

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

20.-21. GADSIMTA NOGULUMU UZKRĀŠANĀS PROCESU IZVĒRTĒJUMS
DAŽĀDAS ĢENĒZES UN TROFIJAS EZEROS LATVIJAS TERITORIJĀ

BAKALaura DARBS

Autors: Mārtiņš Robežnieks
Stud. apl. nr18047
Darba vadītājs: Normunds Stivriņš
Prof. PhD Earth Sci. (Dr. ģeol.)

RĪGA 2021

KOPSAVILKUMS

Bakalaura darba mērķis ir izpētīt, kādā apjomā un kāda sastāva nogulumu uzkrājušies dažādas ģenēzes un trofijas ezeros Latvijas teritorijā 20. un 21. gs. Šajā darbā tiek sniegta informācija par nogulumu uzkrāšanās apjomiem un sastāvu 12 Latvijas ezeros.

Ezeru virsējie nogulumu iegūti, izmantojot gravitācijas paraugošanas metodiku šī darba ietvaros, kā arī apkopojot un analizējot iepriekš ievākto nogulumu sastāvu un zinātniskajās publikācijās pieejamo informāciju. Bricu, Lilastes, Trikātas, Āraišu, Ūkuru ezeri tikuši pētīti jau iepriekš un rezultāti daļēji publicēti, bet šajā darbā no jauna pētīti Sekšu, Velnezers, Mazais Baltezers, Pinku, Usmas, Talsu ezers, Lielais Vipēdes ezers.

Minēto ezeru nogulumu relatīvais sastāvs noskaidrots, izmantojot karsēšanas zudumu analīzi, bet Velnezera un Sekšu ezera vide papildus pētīta, izmantojot nogulumu uztvērējus, veicot caurredzamības mērīšanu un veicot nogulumu oglekļa un slāpekļa elementu analīzi. Lai iegūtie rezultāti būtu salīdzināmi, visiem ezeriem no jauna izveidoti dziļuma-vecuma modeļi, pielietojot jaunāko datēšanas kalibrēšanas līkni.

Darba rezultāti liecina, ka 20.–21. gs. laikā palielinājusies ezeru eitrofikācijas pakāpe. Konstatētas ievērojamas nogulumu sastāva un uzkrāšanās apjoma variācijas vienādas ģenēzes un trofijas ezeru nogulumos. Atsevišķa ezera vides pārmaiņas atsevišķos periodos var ievērojami atšķirties no kopējās tendences, jo novērotas dažādas īslaicīgas lokālās vides apstākļu izmaiņas.

Atslēgas vārdi: nogulumu uzkrāšanās apjoms; cilvēka ietekme; gitija; nogulas; nogulumu gravitācijas urbšana; karsēšanas zudumu analīze.

ABSTRACT

The aim of Bachelor thesis is to reconstruct recent (20th-21st century) lake sediment accumulation rate and composition. Altogether 12 natural lakes in the territory of Latvia were analysed by means of loss-on-ignition. Lake sediments of Sekšu, Velnezers, Mazais Baltezers, Pinku, Usmas, Talsu and Lielais Vīpēdes were obtained using a gravity corer within the frame of current thesis. Information on Lake Bricu, Lilastes, Trikātas, Āraišu, Ķikuru was extracted from scientific as well as grey literature. Chronology for all sites was made using the latest calibration data-set. In addition, sediment traps were installed at Lake Velnezers and Sekšu where sediment accumulation was monitored for a year. In these two lakes water transparency and C/N ratio analyses were performed in order to gain insights in the present day sediment composition and trends. Results demonstrate that lakes become increasingly eutrophic over the last century. Sediment accumulation rate varies even within the lakes of the same genesis meaning other more local factors influence sedimentation processes.

Key words: sediment accumulation rate, human impact, lake ontogeny, gyttja, gravity coring, sediment traps, loss-on-ignition

SATURS

KOPSAVILKUMS	2
ABSTRACT	3
IEVADS	5
1. LITERATŪRAS APSKATS.....	7
1.1. Ezerdobju veidošanās un ezeru attīstība Latvijā	7
1.2. Ezeru iedalījums	9
1.2.1. Ezeru iedalījums pēc ģenēzes.....	10
1.2.2. Ezeru iedalījums pēc trofijas	12
1.3. Ezera sedimentācijas vide	13
1.4. Nogulumu pēcsedimentācijas procesi	16
2. PĒTĀMO EZERU RAKSTUROJUMS	18
2.1. Pētāmo teritoriju dabas apstākļi	18
2.2. Pētāmo ezeru raksturojums	19
3. MATERIĀLI UN METODEDES	35
3.1. Lauka darbi	35
3.1.1. Nogulumu uztvērēji.....	36
3.1.2. Nogulumu paraugošana ar gravitācijas urbšanas metodi	38
3.1.3. Ūdens kolonnas caurredzamība	40
3.2. Laboratorijas metodes.	41
3.2.1. Nogulumu uztvērēju paraugu priekšapstrāde	41
3.2.2. Karsēšanas zudumu analīze.....	42
3.2.3. Oglekļa un slāpekļa relatīvā satura analīze	45
3.2.4. Nogulumu hronoloģija	46
3.2.5. Nogulumu datu primāro komponentu analīze.....	51
4. REZULTĀTI	53
4.1. Nogulu saturs un uzkrāšanās apjoms uztvērējos	53
4.2. Ezeru caurredzamības mērījumu rezultāti	53
4.3. Hronoloģija	54
4.4. Karsēšanas zudumu metodes rezultāti	59
4.5. Primāro komponentu analīze.....	66
4.5. C/N analīzes rezultāti	69
5. DISKUSIJA	71
6. SECINĀJUMI.....	76
IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS	77

