bija jāsadarbojas ar namu un dzīvokļu īpašniekiem un iedzīvotājiem, kā arī iedzīvotājiem bija jāsadarbojas savā starpā. Faktu, ka kopīga darbošanās veicina kopienas veidošanos, ir atzinis arī Kingslejs ar līdzautoriem (Kingsley et al., 1997). Viņš to pamato ar tēzi, ka sadarbības laikā kaimiņi mācās paļauties cits uz citu, apzinās savu kopīgo kapacitāti un individuālās iespējas. Sadarbību starp vietējo kopienu un vietējām pārvaldes institūcijām kā priekšnosacījumu uz kopienu balstītai attīstībai min arī Tērners (Turner, 1999).

Ielas līmenis Mūrnieku ielas gadījumā ir teritorija, ar ko šīs ielas iedzīvotāji identificējas, tomēr neatbildēts paliek jautājums, vai tieši ielas mēroga apkaime ir tā, kas palīdz pārvarēt pilsētas mērogu, jo, iespējams, starp pilsētas un ielas mērogu šajā vietā var runāt par vēl kāda mēroga kopienu, piemēram, Grīziņkalna. Lai varētu atbildēt uz šo jautājumu un izdarīt pamatotus secinājumus, būtu jāpēta iedzīvotāji un telpas ne tikai Mūrnieku ielā, bet arī apkārtējās ielās.

Mūrnieku ielas gadījumā var runāt ne tikai par iepriekš apskatīto ielas mēroga kopienu, bet arī par pagalma mēroga kopienām, kas koncentrējas ap daļēji publisku (*semi-public*) teritoriju – pagalmu, kas vairākām ēkām ir kopējs, noslēgts no ielas ar žogu. Šī telpa tiek uzskatīta par daļēji publisku, jo teorētiski tajā var iekļūt katrs interesents (vārti nav slēgi), bet psiholoģiski tajā dominē telpas īpašnieki – ap pagalmu esošo māju iedzīvotāji. Mūrnieku ielas iedzīvotāja stāsta, kāds pagalmu izskatījies, kad tas bijis gan fiziski, gan psiholoģiski publisks un pieejams visiem: „Sākumā mums te arī bija cauri staigājams, uz Avotu ielu izeja (..) Tad te šausmas darījās. Te dzēra. Nevarēja pat žogu sataisīt, trešajā dienā ar kājām visu izdauzīja. Kā iesākts tas ceļš staigāt, tā patika viņiem un staigāja (..) Tad kaut ko nesadalīja un aizdedzināja, tad tur man garāža dega, veranda. Kas te tikai nedarījās.” Pēc žoga uzlikšanas tas kļuvis par daļēji publisku telpu: „Mēs te vasarā salasāmies kādreiz. Vai nu nāk Jāņi, vai kādi svētki. Mēs te, sētā. Man te ielikts tāds galdiņš, būs jāсатаisa jumtiņš (..) Es saku, labi, sataisīšu galdiņu, arī pasēdēsim, mūziku ieslēdzam, šašlikus cepam. Mums te ir visi aparāti (..) Tad mēs te kārtis paspēlējam, tad kādas spēles. Krustvārdu mīklas minam visi kopā, mums te tādi gudri puiši, tad es saku, nu, kurš vairāk uzminēs..”

Pirmajā citātā iezīmējas pagalmam nepiederošo personu ietekme uz pagalma iedzīvotāju iniciatīvu, kā arī telpas lietošanas pieraduma spēks, t. i., iedzīvotāji bija nonākuši līdz lēmumam salabot žogu – noslēgt pagalma teritoriju no ielas, taču cilvēkiem, kas ikdienā šo telpu izmantoja kā caurstaigājamu teritoriju, tas nebija pieņemami – žogs tika salauzts, un iestaigātās takas turpināts izmantot. Tikai tad, kad šie cilvēki pieņēma telpas daļēju noslēgšanu, pagalmā bija iespēja veidoties kopienai. Līdz ar to minētais piemērs atklāj fiziskās vides ietekmi uz kopienas veidošanos pagalma teritorijā, t. i., labvēlīga fiziskā vide veicina savstarpējo saikņu veidošanos, komunikāciju, jo parādās telpa, kur šiem procesiem notikt, veidoties. Piemērā parādās arī iedzīvotājas iniciatīva – piemēram, kāda iedzīvotāja veido pagalmu komunikācijai labvēlīgu – ar sēžamajiem, galdu, rīko kaimiņiem kopīgus

svētkus. Konkrētajā piemērā pagalma kopienā iesaistās dažāda vecuma iedzīvotāji, un tas, ka kāds paliek malā, savā dzīvoklī, ir saistīts ar personīgo motivāciju vai vēlmi – ir cilvēki, kas piedalās, un ir tādi, kas nepiedalās. Pēc iedzīvotāju stāstītā, šī iesaistīšanās/neiesaistīšanās nav saistīta ar varas attiecību hierarhiju kopienā. Lai labāk izprastu kopienas veidošanos, nozīmīgs būtu arī pētījums no neaktīvo indivīdu skatpunkta. Tas ļautu identificēt faktorus, kas viņiem liek palikt malā – intereses, kultūra, personīgā biogrāfija vai kas cits.

Mūrnieku ielas gadījums parāda arī to, cik liela nozīme ir iniciatīvai, kas teritorijas iedzīvotājus stimulē domāt par savu vidi, par apkārtējiem cilvēkiem un ēkām, iesaistīties apkārtējās vides veidošanā. Tomēr iniciatīva nevar pastāvēt bez tās atbalstītājiem – cilvēkiem, kas ne tikai apmeklē izpilddirekcijas organizētos pasākumus, bet arī aktīvi iesaistās un palīdz. Un šajā jautājumā Mūrnieku ielas iedzīvotāji ir diezgan pasīvi. No iedzīvotāju stāstītā kļūst skaidrs, ka viņi labprāt svin svētkus, ko kāds ir noorganizējis, bet ārpus izpilddirekcijas organizētajiem pasākumiem ielas līmenī nenotiek kopīgas aktivitātes. Ja izpilddirekcija neorganizē kādus pasākumus, nekas nenotiek: „*Es saprotu, ka Mūrnieku ielā visi gaida skaistus svētkus no izpilddirekcijas. Bet ir jāsaprot, ka ir jābūt līdzdalībai. Un uz šo līdzdalību cilvēki tiek aicināti. Bet, līdzko liek ko darīt vai kaut ko lūdz, lielai daļai tas ir kā aprūtinājums (..) Es saprotu, ka ir ļoti grūti ar naudām, nevar cilvēki samaksāt īri, ir dažādas ekonomiskās problēmas, bet ir taču iespēja nākt ar idejām, un tam nebūt nav vajadzīga liela nauda. Var lietas izdarīt bez naudas, ja ir vēlēšanās, bet ir jābūt atbalstam, to nevar izdarīt viens cilvēks,*” atzīst izpilddirekcijas pārstāve. Tātad izpilddirekcija, kas jau kopš ielas reģenerācijas projekta ir bijusi iniciatore visām aktivitātēm ielā un pēc šī projekta noslēgšanās ir turpinājusi veidot ielā svētkus, labprāt vismaz daļēji nodotu šo iniciatīvas un līdera funkciju kādam citam, taču tas nav iespējams, jo ne iedzīvotāji, ne uzņēmēji to neuzņemas. Līdz ar to rodas jautājums – kas notiks, ja izpilddirekcija vairs neuzņemsies tik lielas rūpes par vienu ielu apkaimē, bet vairāk pievērsīsies citām teritorijām? Pēc 2010. gada izpilddirekcijas mēģinājuma pāriet malā, šķiet, iela paliks arvien klusāka, jo vietā nav nācis neviens, kas uzņemtos kopienas veidošanu un stiprināšanu – ne iedzīvotāji, ne organizācijas (piem., ielā esošie privātu uzņēmumi). Kūtrumu un atturīgu attieksmi līdzās citiem personiskiem raksturlielumiem (dzimumam, vecumam, ekonomiskajam statusam, iepriekšējai pieredzei ar dominējošām struktūrām) kā faktorus, kas ietekmē indivīdu iesaistīšanos apkaimes projektos, ir minējuši arī Vilsone un Koīsters (Wilson and Koester, 2008), viņi pētījuši vietējo kopienu iesaistīšanos apkaimes uzlabošanas projektos postpadomju telpā, kas iniciēti „no augšas”, t. i., valsts vai pašvaldības. Pētījumi par pašiniciatīvu kopienās postpadomju telpā un faktoriem, kas to ietekmē, būtu ļoti nozīmīgi turpmākā teritoriālas kopienas izpratnē.

Tātad tagad, pēc Austrumu izpilddirekcijas ielas reģenerācijas projekta, Mūrnieku ielā iespējams runāt par diva mēroga kopienām – ielas līmeņa kopienu (pēc Kusenbach, 2008 – ielas un kvartāla kopienu) un pagalma līmeņa kopienu (pēc Kusenbach, 2008 – mikronovietojumu). Šīs kopienas raksturo atšķirīgas pazīmes – dažāda līmeņa iesaiste, piederība un atdeve no iedzīvotāju puses. Ielas mēroga kopienu raksturo identificēšanās ar teritoriju – Mūrniekiem. Kā kopīgas saiknes šajā gadījumā parādās ielas atjaunošana un problēmas, jautājumi, risinājumi, kas ar to saistīti. Savstarpējā saskarsme ielas mēroga kopienā lielākoties ir notikusi ielas atjaunošanas

projekta laikā – sapulcēs, tikšanās reizēs. Ielas mēroga kopienai ir arī savi pasākumi un svētki, taču tie nav iedzīvotāju iniciēti. Pagalma mēroga kopienu raksturo kopīgā daļēji publiskā teritorija – pagalms, kas šajā piemērā atklājas kā būtisks priekšnoteikums kopienas attīstībai. Savstarpējo saikņu veidošanās ir saistīta ar pagalma labiekārtošanu un kopīgiem pasākumiem pagalmā.

## Secinājumi un nobeigums

Katram no kopienas līmeņiem, par ko var runāt Mūrnieku ielas gadījumā, ir savas raksturīgās iezīmes – ielas līmenī iedzīvotāji tikuši vienoti kopīgam mērķim, ielas līmenis ir tas, ar ko iedzīvotāji teritoriāli identificējas. Pagalma līmeni veido iedzīvotāji, kas dzīvo blakus, kam ir kopīga puspubliskā telpa, kura no fiziskās vides viedokļa ir savstarpējo saikņu veidošanai labvēlīga. Saiknes pagalma līmenī veido ikdienas kontakti, kopīgi pasākumi, kopīga teritorija, tās uzturēšana.

Kā kopienas veidošanos ietekmējošs faktors abos mērogos atklājas iniciatīva, kas ielas līmenī ir nākusi no izpilddirekcijas, bet pagalma līmenī – no iedzīvotājiem. Iniciatīvas nevar pastāvēt bez to atbalstītājiem – gan ielas, gan pagalma līmenī nav skaidrs, kas notiktu ar kopienu, ja iniciatīva izzustu, ja līderis vairs nevēlētos uzņemt līdera lomu.

Latvijā pēdējos gados plānošanas procesa laikā arvien lielāka uzmanība tiek pievērsta cilvēkiem, kas konkrētajā teritorijā darbojas – dzīvo, strādā, atpūšas utt., t. i., plānošana sāk notikt no individuāla līmeņa uz grupu un kopienu līmeni. Tādējādi teritoriālās kopienas konceptu iespējams izmantot esošo kopienu kapacitātes identificēšanai un kopienas attīstībai labvēlīgu priekšnosacījumu radīšanai, kas, savukārt, ļautu veiksmīgāk iesaistīt konkrētās teritorijas cilvēkus plānošanas procesos.

## Pateicība

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda (ESF) atbalstu projektā „Atbalsts doktora studijām Latvijas Universitātē” (Nr. 2009/0138/IDP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/004).

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Bellah, R. 1985. *Habits of the Heart: Individualism and Commitment in American Life*. Berkeley, CA: University of California Press. 1364 pp.
2. Brooks-Gunn, J., Duncan, G. J., Klebanov, P. K., and Sealand, N. 1993. Do neighborhoods influence child and adolescent development? *American Journal of Sociology*, 99, 353–395.
3. Buttner, A. 1976. Grasping the Dynamism of Lifeworld. *Annals of the Association of American Geographers*, 66 (2), 277–292.
4. Calthorpe, P. 1993. *The next American metropolis: Ecology, community and the American dream*. New York: Princeton Architectural Press. 175 pp.
5. Campbell, K. E., Lee, B. A. 1992. Sources of personal neighbourhood networks: social integration, need or time. *Social Forces*, 70, 1077–1100.
6. Chaskin, R. J. 1997. Perspectives on neighbourhood and community: a review of the literature. *The Social Service Review*, 71 (4), 521–547.



7. Coulton, C. J., Korbin, J., Chan, T. and Su, M. 2001. Mapping residents' perception of neighborhood boundaries: a methodological note. *American Journal of Community Psychology*, 29 (2), 371–383.
8. Dear, M. 1996. *Rethinking Los Angeles*. SAGE Publications, USA. 304 pp.
9. Fleming, R., Baum, A. and Singer, J. E. 1985. Social support and the physical environment. In: S. Cohen and S. L. Syme (eds.) *Social Support and Health*. Orlando, FL: Academic Press, pp. 327–345.
10. Haerberle, S. H. 1988. People or place: variations in community leaders' subjective definitions of neighborhood. *Urban Affairs Quarterly*, 23(4), 616–634.
11. Hillery, G. A. 1955. Definitions of Community: Areas of Agreement. *Rural Sociology*, 20, 779–791.
12. Hunter, A. 1974. *Symbolic Communities*. Chicago: University of Chicago Press. 253 pp.
13. Hunter, A. 1975. The loss of community: an empirical test through replication. *American Sociological Review*, 40, 537–552.
14. Jacobs, J. 1961. *The Death and Life of Great American Cities*. Vintage, New York. 458 pp.
15. Janowitz, M. 1952. *The Community Press in an Urban Setting: The Social Elements of Urbanism*. Chicago: University of Chicago Press. 275 pp.
16. Kingsley, G. T., McNeely, J. B., Gibson, J. O. 1997. *Community building coming of age*. Development Training Institute, Urban Institute. 74 pp.
17. Kingston, S., Mitchell, R., Florin, P., and Stevenson, J. 1999. Sense of community in neighborhoods as a multi-level construct. *Journal of Community Psychology*, 27 (6), 681–694.
18. Kusenbach, M. 2008. A Hierarchy of Urban Communities: Observations on the Nested Character of Place. *City & Community*, 7 (3), 225–249.
19. Lyon, L. 1999. *The Community in Urban Society*. Prospect Heights, IL: Waveland Press. 320 pp.
20. Olson, P. 1982. Urban Neighborhoods Research: Its Development and Current Focus, *Urban Affairs Quarterly*, 17 (4), 491–518.
21. Peterman, W. 2000. *Neighbourhood Planning and Community – Based Development. The Potential and Limits of Grassroots Action*. SAGE Publications. 191 pp.
22. Putnam, R. D. 2000. *Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community*. New York: Simon and Schuster. 541 pp.
23. Sampson, R. J., Morenoff, J. D., Gannon-Rowley, T. 2002. Assessing „neighborhood effects”: social processes and new directions in research. *Annual Review of Sociology*, 48, 443–478.
24. Slovak, J. S. 1986. Attachment in the Nested Community: Evidence from a Case Study. *Urban Affairs Quarterly*, 21 (4), 575–597.
25. Soja, E. 1996. *Thirdspace: Journeys to Los Angeles and Other Real-and-Imagined Places*. Oxford: Basil Blackwell. 340 pp.
26. Turner, R. S. 1999. Entrepreneurial Neighborhood Initiatives: Political Capital in Community Development. *Economic Development Quarterly*, 13 (15), 15–22.
27. Ušča, M. 2010. Sociālā telpa un apkaimes: izpratne, pieejas. *Latvijas Universitātes Raksti. Zemes un vides ziātnes*, 752. sēj., 222.–259. Lpp.
28. Vromen, A. 2003. Community-Based Activism and Change: The Case of Sydney and Toronto. *City & Community*, 2 (1), 47–69.