IEVADS

Latvijas ezeri ir samērā jauni un īslaicīgi veidojumi, it īpaši, aplūkojot tos ģeoloģiskajā laika skalā. Ezers kalpo kā neliels sedimentācijas baseins, kuru aizpilda dažāda sastāva nogulumi. Ātrums, ar kādu ezera katliene aizpildās ar dažādas izcelsmes nogulumiem, ir fundamentāls jautājums, jo šie procesi nosaka ezera ontogēzes ilgumu, tas ir, cik ilgi ezers pastāv kā limniska ekosistēma un sedimentācijas vide (Robežnieks 2020, citēts Fritz and Anderson 2013; Rose et al. 2011). Ezera vide pastāv nemitīgā mainībā un attīstībā. Tā gultnē uzkrātie nogulumi saglabā informāciju par ezerā un ap to notiekošajiem procesiem senatnē un mūsdienās. Ezeru aizpildīšanās ātrumu un uzkrāto nogulumu īpašības nosaka ezera iekšējā produktivitāte, pieguļošās teritorijas ģeoloģija un bioloģija, ar ieteci saņemtā materiāla sastāvs un apjoms. Šos apstākļus ietekmē klimatiskie un antropogēnie faktori. Zinātniskie pētījumi liecina, ka kopējās ezeru aizpildīšanās tendences pēdējo 15 000 gadu laikā ir bijušas mainīgas gan Latvijas teritorijā, gan citur (Stivriņš, 2018b, Terasmaa 2011). Pleistocēna beigās Latvijas ezeros pastiprināti notikusi klastiskā materiāla uzkrāšanās, bet Holocēnā pārsvarā uzkrājušies organogēni nogulumi, kuru uzkrāšanās ātrums periodiski mainījies līdz ar klimata pārmaiņām. Kopš cilvēka ietekme kļuvusi par galveno Latvijas ainavas pārmaiņu virzītājspēku, ezeros nonāk lielāks sanešu apjoms, bet intensīvāka barības vielu pieplūde veicina straujāku fitoplanktona savairošanos. Kopumā šie faktori palielina Latvijas ezeros uzkrāto nogulumu apjomu (Stivrins et al., 2018a).

Latvijas teritorijā ir vairāki tūkstoši dažādas ģenēzes ezeru. Pēc iepriekšējiem pētījumiem ir iegūts priekšstats par vispārējām nogulumu uzkrāšanās tendencēm Latvijas ezeros. Tomēr trūkst vienota detalizētāka priekšstata jeb kopainas par nogulumu uzkrāšanās ātrumu un sastāvu Latvijas ezeros un sedimentācijas procesa mainību kopš 20. gs. Pie tam, ģeoloģiski visnesenākais laika posms, kuru atspoguļo ezeru virsējie nogulumi un nogulas, Latvijā līdz šim nav pētīts. Nav arī veikti detāli pētījumi, izmantojot nogulumu uztvērējus. Šajā darbā veiktie nogulumu uztvērēju mērījumi būtiski papildinās priekšstatu par nogulumu uzkrāšanās procesu dinamiku dažu pēdējo gadu griezumā (līdz 2019. gadam). Visu Latvijas ezeru sistemātiska izpēte būtu uzdevums, kas daudzkārt pārsniegtu viena pētījuma mērogu. Šajā bakalaura darbā apskatīti atsevišķi dažādos Latvijas apvidos esoši ezeri, lai novērtētu nogulumu uzkrāšanās tendences tajos pēdējo 120 gadu laikā.

Darba mērķis: Izpētīt, kādā apjomā un kāda sastāva nogulas un nogulumi uzkrājušies dažādas ģenēzes un trofijas ezeros Latvijas teritorijā 20. un 21. gs.

Darba uzdevumi:

1. Paraugot virsējos ezeru nogulumus;
2. Apkopot datus par iepriekš veiktām publicētām un nepublicētām ezeru virsējo nogulumu analīzēm;
3. Analizēt Pinku, Usmas, Talsu, Sekšu, Velnezera un Sekšu ezera nogulumu sastāvu, pielietojot: karsēšanas zudumu metodi un oglekļa-slēpekļa attiecības mērījumus;
4. Izveidot ezeru nogulumu dziļuma-vecuma modeļus visiem pētītajiem ezeriem;
5. Izvietot nogulumu uztvērējus (Sekšu un Velnezērā);
6. Ievākt viena kalendārā gada laikā uzkrājušos nogulumus;
7. Veikt iegūto rezultātu apkopošanu un salīdzināšanu;
8. Raksturot kopējās un atšķirīgās likumsakarības nogulumu uzkrāšanās procesos;
9. Izdarīt secinājumus par sedimentācijas procesiem un to izmaiņām pēdējā gadsimta laikā.