29. Webber, M. 1963. Order in diversity, community without propinquity. In: L. Winga (Ed.) *Cities and Space: The Future Use of Urban Land*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, pp. 23–56.
30. Wilson, E., Koester, D. 2008. Community participation in international projects: an analytical perspective from the Russian Far East. *Environment, Development and Sustainability*, 10 (3), 267–290.

## Summary

*In the study the ideas about place-based communities, their possible scale and factors that influence their formation are depicted. As a case study Mūrnieku street (Mūrnieku iela) in Riga is investigated. In this area the initiative of Riga Latgale administrative district authorities has furthered not only the improvements of the physical environment of the street (and in some cases – courtyard), but also the formation of interpersonal social ties between residents. In the study the author, based on data gathered by using semi-structured in-depth interviews with the residents of the street and representatives from the municipality talks about the influence of the aforementioned initiative on place – based community development in the specific territory.*

**Keywords:** *community formation, initiatives, place-based community, urban space.*

## Lilītas Ilgas Gailītes piemiņai

**Ervīns Lukševičs<sup>1</sup>, Atis Mūrnieks<sup>2</sup>,  
Dzidra Skrube<sup>2</sup>, Ģirts Stinkulis<sup>1</sup>,  
Angelīna Zabele<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Latvijas Universitāte  
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte  
Raiņa bulvāris 19, Rīga, LV-1586

E-pasts: [ervins.luksevics@lu.lv](mailto:ervins.luksevics@lu.lv), [girts.stinkulis@lu.lv](mailto:girts.stinkulis@lu.lv), [angelina.zabele@lu.lv](mailto:angelina.zabele@lu.lv)

<sup>2</sup> Latvijas Ģeologu savienība  
Eksporta iela 5-416A, Rīga, LV-1010  
E-pasts: [murnieks.atis@inbox.lv](mailto:murnieks.atis@inbox.lv)

Saulainā 2012. gada marta trešajā dienā, tikai nedēļu pēc 75 gadu jubilejas pārtrūka pazīstamās ģeoloģes, ordovika un silūra stratigrāfijas un paleontoloģijas speciālistes ģeoloģijas doktores Lilītas Ilgas Gailītes dzīves gājums. Vēsts par viņas aiziešanu mūžībā ir negaidīta un šķiet nepieņemama, jo Lilīta, ilggadējā Ģeoloģijas institūta, vēlāk Vissavienības Jūras ģeoloģijas ZPI (VNIIMORGEO) līdzstrādniece, Latvijas Universitātes Ģeoloģijas institūta pētniece un Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes docētāja, līdz pavisam nesenam laikam uzturējusi ciešus kontaktus ar bijušajiem kolēģiem, saglabājusi interesi par mūža mīlestību – paleontoloģiju, centusies popularizēt zināšanas par senajiem organismiem un Latvijas ģeologu devumu zinātnes attīstībā.



*1. attēls. Lilīta Ilga Gailīte*  
(foto no LU ZTVM Ģeoloģijas muzeja arhīva)

Lilita Ilga Gailīte dzimusi 1937. gada 25. februārī Rīgā. Tēvs Kārlis Gailītis – Latvijas operas solists, bijis arī koru diriģents. Māte – pianiste, pasniedzēja konservatorijā. Brālis Kārlis Gailītis – LELB arhibīskaps (1936. g. 3. marts – 1992. g. 22. novembris; traģiski gājis bojā autokatastrofā), Atmosferas laika aktīvists.

Lilita Gailīte mācījusies Āgenskalna ģimnāzijā vienā klasē ar brāli. Ģeoloģijas studijas ģeoloģiskās kartēšanas un izpētes specialitātē sākusi 1957. gadā Maskavas Universitātē, bet ģimenes apstākļu dēļ pēdējo, piekto, studiju gadu noslēgusi un diplomdarbu aizstāvējusi Erevānas Universitātē.



2. attēls. Lilita Gailīte iežu glabātavā Skrundā 1975. gadā  
(foto no LU ZTVM Ģeoloģijas muzeja arhīva)

Pēc studijām sākusi darba gaitas Latvijas PSR Zinātņu akadēmijas Ģeoloģijas institūtā, kur pierādījusi sevi kā mērķtiecīga un talantīga pētniece. Šai zinātnes nozarei neraksturīgi īsā laikā, no 1962. līdz 1966. gadam, Ritas Ulstes vadībā izstrādājusi disertāciju par Latvijas silūra nogulumu stratigrāfisko iedalījumu, tajos sastopamo gliemeņvēžu fosilijām un korelēšanu ar citu reģionu analoga vecuma iežiem. Ģeoloģijas un mineraloģijas zinātņu kandidāta grādu Gailīte ieguvusi 1967. gadā pēc disertācijas aizstāvēšanas Tallinā, Igaunijas ZA Ģeoloģijas institūtā. Pēc grāda iegūšanas turpinājusi pētniecisko darbību Ģeoloģijas institūtā (2. att.). Arī pēc tā pārveides par Vissavienības Jūras ģeoloģijas un ģeofizikas ZPI 1967. gadā

darbojusies Latvijas ģeoloģijas nodaļā, kur, cieši sadarbojoties ar Ritu Ulsti, 70. un 80. gados nodarbojusies galvenokārt ar Latvijas un Baltijas ordovika un silūra stratigrāfijas pētījumiem, nosakot ordovika un silūra stratigrāfisko vienību robežas un apjomus, vēlāk pievērsusies tajā laikā populārajiem ekostratigrāfijas pētījumiem un sniegusi lielu ieguldījumu Baltijas ordovika, silūra un devona nogulumu korelēšanā (3. att.). Ilgus gadus L. Gailīte ir bijusi Latvijas stratigrāfijas komisijas (tolaik Baltijas reģionālās starpresoru stratigrāfijas komisijas sastāvdaļas) sekretāre, strādādama kopā ar R. Ulsti, kas vadījusi komisijas darbu. Kaimiņvalstu ģeologi ļoti augstu vērtē Ritas Ulstes un Lilitas Gailītes devumu Baltijas ordovika un silūra nogulumu pētījumos, apgalvojot, ka viņas kopā ar Ritu Ulsti ir izdarījušas vairāk nekā visi iepriekšējie pētnieki kopā. Ražīgākais darbs ir bijis 70.–80. gados, kad publicēti vairāki desmiti zinātnisko rakstu un četras monogrāfijas ar līdzautorēm Ritu Ulsti, Mariju Ribņikovu, Veru Jakovļevu un Āriju Fridrihsoni. Laika gaitā ir izveidojušies un vienmēr uzturēti cieši kontakti ar Igaunijas un Lietuvas, kā arī Krievijas paleontologiem un stratigrāfiem.



3. attēls. Jūras ģeoloģijas un ģeofizikas ZPI darbinieku grupa 1988. gada 18. oktobrī, atzīmējot L. Savvaitovas dzimšanas dienu. No kreisās 1. rindā: Valentīna Ševčuka, Igors Danilāns, Ludmila Savvaitova, Jeļena Malahova, Lilita Gailīte, Dzidra Skrube; 2. rindā: Visvaldis Kuršs, Viktors Grāvītis, Viktors Ulsts, Jeļena Bulgakova, Austra Stinkule, Indra Federe, Tatjana Sprinģe, Velga Līce, Ieva Upeniece, Vitālijs Sorokins; 3. rindā: Velga Eizentāle, Arnis Brangulis, Artūrs Birķis, Astrīds Freimanis, Ints Veinbergs, viņam priekšā Aija Ceriņa, Inga Gavena, Rita Ulste  
(V. Kurša foto no LU ZTVM Ģeoloģijas muzeja arhīva)



4. attēls. Latvijas Universitātes Ģeoloģijas katedras personāls 1995. gada novembrī.  
 No kreisās: Angelīna Zabele, Igors Danilāns, Inese Ulmane, Ilona Valante,  
 Vija Hodireva, sēž Lilita Gailīte  
 (A. Zelča foto no LU ZTVM Ģeoloģijas muzeja arhīva)

Īpašu Lilitas uzmanību vienmēr ir saistījuši tālās pagātnes sīkie vēžveidīgie. Pētot silūra un ordovika gliemeņvēžus jeb ostrakodus, Lilita ir kļuvusi par sava veida rekordisti Latvijas paleontologu vidū, nodalot vienu jaunu apakšdzimtu, astoņas jaunas ģintis un 41 jaunu sugu, no kurām lielākā daļa joprojām tiek uzskatītas par derīgajām bioloģiskajām sugām (piem., Meidla, 1996). Lilitas uzmanību izpelnījušies arī citi senie organismi, ir pēfīti ordovika trilobīti un konodonti, uzmanību veltot arī hitinozojiem un brahiopodiem. L. Gailītes nodalītās biostratigrāfiskās zonas pēc gliemeņvēžiem joprojām ir izmantojamas silūra nogulumu korelēšanā gan Baltijā, gan ar citiem kaimiņu reģioniem.

Sākoties politiskajām pārmaiņām Latvijā, 1989. gadā Vissavienības Jūras ģeoloģijas un ģeofizikas institūta Latvijas ģeoloģijas nodaļa tiek pievienota Latvijas Universitātei kā zinātniski pētnieciskā Ģeoloģijas nodaļa, uz kuras bāzes 1994. gadā tika izveidots LU Ģeoloģijas institūts. L. Gailīte līdz ar daudziem citiem Latvijas ģeologiem turpināja darbu abās jaunizveidotajās institūcijās. 1989. gadā pēc 37 gadu pārtraukuma radās iespēja atsākt ģeoloģijas studijas LU, un to organizēšanā aktīvi iesaistījās gandrīz visi Ģeoloģijas nodaļas speciālisti Igora Danilāna vadībā. 1991. gadā L. Gailīte kļuva arī par vienu no nedaudzajiem Ģeogrāfijas fakultātes Ģeoloģijas (vēlāk – Vispārīgās ģeoloģijas) katedras docētājiem, un docentes amatā viņa strādājusi līdz 1996. gadam (4. att.). Vienlaikus turpinājusi zinātnisko darbību Ģeoloģijas institūtā (līdz 1998. gadam), ir vadījusi vairākus Ģeoloģijas institūta

pētniecības projektus. Pēc tā laika ģeoloģijas studentu atsaucēm, Lilita Gailīte vienmēr bijusi korekta un līdzsvarota. Studentiem patikušas viņas ļoti sistemātiski veidotās lekcijas paleontoloģijas un vēsturiskās ģeoloģijasursos. Papildus kursiem „Vēsturiskā ģeoloģija” un „Paleontoloģija” L. Gailīte lasījusi lekcijasursos „Stratigrāfija un ģeohronoloģija”, „Paleoekoloģija” un citus, vadījusi dažu Latvijā pazīstamo ģeologu un paleontologu bakalaura un maģistra darbus, piemēram, Ināras Mīkažānes (tagad I. Nulles) darbu par augšējā silūra konodontiem Latvijā.

Pēc pensionēšanās daudz un ar aizrautību ceļojot, viņa nav sarāvusi saites ar ģeoloģiju un paleontoloģiju. Lilita aktīvi piedalījies dažādos Latvijas ģeologu rīkotajos pasākumos, labprāt dalījies iespaidos, ko guvusi tālos un tuvos ceļojumos. Aktīvi piedalījies paleontoloģijas popularizēšanā ar ziņojumiem konferencēs un publicējot zinātniski populārus rakstus, kā arī iesaistoties ģeoloģijas maģistra un doktora darbu vērtēšanā. Pēdējā mūža desmitgadē viņa strādājusi Latvijas Dabas muzejā kā laborante (2007–2009), vēlāk kā brīvprātīgā darbiniece turpinājusi apstrādāt ordovika gliemeņvēžu, trilobītu un brahiopodu vākus, kas paliks Dabas muzeja krājumā kā viņas nesavtīgā darba pieminekļi.

Lilita Ilga Gailīte vēl ilgi paliks visu Latvijas ģeologu un paleontologu gaišā piemiņā.

## Lilitas Ilgas Gailītes publikācijas (hronoloģiskā secībā)

### Monogrāfijas

1. Gailīte, L., Ribņikova, M., Ulste, R. 1967. *Stratigrafiya, fauna i usloviya obrazovaniya silurijskikh porod Srednej Pribaltiki* (Baltijas silūra nogulumu stratigrāfija, fauna un veidošanās apstākļi; Stratigraphy, fauna and sedimentary environment of the Silurian deposits of Middle Peribaltic). Zinātne, Rīga. 304 lpp. (krievu val.; in Russian).
2. Ulste, R., Gailīte, L., Jakovļeva, V. 1982. *Ordovik Latvii* (Ordoviks Latvijā; Ordovician of Latvia). Zinātne, Rīga. 294 lpp. (krievu val.; in Russian).
3. Gailīte, L., Ulste, R., Jakovļeva, V. 1987. *Stratotipicheskie i tipovye razrezy silura Latvii* (Stratotipiskie un tipiskie silūra griezumi Latvijā; Silurian stratotypical and type-sections in Latvia). Zinātne, Rīga. 183 lpp. (krievu val.; in Russian).
4. Brangulis, A., Gailīte, L., Zabels, A., Sprinģis, T., Ulste, R., Fridrihsone, A., Jakovļeva, V. 1989. *Stratotipicheskie i opornye razrezy venda, kembriya i ordovika Latvii*. (Venda, kembrija un ordovika stratotipiskie un raksturīgie griezumi Latvijā; Vendian, Cambrian and Ordovician stratotypical and key sections in Latvia). Zinātne, Rīga. 155 lpp. (krievu val.; in Russian).