Balstoties uz bakalaura darba rezultātiem, top zinātniskā raksta melnraksts, kuru plānots iesniegt žurnālā *Journal of Paleolimnology*. Daļa no bakalaura darbā iegūtajiem rezultātiem jau izmantoti zinātniskā publikācijā, kura publicēta žurnālā *Water* (SCOPUS/WoS ar ietekmes faktoru 2,544), kur bakalaura darba autors piedalījies kā līdzautors:

Zawiska, I., Dimante-Deimantovica, I., Luoto, T.P., Rzodkiewicz, M., Saarni, S., Stivrins, N., Tylmann, W., Lanka, A., **Robeznieks, M.**, Jilbert, T. 2020. Long-term consequences of water pumping on the ecosystem functioning of Lake Sekšu, Latvia. *Water*, 12: 1459.

1. LITERATŪRAS APSKATS

Ezers ir ūdenstilpe dabiskā reljefa pazeminājumā uz sauszemes ar palēninātu ūdens apmaiņu (Ūdens apsaimniekošanas.. 2002). Tas nav hidroloģiski saistīts ar pasaules okeānu vai arī šī saistība parasti ir vienvirziena – ūdens no ezera nokļūst pasaules okeānā. (Cambridge english.. S.a.). Ezerdobe ir pazeminājums zemes virsmā (ieplaka, iedobe), kurā izvietojies ezers (Stivriņš, 2018b). Plaši izplatīti mērenajā klimata joslā, ezeri ir svarīga Latvijas ainavas un dabas procesu sastāvdaļa (Glazačeva 2004). Latvijā ir 2256 ezeri, kas lielāki par 1 ha (Urtāns et. al 2017), tie kopā klāj vairāk nekā 1,5 % no Latvijas teritorijas jeb 1000 km² (Cimdiņš 2001, 85), pēc jaunākām aplēsēm 1,64 % (Stivriņš 2018b). Latvijā visi ir saldūdens ezeri, kas nozīmē, ka ūdens pietece tajos ievērojami pārsniedz iztvaikošanu.

1.1. Ezerdobju veidošanās un ezeru attīstība Latvijā

Skandināvijas Ledus vairogs no tagadējās Latvijas teritorijas atkāpās pirms aptuveni 16-14 tūkst. gadiem (Hughes et al., 2016). Latvijas ezeri pārsvarā veidojušies pēdējo 15–12 tūkst. gadu laikā, kad pēc ledāja atkāpšanās veidojusies mūsdienu hidroloģiskā sistēma (Leinerte 1988; Zelčs 1995; Stivriņš 2018). Vislas apledošanas beigās aptuveni 17–15 tūkst. gadu pirms mūsdienām (g.p.m.) ledājkūšanas ūdeņi uzkrājās ledāja caurkusumos un padziļinājumos, par kuru pastāvēšanu liecina mālainie nogulumi augstāko pauguru virsotnēs, kaut gan pastāv arī citi viedokļi par šo nogulumu izcelsmi (Markots 2011). Ledājam atkāpjoties un hidrogrāfiskajam tīklam attīstoties, notika pakāpeniska ūdens noplūšana uz reljefa pazeminājumiem no ledus brīvajās teritorijās – augstieņu zemākajās daļās, vēlāk zemienēs, veidojot sprostezerus un lielus sprostbaseinus. To izplatība bija pavisam citāda nekā mūsdienu ezeriem un tie klāja ievērojamas tagadējās sauszemes platības, jo ledājs aizkavēja uzkrātā kūšanas ūdens noplūšanu (Amon et al., 2014). Šo baseinu platības un ūdens līmeņi variēja, mijoties ūdens uzkrāšanās un noplūšanas procesiem. Pēc ledāja atkāpšanās veidojās paliku ezeri (Lubāna, Burtņieka paleoezeru), kuru platības ievērojami pārsniedza attiecīgo ezeru mūsdienu platības. Pirms 12–10 tūkst. gadiem hidrogrāfiskā tīkla attīstības rezultātā lielie iekšzemes baseini (kūšanas ūdeņu paliku ezeri) bija noplūduši, veidojot vienu lielu ledājkūšanas ūdeņu baseinu – Baltijas Ledus ezeru (Zelčs 1995;), kurš savu maksimālo izplatību sasniedza īsi pirms sprostezera ūdeņu noplūdes pirms 11,7 tūkst. g.p.m. (Andrén et al., 2011). Holocēna sākumā sauszemes teritorijās reljefs un ezeru izplatība jau bija līdzīga kā mūsdienās. Daļa Latvijas ezeru veidojušies saistībā ar Baltijas jūras attīstības stadijām. Nelielu jaunu ezeriņu veidošanās nav beigusies arī mūsdienās – tā nepārtraukti notiek upju palienēs un augstajos purvos.

Latvijas teritorijā kopš leduslaikmeta beigām raksturīga pakāpeniska ezerdobju aizpildīšanās un sukcesija: ezers → zemais purvs → pārejas purvs → augstais purvs → mežs (Urtāns 2017), taču ezeros notiekošie procesi, to ātrums un pašreizējās attīstības stadijas variē. Ātrāk ezerdobes aizaugšana un aizpildīšanās notiek mazos, seklos ezeros, kur fotiskā zona sasniedz ezera gultni, bet lieli, dziļi ezeri aizpildās lēni. Šeit liela nozīme ir ezera ģenēzes tipam, kas daļēji nosaka ezera dziļumu un izmēru. Mūsdienās novērojama liela ezerdobju sukcesijas pakāpju dažādība: daudzi no mūsdienu purviem veidojušies, aizaugot sekliem ezeriņiem, citus ezerus (Engures, Liepājas) klāj niedrāji, bet daži ezeri (Čortoks, Pinku ezers) joprojām ir ar dzidru ūdeni un barības vielām nabadzīgi (oligotrofi). Barības vielām nabadzīgu ezeru, kā arī ezeru skaitam vispār dabiskās sukcesijas rezultātā ir tendence samazināties (pers. kom. Stivrīņš).