### Zinātniskie raksti

1. Gailīte, L. 1963. Rasprostranenie gipsov v otlozheniyah franskogo yarusa Latvii (Ģipšu izplatība Franas stāva nogulumos Latvijā; Distribution of gypsum in the Frasnian deposits of Latvia). Gr.: Liepiņš, P. (red.) *Franskie otlozheniya Latvijskoj SSR*. Zinātne, Rīga, 201.–211. lpp. (krievu val.; in Russian).

2. Gailīte, L., Ribņikova, M., Ulste, R. 1964. O nalichii ludlovskogo yarusa v Latvijskom progibe (Par Ludlovas stāva klātbūtni Latvijas ieliecē; On the presence of Ludlow deposits in the Latvian Downfold). *Latvijas PSR Zinātņu Akadēmijas Vēstis*, 5 (202): 31.–39. lpp. (krievu val. ar angļu val. kopsavilkumu; in Russian with English summary).
3. Gailīte, L. 1964. R voprosu o biostratigraficheskom raschlenenii verhnego silura Latvii (Par Latvijas augšējā silūra biostratigrāfisko iedalījumu; On the problem of biostratigraphic differentiation of the upper Silurian in Latvia). *Latvijas PSR Zinātņu Akadēmijas Vēstis*, 11 (208): 65.–72. lpp. (krievu val. ar angļu val. kopsavilkumu; in Russian with English summary).
4. Gailīte, L. 1965. Stratigrafichesкая priurochennost' ostrakod semejstva Beyrichiidae v silurijskikh otlozheniyah Latvii (Ostrakodu dzimtas Beyrichiidae stratigrāfiskā izplatība Latvijas silūra nogulumos; Stratigraphic distribution of ostracods of the family Beyrichiidae in the Silurian deposits of Latvia). *Latvijas PSR Zinātņu Akadēmijas Vēstis*, 2 (211): 68.–74. lpp. (krievu val. ar angļu val. kopsavilkumu; in Russian with English summary).
5. Gailīte, L. 1966a. Primitiopsidy pozdnego silura Latvii (Latvijas vēlā silūra primitiopsīdi; Primitiopsids of the Upper Silurian of Latvia). Gr.: Grigelis, A. (red.) *Paleontologiya i stratigrafiya Pribaltiki i Belorussii*. Mintis, Vilnius, 97.–126. lpp. (krievu val. ar angļu val. kopsavilkumu; in Russian with English abstract).
6. Gailīte, L. 1966b. *Stratigrafiya i ostrakody silura Srednej Pribaltiki: avtoreferat kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk* (Baltijas silūra stratigrāfija un gliemenņvēži: geoloģijas mineraloģijas zinātņu kandidāta autoreferāts; Stratigraphy and ostracods from the Silurian of Baltic: abstracts of the dissertation of Candidate of geological mineralogical science). Eesti NSV Teaduste Akadeemia. 22 lpp. (krievu val.; in Russian).
7. Gailīte, L. 1967. *Orcofabella*, a new name for ostracode genus *Orcus* Gailīte, 1966, preoccupied. *Geologiska Foreningens I Stockholm Forhandlingar*, 89 (3): 387.
8. Gailīte, L. 1968. Paleontologicheskaya charakteristika pogranichnyh otlozhenij ordovika i silura Latvii (Ordovika un silūra robežas nogulumu paleontoloģiskais raksturojums Latvijā; Palaeontological characteristic of adjacent Ordovician and Silurian deposits in Latvia). Gr.: Grigelis, A. (red.) *Stratigrafiya nizhnego paleozoya Pribaltiki i korrelyaciya s drugimi regionami*. Mintis, Vilnius, 130.–138. lpp. (krievu val. ar angļu val. kopsavilkumu; in Russian with English summary).
9. Gailīte, L. 1970. Ostrakody kuldigskoj pachki verhnego ordovika Latvii (Gliemenņvēži no Latvijas augšējā ordovika Kuldīgas ridas; Ostracodes from the Kuldīga Member of the Upper Ordovician of Latvia). Gr.: Grigelis, A. (red.) *Paleontologiya i stratigrafiya Pribaltiki i Belorussii*, 2. Mintis, Vilnius, 19.–31. lpp. (krievu val. ar angļu kopsavilkumu; in Russian with English abstract).



10. Gailīte, L. 1970. Ecological distribution of Downtonian ostracodes in Baltic region. In: Oertli, H. J. (ed.) *Colloquium on the Paleocology of Ostracoda. Bulletin of the Centre of Research, Pau.*
11. Ulste, R., Gailīte, L. 1970. Granica ordovika i silura v Latvii i litostratigraficheskoe podrazdelenie pogranichnykh otlozhenij (Ordovika un silūra robeža Latvijā un robežas nogulumu litostratigrāfiskais iedalījums; Border of the Ordovician and Silurian of Latvia and the litho-stratigraphical subdivision of the boundary deposits (sic.). Gr.: Grigelis, A. (red.) *Paleontologiya i stratigrafiya Pribaltiki i Belorussii*, 2. Mintis, Vilnius, 283.–295. lpp. (krievu val. ar angļu val. kopsavilkumu; in Russian with English abstract).
12. Gailīte, L. 1971. Ostrakody semejtva Bolliidae Bouček ordovika Latvii (Bolliidae Bouček dzimtas gliemeņvēži no Latvijas ordovika; Ostracoda of the family Bolliidae Bouček in the Ordovician of Latvia). Gr.: Grigelis, A. (red.) *Paleontologiya i stratigrafiya Pribaltiki i Belorussii*, 3. Mintis, Vilnius, 37.–50. lpp. (krievu val. ar angļu val. kopsavilkumu; in Russian with English abstract).
13. Gailīte, L. 1972a. O vozraste nizhnikh sloyov verhnego ordovika Latvii (Par Latvijas augšējā ordovika apakšējo slāņu vecumu; On the age of lowermost Upper Ordovician in Latvia). Gr.: Ulste, R. (red.) *Regional'naya geologiya Pribaltiki i Belorussii*. Zinātne, Rīga, 3–6. (krievu val. ar angļu kopsavilkumu; in Russian with English summary).
14. Gailīte, L. 1972b. Ekologicheskoe rasprostranenie dauntonskikh ostrakod v Pribaltike (Dauntona ostrakodu ekoloģiskā izplatība Baltijā; Ecological distribution of Downtonian ostracodes in Baltic region). *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised, Keemia, Geoloogia*, 21 (2).
15. Ulste, R., Gailīte, L. 1972. Predvaritel'nye dannye o podrazdelenii ordovika v razreze skvazhiny Luda (vostochnaya Latvija) (Sākotnējie dati par ordovika griezumam Ludzas urbumā, Austrumlatvija; Preliminary data on Ordovician stratigraphy in Ludza borehole, Eastern Latvia). Gr.: Ulste, R. (red.) *Regional'naya geologiya Pribaltiki i Belorussii*. Zinātne, Rīga, 194–197. (krievu val. ar angļu kopsavilkumu; in Russian with English summary).
16. Gailīte, L. 1973. Analiz rasprostraneniya i korrelyacionnoe znachenie trilobitov i ostrakod srednego ordovika Latvii (Latvijas vidējā ordovika trilobītu un gliemeņvēžu izplatības analīze un nozīme korelācijai; Distribution analysis and correlative value of Middle Ordovician trilobites and ostracodes in Latvia). Gr.: Kuršs, V. (red.) *Problemy regional'noj geologii Pribaltiki i Belorussii*. Zinātne, Rīga, 63.–70. lpp. (krievu val. ar angļu val. kopsavilkumu; in Russian with English summary).
17. Ulste, R., Gailīte, L. 1974. Zonal'nye podrazdeleniya verhnego silura Latvii (Augšējā silūra zonālās vienības Latvijā; Zones in the upper Silurian of Latvia). Gr.: Sorokin, V. (atb. red.) *Regional'naya geologiya Pribaltiki*. Zinātne, Rīga, 38.–44. lpp. (krievu val.; in Russian).
18. Gailīte, L. 1975. Trilobity verhnego ordovika Latvii (Latvijas augšējā ordovika trilobīti; Upper Ordovician trilobites from Latvia). Gr.: Grigelis, A. (red.) *Fauna i stratigrafiya paleozoya i mezozoya Pribaltiki i Belorussii*. Mintis, Vilnius,

- 5.–19. lpp. (krievu val. ar angļu val. kopsavilkumu; in Russian with English summary).
19. Gailīte, L. 1975. Novye vidy ostrakod verhnego ordovika Latvii (Jaunas gliemeņvēžu sugas no Latvijas augšējā ordovika; New species of ostracoda from Upper Ordovician of Latvia). Gr.: Grigelis, A. (red.) *Fauna i stratigrafiya paleozoya i mezozoya Pribaltiki i Belorussii*. Mintis, Vilnius, 45.–57. lpp. (krievu val. ar angļu val. kopsavilkumu; in Russian with English summary).
20. Gailīte, L. 1975. Ostrakody iz pogranichnykh sredne- i verhneordovikskikh otlozhenij Zapadnoj Latvii (Gliemeņvēži Rietumlatvijas vidējā un augšējā ordovika robežas tuvumā; Ostracoda from Middle and Upper Ordovician boundary in west Latvia). Gr.: Grigelis, A. (red.) *Fauna i stratigrafiya paleozoya i mezozoya Pribaltiki i Belorussii*. Mintis, Vilnius, 59.–67. lpp. (krievu val. ar angļu val. kopsavilkumu; in Russian with English summary).
21. Gailīte, L., Ulste, R. 1975. Stratigrafiya i fauna nizhnego ordovika Latvii (Latvijas apakšējā ordovika stratigrāfija un fauna; Stratigraphy and fauna of the Lower Ordovician in Latvia). Gr.: Luncs, A. (red.) *Geologiya kristallicheskogo fundamenta i osadochnogo chekhla Pribaltiki*. Zinātne, Rīga, 82.–131. lpp. (krievu val. ar angļu val. kopsavilkumu; in Russian with English summary).
22. Gailīte, L., Ulste, R. 1976. Ordovikskaya sistēma (Ordovika sistēma; Ordovician System). Gr.: *Stratigraficheskie shemy Latvijas SSR*. Zinātne, Rīga, 36.–67. lpp.
23. Gailīte, L. 1978. Ostrakodovye zony przhidola Latvii (Pršidolas gliemenvēžu zonas Latvijā; Pridolian ostracod zones in Latvia). Gr.: Sorokin, V. (red.) *Stratigrafiya fanerozoya Pribaltiki*. Zinātne, Rīga, 13.–21. lpp. (krievu val.; in Russian).
24. Gailīte, L. 1978. Korrelyaciya ordovikskikh otlozhenij na territorii Latvii (Ordovika nogulumu korelācija Latvijas teritorijā; Correlation of the Ordovician deposits in the territory of Latvia). Gr.: Brangulis, A. (red.) *Ocherki geologii Latvii*. Zinātne, Rīga, 26.–35. lpp. (krievu val.; in Russian).
25. Gailīte, L. 1979. Ordovikskaya sistema (Ordovika sistēma; Ordovician System). Gr.: Misāns, J. (atb. red.) *Geologicheskoe strojenie i poleznye iskopaemye Latvii*. Zinātne, Rīga, 38.–56. lpp. (krievu val.; in Russian).
26. Ulste, R., Gailīte, L., Sprinģis, T. 1984. Litostratigraficheskaya shema rachelneniya ordovika Jelgavskogo progiba (Jelgavas ielieces ordovika griezuma litostratigrāfiskā shēma; Lithostratigraphic subdivision of the subsurface Ordovician rocks of the Jelgava depression). Gr.: Mannil, R., Mens, K. (red.) *Stratigrafiya drevnepaleozojskikh otlozhenij Pribaltiki*. Valgus, Tallinn, 63.–76. lpp. (krievu val. ar igauņu un angļu val. kopsavilkumu; in Russian with Estonian and English summary).
27. Gailīte, L. 1986. Ostrakodovye asociacii pozdnego silura Latvii (Vēlā silūra gliemeņvēžu asociācijas Latvijā; Late Silurian ostracod assemblages from Latvia). Gr.: *Teoriya i opyt ekostratigrafii*. Valgus, Tallinn. (krievu val.; in Russian).
28. Gailīte, L. 1986. Facial'nyj kontrol' raspredeleniya ludlovskikh ostrakod Latvii (Ludlovas gliemeņvēžu izplatība Latvijā atkarībā no fācijām; Facies control

of distribution of the Ludlovian ostracods in Latvia). Gr.: Brangulis, A. (red.) *Biofacii i fauna silurijskogo i devoskikh bassejnov Latvii*. Zinātne, Rīga, 13.–21. lpp. (krievu val.; in Russian).

29. Ulste, R., Gailīte, L. 1986. Facial'naya zonal'nost' i mestnye stratomy verhnego silura Latvii (Latvijas augšējā silūra faciālā zonalitāte un vietējie stratonī; Facial zonality and local strata of the upper Silurian in Latvia). Gr.: Brangulis, A. (red.) *Biofacii i fauna silurijskogo i devoskikh bassejnov Latvii*. Zinātne, Rīga, 3.–12. lpp. (krievu val.; in Russian).