Ir novērotas vairākas vispārējās tendences Latvijas ezeru attīstībā. Leduslaikmeta beigu posmā (15.–11,7. tūkst. g.p.m.), pirms veģetācijas nostiprināšanās uz sauszemes, ezeros pastiprināti notika klastiskā materiāla uzkrāšanās (Stivrīns et al., 2015), bet Holocēnā (pēdējie 11,7 tūkst. gadi) klastiskā materiāla pieplūde ir mazāka un nogulumus veido galvenokārt organogēnie nogulumu. Nogulumu uzkrāšanās notikusi straujāk Vidusholocēnā (8200.–4200. g. p. m.), kad klimats bija siltāks nekā mūsdienās (Stivrīns et al., 2015), bet iestājoties vēsākiem un mitrākiem klimatiskajiem apstākļiem, nogulumu uzkrāšanās apjoms pakāpeniski samazinājās.

Ezerdobes aizpildīšanās ātrums ir atkarīgs ne tikai no ezerdobes formas un klimatiskajiem apstākļiem, bet arī no ezera trofiskuma (bioloģiskās produktivitātes). Ezeru trofiskuma palielināšanās sevišķi strauja kļūst pēdējās desmitgadēs cilvēka darbības - mežu izciršanas, intensīvās lauksaimniecības un lopkopības, ceļu un citas infrastruktūras būvniecības u.c. – rezultātā (NYSFOLA 2009). Eitrofiju veicina cilvēka izraisītās klimata pārmaiņas, augsnes erozija un vides piesārņojums. Ar fermu un rūpnīcu notekūdeņiem vai noteci no lauksaimniecības zemēm, kas apstrādātas ar slāpekļa mēslojumu Latvijas ezeros pastiprināti nonāk slāpeklis, fosfors un citas barības vielas. Līdz ar pieejamo barības vielu apjoma pieaugumu noris intensīvāka aļģu un ūdensaugu vairošanās, paātrinās ezeru aizpildīšanās un aizaugšana. Šo likumsakarību var pamatot ar pētījumu datiem, jo sedimentācijas ātrums un apjoms ezeros Eiropā ir plaši pētīts (Rose et al., 2011). Vidēji Eiropas ezeros nogulumu uzkrāšanās apjoms pēdējo apmēram 100 gadu laikā pieaug – ap 70% ezeru novērojama nogulumu uzkrāšanās apjoma palielināšanās, pie tam ir ezeri, kur nogulumu uzkrāšanās apjoms pēdējo 100 gadu laikā pieaudzis vairākas reizes. Mūsdienās Eiropā tas ir 50–4000 g/m² gadā (Rose et al., 2011).

1.2. Ezeru iedalījums

Ezerus to objektīvākam savstarpējam salīdzinājumam un vispārēju attīstības likumsakarību aplūkošanai iedala grupās pēc dažādām pazīmēm – ezerdobes izcelsmes (ģenēzes), trofijas (bioloģiskās produktivitātes), ūdens sastāva, ūdens apmaiņas ātruma, dziļuma, virsmas laukuma u.c. (Leinerte 1988, Saarse 1988, Rose 2011).

Latvijā ezeru ekoloģiskos tipus apsaimniekošanas mērķiem nosaka Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs. Klasificēšanu veic ķīmiskās un bioloģiskās kvalitātes noteikšanai, apsaimniekošanas plānu sagatavošanai, antropogēnās slodzes novērtēšanai. Pēc Latvijas likumdošanas, ezeri ar virsmas laukumu $>0,5 \text{ km}^2$, bet nepieciešamības gadījumā arī mazāki, ir viens no virszemes ūdensobjektu veidiem. Virszemes ūdensobjektu klasificēšanu veic, balstoties uz Ministru kabineta noteikumu nr. 858 (Noteikumi par virszemes.. 2004) 1.pielikumu „Virszemes ūdensobjektu tipi”. Šī klasifikācija tiek balstīta uz Eiropas savienības (ES) B sistēmu. Latvijas klasifikācijā tiek ņemts vērā:

- dziļums (ļoti sekls $< 2\text{m}$ $<$ sekls $< 9\text{m}$ $<$ dziļš)
- ūdens cietība jeb elektrovadītspēja (mīkstūdens $< 165 \mu\text{S}/\text{cm}$ $<$ cietūdens)
- ūdens krāsainība (dzidrūdens $< 80^\circ$ Pt-Co skalas $<$ brūnūdens)
- pēc ES B sistēmas parametriem augstuma virs jūras līmeņa, izmēra, ģeogrāfiskā garuma un platuma visi Latvijas ezeri tiek ievietoti vienā klasē, jo šie rādītāji nav saistāmi ar ievērojamām ekoloģiskām atšķirībām starp Latvijas ezeriem.

Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2000/60/EK, kas pieņemta 2000. gada 23. oktobrī, nosaka sistēmu kopienas rīcībai ūdens resursu politikas jomā (Eur-lex S.a.). Direktīvā tiek piedāvātas divu veidu ezeru ekoloģiskās klasifikācijas: A un B klasifikācija. A klasifikācija iedala ezerus pēc to piederības noteiktam ekoreģionam, kā arī pēc noteiktām parametru (gultnes ģeoloģijas, augstuma v.j.l., dziļuma, lieluma) vērtībām. Šo parametru vērtības ir izvēlētas atbilstoši visas Eiropas ezeru, reljefa un klimata daudzveidībai un nav optimālas Latvijas ezeru klasifikācijai. Latvijas ezeriem izvēlēta B klasifikācija vērtē ezerus pēc nacionāli izvēlētiem faktoriem (no sarakstā dotajiem faktoriem), tā iedala ezerus ar A klasifikācijai līdzvērtīgu detalizācijas pakāpi (Eur-lex S.a.).

Kā redzams, valsts mērogā izmantotās ezeru klasifikācijas pārsvarā apskata ezeru ekoloģisko stāvokli. Šajā darbā tiek apskatīta ezera ģeoloģiskā vide un sedimentācijas procesi, tāpēc minimāli tiek analizēti ezeru bioloģiskie rādītāji. Ezeru apstākļi tiek salīdzināti, ņemot vērā to ģenēzi kā ģeoloģisko vidi raksturojošu rādītāju un trofiju kā sedimentācijas procesus raksturojošu rādītāju.

1.2.1. Ezeru iedalījums pēc ģenēzes

Pēc ģenēzes (ezerdobes izcelsmes) ezerus nosacīti izdala vairākās grupās (Leinerte 1988; Zelčs 1995). Latvijā ir sastopami dažāda veida glaciālas izcelsmes, piejūras, vecupju, karstasufozijas, purvu un mākslīgas izcelsmes ezeri. Lielākā daļa šajā pētījuma apskatīto ezeru ir glaciālas izcelsmes, izņemot Mazo Baltezeru un Lilastes ezeru (Robežnieks 2020).

Glaciālas izcelsmes ezeri – tāda ir lielākā daļa Latvijas ezeru, īpaši pēc to skaita. Tie ir ļoti dažādi pēc izmēra, formas un ledāja darbības mehānisma, kas veidojis ezerdobi, tāpēc “glacigēns ezers” ir vispārīgs apzīmējums ezeram, kas izvietojies ledāja veidotā pazeminājumā. Glacigēnas izcelsmes ezerdobes rodas ledāja erozijas (eksarācijas), akumulācijas un glaciotektoniskās darbības rezultātā. Starp glaciālajiem ezeriem pēc ģenēzes būtiski atšķirīgi ir glaciokarsta ezeri (no pētītajiem Bricu, Ķikuru, Sekšu, Velnezers) un subglaciālie ezeri (no pētītajiem Pinku, Talsu). Pārējie aplūkotie ezeri (Āraišu, Lielais Vipēdes, Trikātas, Usmas) ir iedalīti vispārīgi kā glacigēnie, tie veidojušies dažādu ledāja procesu mijiedarbībā. Nākamajā rindkopā aprakstīti dažādie glacigēno ezeru veidošanās mehānismi, balstoties galvenokārt uz V. Zelča ezeru ģenēzes aprakstiem (Zelčs 1995).

Latvijas ledāja veidotais reljefs augstieņu un zemieņu apvidos ir samērā atšķirīgs. Augstienēs dominē ledāja akumulācijas un glaciotektoniskie procesi. Dažādos atrašanās, sabīdīšanās un izspieduma procesos rodas gan izometriskas formas ezerdobes, gan līčiem un salām bagāti ezeri ar bedrainu dibenu, kā Cirišs un Ežezers. Eksarācija (ledāja erozija) un nogulumu izspiedumi ielejveida pazeminājumos veido plašus, līčainus ezerus ar osveida grēdām vidū. Lielas glaciotektoniskās izcelsmes ezerdobes novietotas ledāja mikroplūsmu pazeminājumos, ko norobežo ledāja sastumti pauguri un grēdas. Daži no dziļākajiem ezeriem (piemēram, Drīdzis) veidojas, applūstot starppauguru ieplakām. Savukārt zemienēs dominē ledāja erodējošā darbība. Plašas, līdzenas ezerdobes (piem., Lubāns, Burtnieks) rodas zemieņu glaciodepresijās, kas rodas plašos pamatiežu pazeminājumos, kā arī pastiprinātas eksarācijas, zemledāja atrauteņu veidošanās un glaciotektoniskās darbības apgabalos. Mazākas ezerdobes zemienēs bieži orientētas paralēli lineārām reljefa formām - marginālajām paugurgrēdām, atšķelšanās vaļņiem, rievotajām morēnām (Zelčs, 1995).

Subglaciālie jeb Subglaciālo iegultņu ezeri, kas veidojušies zemledāja iegultnēs nogulumu izspiešanās rezultātā, ir lielākā daļa dziļāko Latvijas ezeru. Šie ezeri parasti ir gari un šauri un bieži grupējas ledāja kustības virzienā izstieptās virknēs, piemēram, mordangas ezeri un Cieceres ezers (Zelčs, 1995). Subglaciālo ezeru lielais vidējais un maksimālais dziļums nozīmē, ka to aizpildīšanās un aizaugšana notiek vislēnāk, pie tam tajos praktiski nav iegremdēto ūdensaugu, jo gaisma nevar sasniegt ezeru gultni.