### Konferenču ziņojumu tēzes

1. Ulste, R., Gailīte, L. 1970. Litostratigrafiya ordovikskikh otlozhenij Latvijskoj SSR (Latvijas PSR ordovika nogulumu litostratigrāfija; Lithostratigraphy of Ordovician deposits in Latvian SSR). *Materialy VI nauchnoj konferencii geologov Pribaltiki i Belorussii*. (krievu val.; in Russian).
2. Ulste, R., Gailīte, L. 1970. Novye dannye po stratigrafii i korrelyacii ordovika i silura Srednej Pribaltiki (Jauni dati par Vidusbaltijas ordovika un silūra stratigrāfiju un korelāciju; New data on the stratigraphy and correlation of the Ordovician and Silurian in the Middle Baltics). *Materialy VI nauchnoj konferencii geologov Pribaltiki i Belorussii*. (krievu val.; in Russian).
3. Volkolakovs, F., Gailīte, L., Lieldiena, E., Ulste, R. 1970. Osnovnye cherty paleotektoniki i paleogeografii Srednej Pribaltiki v rannem i srednem paleozoe (Vidusbaltijas paleotektonikas un paleogeogrāfijas galvenās iezīmes agrajā un vidējā paleozojā; Main peculiarities of palaeotectonics and palaeogeography of the Middle Baltics in the early and middle Palaeozoic). *Materialy VI nauchnoj konferencii geologov Pribaltiki i Belorussii*. (krievu val.; in Russian).
4. Gailīte, L. 1976. Korrelyativnye urovni v raznofacial'nom ordovike Latvii (Korelatīvie līmeņi ordovika dažādu fāciju nogulumos Latvijā; Correlative levels in the various facies of the Ordovician of Latvia). Gr.: Grigelis, A. (red.) *Materialy po stratigrafii Pribaltiki*. Mintis, Vilnius, 36.–37. lpp. (krievu val.; in Russian).
5. Ulste, R., Gailīte, L., Sprinģe, T. 1976. Mestnye podrazdeleniya ordovika Jelgavskogo progiba (Ordovika vietējās vienības Jelgavas ieliecē; Local stratigraphical units in the Jelgava depression). Gr.: Grigelis, A. (red.) *Materialy po stratigrafii Pribaltiki*. Mintis, Vilnius, 56.–57. lpp. (krievu val.; in Russian).
6. Gailīte, L., Ulste, R., Ļarskaja, Ļ. 1981. Opyt biofacial'nogo analiza verhnesilurijskikh i nizhnedevonskikh otlozhenij Latvii (Latvijas augšējā silūra un apakšējā devona nogulumu biofaciālās analīzes mēģinājums; Biofacial analysis of the upper Silurian and Lower Devonian deposits of Latvia). *Materialy soveschaniya „Teoriya i opyt ekostratigrafii”*. Valgus, Tallinn (krievu val.; in Russian).
7. Gailīte, L. 1982. Ostrakodovye asociacii pozdnego ludlova Latvii (Vēlā Ludlovas laikmeta gliemeņvēžu asociācijas Latvijā; Late Ludlovian ostracod assemblages from Latvia). *Materialy soveschaniya „Teoriya i opyt ekostratigrafii”*. Valgus, Tallinn (krievu val.; in Russian).

8. Gailīte, L., Ulste, R. 1982. Opyt biofacial'nogo analiza verhnego silura Latvii (Latvijas augšējā silūra un apakšējā devona nogulumu biofaciālās analīzes mēģinājums; Biofacial analysis of the upper Silurian and Lower Devonian deposits of Latvia). *Materialy soveschaniya „Teoriya i opyt ekostratigrafii”*. Valgus, Tallinn (krievu val.; in Russian).
9. Gailīte, L., Nagle, A., Ļarskaja, Ļ., Ulste, R., Jakovļeva, V. 1984. Novye dannye po usloviyam zaleganiya, stroeniya i sostavu fanerozojskikh otlozhenij v predelah sovetskoj chasti Baltijskogo shel'fa (Jauni dati par fanerozoja nogulumu saguluma apstākļiem, uzbūvi un sastāvu Baltijas šelfa padomju daļā; New data on the UZ, structure and composition of the Phanerozoic deposits in the Soviet part of the Baltic shelf). *Materialy nauchnoj konferencii VNIIMORGEO* (krievu val.; in Russian).
10. Gailīte, L. 1992. Ordovician of Latvia: results achieved and problems to be settled. *Meeting of the Working group of the Ordovician Geology of Baltoscandinavia, abstracts, Oslo*.

### Citas publikācijas

- Gailīte, L. 1972. Posmkāju pārstāvji Latvijas ordovikā. *Dabas un vēstures kalendārs 1973. gadam*, 165.–169. lpp.
- Gailīte, L. 1981. Frīdrihs Šmits. *Dabas un vēstures kalendārs 1982. gadam*, 246.–247. lpp.
- Gailīte, L., Placēns, U., Danilāns, I. 1981. Akritarhi (122.–123. lpp.). Azojs (588.–589. lpp.). Gr.: *Latvijas Padomju enciklopēdija*, 1. sēj. Galvenā enciklopēdiju redakcija, Rīga.
- Gailīte, L., Placēns, U., Danilāns, I. 1982. Biogēnie ieži (28. lpp.). Bioherma (29. lpp.). Biostratigrāfija (36. lpp.). Biozona (37. lpp.). Bituminozie ieži (52. lpp.). Blastoīdi (58. lpp.). Gr.: *Latvijas Padomju enciklopēdija*, 2. sēj. Galvenā enciklopēdiju redakcija, Rīga.
- Gailīte, L., Placēns, U., Danilāns, I. 1983. Eocēns (194.–195. lpp.). Eona (195. lpp.). Eonotēma (195. lpp.). Epoha (200. lpp.). Ēra (201. lpp.). Eratēma (201. lpp.). Fanerozojs (254. lpp.). Foraminiferu analīze (359. lpp.). Grupa, ģeoloģiskā (655. lpp.). Gr.: *Latvijas Padomju enciklopēdija*, 3. sēj. Galvenā enciklopēdiju redakcija, Rīga.
- Gailīte, L., Placēns, U., Danilāns, I. 1983. Horizonts (137. lpp.). Gr.: *Latvijas Padomju enciklopēdija*, 4. sēj. Galvenā enciklopēdiju redakcija, Rīga.
- Gailīte, L., Placēns, U., Danilāns, I. 1984. Kopgriezums (335. lpp.). Kriptozojs (490. lpp.). Laikmets, ģeoloģiskais (693. lpp.). Gr.: *Latvijas Padomju enciklopēdija*, 5. sēj. Galvenā enciklopēdiju redakcija, Rīga.
- Gailīte, L., Placēns, U., Danilāns, I. 1985. Miocēns (717. lpp.). Gr.: *Latvijas Padomju enciklopēdija*, 6. sēj. Galvenā enciklopēdiju redakcija, Rīga.
- Gailīte, L., Placēns, U., Danilāns, I. 1986. Neogejs (142. lpp.). Nodaļa, ģeoloģiskā (207. lpp.). Oligocēns (303. lpp.). Ordoviks (338.–339. lpp.). Paleozojs (481. lpp.). Paleoekoloģija (478. lpp.). Gr.: *Latvijas Padomju enciklopēdija*, 7. sēj. Galvenā enciklopēdiju redakcija, Rīga.

- Gailīte, L., Placēns, U., Danilāns, I. 1986. Pliocēns (15. lpp.). Silūrs (713.–714. lpp.). Gr.: *Latvijas Padomju enciklopēdija*, 8. sēj. Galvenā enciklopēdiju redakcija, Rīga.
- Gailīte, L., Placēns, U., Danilāns, I. 1987. Stratigrāfija (301. lpp.). Stratigrāfiskais iedalījums (301. lpp.). Stratigrāfiskās metodes (301. lpp.). Stratigrāfiskās vienības (301. lpp.). Stratotips (302. lpp.). Svīta, ģeoloģiskā (376. lpp.). Gr.: *Latvijas Padomju enciklopēdija*, 9. sēj. Galvenā enciklopēdiju redakcija, Rīga.
- Gailīte, L., Placēns, U., Danilāns, I. 1987. Vadhorizonts (216. lpp.). Zona, stratigrāfiskā (666. lpp.). Biostratigrāfija (36. lpp.). Biozona (37. lpp.). Bituminozie ieži (52. lpp.). Blastoīdi (58. lpp.). Gr.: *Latvijas Padomju enciklopēdija*, 10. sēj. Galvenā enciklopēdiju redakcija, Rīga.
- Birķis, A., Danilāns, I., Freimanis, A., Gailīte, L., Saltupe, B., Stinkule, A., Tracevskis, L. 1988. Ģeoloģiskā uzbūve. Gr.: Jērāns R. (red.) *Enciklopēdija „Rīga”*. Galvenā enciklopēdiju redakcija, Rīga, 17.–24. lpp.
- Danilāns, I., Gailīte, L. 1988. Rīgas svīta. Gr.: Jērāns, R. (red.) *Enciklopēdija „Rīga”*. Galvenā enciklopēdiju redakcija, Rīga, 609. lpp.
- Gailīte, L. 1994. Apaščas svīta (59. lpp.). Biogēnie ieži (152. lpp.). Bioherma (152.–153. lpp.). Birštonas svīta (153. lpp.). Bituminozie ieži (155. lpp.). Blastoīdi (156. lpp.). Dobeles svīta (252. lpp.). Gr.: Kavacs, G. (red.) *Latvijas daba*, 1. Latvijas Enciklopēdija, Rīga.
- Gailīte, L. 1995. Dubīsas svīta (10.–11. lpp.). Engures svīta (52. lpp.). Eocēns (52. lpp.). Estērijas (57. lpp.). Fanerozojs (69. lpp.). Foraminīferas (78. lpp.). Galvkāji (87.–88. lpp.). Graptolīti (120. lpp.). Idaveres horizonts (160. lpp.). Ihnes svīta (166. lpp.). Jāgarahu svīta (184. lpp.). Jāni svīta (184. lpp.). Jehvi horizonts (188. lpp.). Jūras svīta (199. lpp.). Jūrmalas svīta (204. lpp.). Kalkarenīti (213. lpp.). Keilas horizonts (238. lpp.). Gr.: Kavacs, G. (red.) *Latvijas daba*, 2. Latvijas Enciklopēdija, Rīga.
- Gailīte, L., Danilāns, I. 1995. Kelovejas stāvs (238. lpp.). Gr.: Kavacs, G. (red.) *Latvijas daba*, 2. Latvijas Enciklopēdija, Rīga.
- Gailīte, L. 1995. Konhostraki (11. lpp.). Konodonti (11. lpp.). Koraļļi (12. lpp.). Krinoideji (30. lpp.). Kukruzes horizonts (44. lpp.). Kundas horizonts (46.–47. lpp.). Lasnamē horizonts (86. lpp.). Latorpas horizonts (89. lpp.). Lontovas svīta (158. lpp.). Gr.: Kavacs, G. (red.) *Latvijas daba*, 3. Latvijas Enciklopēdija, Rīga.
- Gailīte, L. 1996. Latvijas vissenāko jūru iemītnieki. *Latvijas Daba*, 11, 8.–15. lpp.
- Gailīte, L., 1997. Minijas svīta (7. lpp.). Miocēns (7. lpp.). Mītuvas svīta (8. lpp.). Nabalas horizonts (22. lpp.). Nautiloīdi (30. lpp.). Nevēžas svīta (36. lpp.). Oandu horizonts (47. lpp.). Oligocēns (55. lpp.). Ordoviks (57.–58. lpp.). Ostrakodi (61. lpp.). Pagēģu svīta (67. lpp.). Pakerortas horizonts (69. lpp.). Papriaņu svīta (78. lpp.). Pelecipodi (98. lpp.). Pirgu horizonts (136. lpp.). Porkuni horizonts (170.–171. lpp.). Radiolārijas (209. lpp.). Rakveres horizonts (216. lpp.). Remtes svīta (238. lpp.). Rīgas svīta (253. lpp.). Gr.: Kavacs, G. (red.) *Latvijas daba*, 4. Latvijas Enciklopēdija, Rīga.

- Daniļāns, I., Gailīte, L. 1997. Oksfordas stāvs (54. lpp.). Gr.: Kavacs, G. (red.) *Latvijas daba*, 4. Latvijas Enciklopēdija, Rīga.
- Gailīte, L. 1998. Rotsikilas svīta (13. lpp.). Rumbas svīta (22. lpp.). Rusnes svīta (26. lpp.). Sārdes svīta (47. lpp.). Serpulīdi (80. lpp.). Siesartes svīta (86. lpp.). Silūrs (95.–97. lpp.). Spiriferīdi (144. lpp.). Stačūnu svīta (150. lpp.). Stromatolīti (163. lpp.). Stromatoporas (163. lpp.). Širvintu svīta (189. lpp.). Švenčones svīta (195. lpp.). Tabulāti (195. lpp.). Tetrakoraļļi (213. lpp.). Trilobīti (232. lpp.). Trohiliski (234. lpp.). Uhaku horizonts (252.–253. lpp.). Gr.: Kavacs, G. (red.) *Latvijas daba*, 5. Latvijas Enciklopēdija, Rīga.
- Gailīte, L., 1998. Umbellas (6. lpp.). Varangu horizonts (34. lpp.). Vēderkāji (48. lpp.). Velizes svīta (53. lpp.). Ventspils svīta (59. lpp.). Vermiporellas (60. lpp.). Volhovas horizonts (102. lpp.). Gr.: Kavacs, G. (red.) *Latvijas daba*, 6. Latvijas Enciklopēdija, Rīga.
- Gailīte, L. I., Kuršs, V., Lukševiča, L., Lukševičs, E., Pomeranceva, R., Savaitova, L., Stinkulis, G., Zabele, A. 2000. Latvijas, pirmskvartāra nogulumu ģeoloģisko karšu apzīmējumi. Legends for geological maps of Latvian bedrock. Valsts Ģeoloģijas dienests, Rīga, 103 lpp. (latviešu un angļu val.; in Latvian and English).
- Gailīte, L. I., Lukševiča, L. 2010. Seno ģeoloģisko periodu fosīliju kolekcijas Dabas muzejā. *Daba un muzejs*, 9: 11.–16. lpp.

### **Raksti par Lilitu Ilgu Gailīti**

- Daniļāns, I. 2003. Gailīte Lilita Ilga. Gr.: Jubels, H. (atb. red.) *Latvijas enciklopēdija*, 2. sēj. SIA „Valērija Belokoņa izdevniecība”, Rīga, 549. lpp.

### **IZMANTOTĀ LITERATŪRA**

- Meidla, T. 1996. *Late Ordovician Ostracodes of Estonia. Fossilia Baltica 2*. Institute of Geology, Tallinn, Institute of Geology, Tartu. Tartu. 222 p.



LATVIJAS UNIVERSITĀTES RAKSTI  
785. sējums, ZEMES UN VIDES ZINĀTNES, 2012

---

Izdevējs LU Akadēmiskais apgāds  
Baznīcas ielā 5, Rīgā, LV-1010  
Tālrunis: 67034535

Iespiests SIA "Latgales druka"  
Baznīcas ielā 28, Rēzeknē, LV-4601  
Tālrunis/fakss: 64625938