Glaciokarsta ezeri veidojušies, kūstot apraktiem ledus blāķiem vai aprimušām ledus mēlēm. Ledus blāķu dažādās formas dēļ glaciokarsta ezeru apveids un izmērs var atšķirties, taču parasti tie ir samērā dziļi, stāvām zemūdens nogāzēm un nelieli, izmērā līdz dažiem desmitiem hektāru. Glaciokarsta ezeru veidošanās ir sarežģīta un bieži noris ilgākā laika periodā pēc ledāja atkāpšanās (Stivrins et. al 2017).

Retāk izplatītas ir ledāja kušanas ūdeņu (krītoša ūdens jeb evorsijas un erozijas) radītas ezerdobes (katlienes). Savdabīgi ir arī ezeri vietās, kur zemes virsmas pazeminājumu nosprosto glaciofluviālas izcelsmes reljefa formas, piemēram, osi. Tā veidojušies ezeri un purvi pie Lielajiem Kangariem.

Piejūras ezeri ir lagūnu un starpkāpu ieplaku ezeri. Tie saistāmi ar dažādām Baltijas jūras attīstības stadijām, lielākoties Litorīnas jūras stadiju. Lagūnu ezeri veidojušies, seklām piekrastes lagūnām tiekot atdalītām no jūras tās regresijas, glacioizostāzes un garkrasta sanešu plūsmas dēļ (Stivrins 2018). Lagūnu ezeri parasti ir plaši un ļoti sekli un mūsdienās tos bieži klāj plaši niedrāji, piemēram, Kaņiera un Tosmares ezeri. Starpkāpu ieplaku un vigu ezeri izplatīti atsevišķos apvidos Ziemeļkurzemē (piemēram, Lielais Pēterezers) un Pie Carnikavas (Garezeri), kur notikusi ilgstoša smilšu akumulācija krastam paralēlu kāpu vai vaļņu veidā. Šie ezeri ir šauri, gari, to garenass parasti orientēta paralēli jūras krastam.

Citu ģenēzes tipu ezeri šajā pētījumā netiek apskatīti, jo to nogulumu sastāvs ar šajā darbā apskatītajām metodēm nav ticis pētīts. Parasti Latvijā citu citu ģenēzes tipu ezeri salīdzinoši nelieli pēc platības un saistīti ar specifiskiem hidroloģiskajiem un ģeoloģiskajiem apstākļiem. Šo ezeru vide stipri variē atkarībā no šiem apstākļiem, tādējādi ir sarežģītāk salīdzināt tos savstarpēji un ar citiem ezeru tipiem. Latvijā ir sastopami arī šādu ģenēžu ezeri:

Vecupju ezeri veidojas, upei mainot gultni un nosprostojojot daļu no vecās gultnes, tādējādi veidojas atteku, meandru ezeri un ezeri starp vecgultnes vaļņiem. (Zelčs, 1995). Palu un plūdu laikā vecupju ezeros var uzkrāties upes nestie klastiskie nogulumi, bet pārējā laikā dominē mierīgi sedimentācijas apstākļi un organisko nogulumu uzkrāšanās.

Karsta un sufozijas ezeri veidojas, iebrūkot iežu šķīšanas vai izskalošanas radītiem pazemes tukšumiem, tie parasti ir nelieli un saistīti ar karsta un sufozijas procesu izplatības apgabaliem.

Purvu ezeri veidojas, pārpurvojoties ezerdobēm (palikšņu ezeri), kā arī augstajos purvos, purva kupolam deformējoties gravitācijas spēka ietekmē (akaču ezeri). Purva ezeriem raksturīga augsta mainība aizaugšanas un kūdras deformācijas rezultātā.

Mākslīgi ezeri jeb dīķi un ūdenskrātuves ir cilvēka darbības rezultātā radītas, parasti, būvējot aizsprostus uz upēm; nogulumu uzkrāšanās apstākļi tajos parasti ievērojami atšķiras no dabiskiem ezeriem.

1.2.2. Ezeru iedalījums pēc trofijas

Ezerus pēc to barības vielu satura ūdenī un bioloģiskās pirmprodukcijas (producentu aktivitātes) pieaugošā apjomā iedala oligotrofos, mezotrofos, un eitrofos ezeros (NYSFOLA 2009). Iedalījumam izstrādātas dažādas sistēmas, kuras atšķiras ar noteikšanas metodiku un dažādiem papildstāvokļiem trofiskuma skalas ekstrēmos (mikrotrofisks, hipertrofisks, supertrofisks u.c.) (LAWA S.a.; Naumann 1929). Visplašāk izmantotā sistēma ezeru trofiskā stāvokļa noteikšanai ir Karlsona trofiskā stāvokļa indekss (angļu val. Carlson's Trophic state index, TSI). Indekss atspoguļo biomasas daudzumu ezerā konkrētā vietā un laikā (Carlson 1977). To veido vidējā svērtā vērtība no trim atsevišķām komponentēm, kas aprēķinātas no hlorofila-a, fosfora daudzuma un caurredzamības dziļuma mērījumiem. Indekss piešķir ezeram vērtību skalā no 1 līdz 100, kur katras 10 vienības atbilst aļģu biomasas dubultojumam jeb caurredzamības samazinājumam uz pusi. Pēc šīs sistēmas nav krasu robežu starp ezeru trofiskajiem stāvokļiem, tie pakāpeniski pāriet cits citā. Trofiskajiem stāvokļiem atbilst šādas indeksa (un arī atsevišķu tā komponentu vērtības: oligotrofs ≤ 30 ; mezotrofs 40; eitrofs 50-60; hipereitrofs ≥ 70).

Šajā darbā Karlsona trofiskā stāvokļa indekss nav izmantots visu ezeru trofijas noteikšanai, jo nav tikuši veikti hlorofila-a un fosfora koncentrācijas mērījumi. Dati par ezeru trofiskumu iegūti no literatūras avotiem, kur trofiskums noteikts pēc dažādām metodikām, dažiem ezeriem trofiskums noteikts nevis pēc mērījumiem, bet gan novērojamajām ezera vides pazīmēm, kas aprakstītas šīs sadaļas turpinājumā.

Oligotrofam ezeram raksturīgs dzidrs ūdens, nabadzīgs augājs (peldošo un iegremdēto ūdensaugu nav vai ļoti maz) (Stivriņš 2018b), liela planktona daudzveidība bet maza planktona biomasa (Eipurs 1995). Nogulumu uzkrāšanās notiek samērā lēni, pārsvarā uzkrājas aļģu saražotie organiskie nogulumi. No šajā darbā apskatītajiem oligotrofs ir viens ezers – Pinku.

Mezotrofa ezera ūdenī ir vairāk barības vielu, tā ir pārejas stadija starp oligotrofiem un eitrofiem ezeriem. Ezerā attīstās ūdensaugu audzes, planktona sugu daudzveidība saglabājas augsta, bet tā biomasa ir daudz lielāka nekā oligotrofos ezeros (Eipurs 1995). No pētījumā aplūkotajiem mezotrofi ir Bricu ezers un Lielais Vipēdis.

Eitrofā ezerā ir ierobežota ūdens caurredzamība (var būt zem 1 m), ūdens ir ar zaļganu vai brūnganu krāsojumu, veidojas blīvas niedru un citu piekrastes augu, ūdensaugu audzes. Vasaras sākumā notiek ūdens ziedēšana, masveidā savairojoties mikroskopiskajām aļģēm, vasarā un ziemā veidojas bezskābekļa zona dziļākos ūdens slāņos, jo viss ūdenī esošais skābeklis tiek patērēts dzīvo organismu elpošanai (organisko vielu noārdīšanai). No pētītajiem

eitrofi ir Āraišu, Lilastes un Usmas ezeri, bet Sekšu ezers un Mazais Baltezers ir eitrofa ezera sākumstadijā.

Par **hipereitrofiem** sauc piesārņotus eitrofos ezerus, kur ūdenī ir ārkārtīgi daudz barības vielu, notiek ļoti strauja ezera aizaugšana, ūdens caurredzamība var nokristies līdz dažiem desmitiem centimetru (piemēram, Talsu ezerā, autora novērojumi). Šādos ezeros stipri samazinās bioloģiskā daudzveidība un zemais skābekļa daudzums ūdenī bieži izraisa zivju slāpšanu. No pētītajiem hipereitrofi ir apdzīvotās vietās esošie Talsu un Trikātas ezeri.

Distrofi ezeri, saukti arī par brūnūdens ezeriem, ir atšķirīgi, tiem ir mīksts, tumšs ūdens, kuru lielākoties iekrāso humusvielas no kūdras nogulumiem ezera gultnē un/ vai sateces baseinā. Bioloģiskā produktivitāte šādos ezeros ir samērā maza, to ierobežo zemā ūdens mineralizācija un seklā fotiskā zona. Diseitrofi ezeri ir distrofi ezeri ar eitrofu ezera pazīmēm. (Urtāns et. al 2017) No pētītajiem distrofs ir Ķīkuru ezers, bet Velnezaru var uzskatīt par diseitrofu.

1.3. Ezera sedimentācijas vide

Ezers ir kompleksa un mainīga sistēma, kas mijiedarbojas ar citām apkārtējām sistēmām – atmosfēru, gultnē esošajiem nogulumiem un senākiem iežiem, hidroloģiski saistītajām ūdenstecēm un baseina biosfēru. Kā dažus galvenos procesus, kuros iesaistīti ezeri, varētu nosaukt:

- ūdens un tajā suspendēto daļiņu un izšķīdušo vielu aprīte - savākšana no ezera baseina un akumulēšana, notece kā ar virszemes, tā pazemes ūdeņiem.
- biomasas ražošana *in situ*, pārstrāde un patērēšana dzīvo organismu metabolismam.
- Ezera ūdens virsmas un atmosfēras savstarpēja apmaiņa ar siltumenerģiju un gāzēm, arī ūdens iztvaikošana.
- dažādu vielu šķīšana, nogulsnešanās un apmaiņa starp ezera ūdeni un gultnē esošajiem iežiem.

Ezeriem ir nozīmīga loma sauszemes teritorijās to ūdens, gaisa masu un enerģijas aprīte. Ezeriem ir raksturīgs mazs ūdens apmaiņas ātrums (ar ko tie pretstatāmi upēm), tāpēc tajos ir labvēlīga vide ieplūstošo ūdens strauju nesto daļiņu izkrišanai no ūdens kolonnas un izgulsnēšanai. Ezers ir viena no galvenajām nogulumu veidošanās (akumulācijas) vidēm iekšzemes teritorijās Latvijā, kā arī globāli (Tranvik 2009). Ezeros uzkrājas no ārienes ienestais (alohtonais) un pašā ezerā saražotais (autohtonais) materiāls. Alohtono materiālu veido gan organiskas, gan minerālas suspendētas daļiņas un ūdenī izšķīdušās vielas. Dažāda sastāva ienestā materiāla attiecība un uzkrāšanās apjoms ezerā ir lielā mērā atkarīgs no tā sateces

baseina īpašībām – erozijas un iežu šķīšanas procesu intensitātes, veģetācijas, noteces apjoma. Ja ezera krastus un tuvējo sateces teritoriju neklāj veģetācija, kā tas mūsdienās vērojams, piemēram, augstkalnu ezeros, ezerā dominēs klastiskā (minerogēnā) materiāla uzkrāšanās, bet mežiem apauguši ezera krasti ierobežos eroziju, ezeru bagātinot ar organiskajām vielām, tajā iekrītot augu atmirušajām daļām.

Tomēr lielāko daļu no ezeros uzkrātajiem nogulumiem, īpaši dziļūdens zonās, veido ezera vidē saražotais (autohtonais) organiskais materiāls. Tranvika (Tranvik 2009) pētījumā tiek lēsts, ka organiskā materiāla uzkrāšanās apjoms pasaules ezeros ir 84 milj. tonnu gadā, salīdzinoši pasaules okeāns uzkrāj ap 200 mij. tonnu gadā.

Ezeros uzkrājas arī dažādas izcelsmes neorganiskais materiāls, tāpēc kopējais nogulumu uzkrāšanās apjoms pasaules ezeros ir vēl lielāks. Līdz ar to, nogulumu veidošanās procesu izprašana ir svarīga lokālā un globālā vielu riņķojuma izpratnei, īpaši pievēršot uzmanību oglekļa un slāpekļa savienojumu (gan kā dzīvās matērijas uzbūves pamatelementu, gan cilvēka radīto piesārņotāju) riņķojumam.

Ezerā ietekošās ūdens plūsmas ātrumam samazinoties, ezerā nokļuvušais rupjgraudainākais materiāls izkrīt no ūdens plūsmas un akumulējas ezerā. Ja no ezera iztekoša ūdens plūsma vēl spēj aiztransportēt vērā ņemamu sanešu apjomu, pazemes ūdeņi, visticamāk, varēs aiznest tikai izšķīdušās vielas, bet iztvaikošanas procesā ezeru pametīs gandrīz tikai ūdens. Kā piemēru šādu procesu esamībai var minēt sālsezarus (akumulē sāļus) un hidroelektrostaciju ūdenskrātuves (notiek strauja sanešu akumulācija upes straumes nobremzēšanas dēļ).

Sedimentācijas apstākļi ezerā ir telpiski mainīgi – dažādās ezera dziļumu zonās tie krasi atšķiras (Terasmaa, 2011). Ezera krastu tuvumā vairāk sastopama klastiskā materiāla sedimentācija, tur uzkrājoties no sauszemes ienestajam neorganiskajam materiālam. Lielāks apjoms sanešu izgulsnējas patstāvīgu ūdens plūsmu ieteces vietās. Virzienā uz ezera vidu klastiskā materiāla sedimentācijas apjoms samazinās, kā arī samazinās izgulsnēto klastisko daļiņu izmēri.

Vietās ar lielu ūdensaugu blīvumu notiek intensīva organiskā materiāla uzkrāšanās un sadalīšanās. Savukārt, ja fotiskā zona (zona, kurā iespīd Saules gaisma) neaizsniedz ezera gultni, zemūdens augu ir maz, galvenokārt uzkrājas cits organiskās izcelsmes materiāls (aļģes, planktons, peldošie ūdensaugi, ūdens vidē dzīvojošo dzīvnieku atliekas). Šajā darbā tiek apskatīta nogulumu uzkrāšanās ezera dziļākajā daļā, jo, lai gan ezera piekrastē var būt liels organisko vielu uzkrāšanās apjoms, sedimentācijas procesi šeit ir ļoti mainīgi atkarībā no ūdens līmeņa un veģetācijas, un neatspoguļo sedimentācijas procesus ezerā kopumā.

Nogulumu fokusēšanas process nosaka, ka nogulumiem ir tendence pastiprināti uzkrāties ūdenstilpju dziļākajās vietās (galvenokārt mazāka ūdens plūsmas ātruma dēļ) un nogulumu vecums dažādās ezera zonās var būt identisks, pat ja to uzkrāšanās apjomi ir atšķirīgi (Davis et al., 1984). Teorētiski, ja litorālē ir, piemēram, 1 m biezs nogulumu slānis, kurš uzkrājies Holocēnā, tad arī ezera centrālajā un dziļākajā daļā esošie 10 m biezie nogulumi uzkrājušies identiskā laikā (Davis and Ford, 1982). Līdz ar to, litoloģija ir gandrīz identiska, bet atšķiras nogulumu uzkrāšanās apjomi gadā (uzkrāšanās ātrums) un tādēļ ezera dziļākajā daļā parasti iespējams pētīt nogulumus ar augstāku temporālo (laika) izšķirtspēju. Pie tam, ezera dziļākajā daļā dažādu lokālo faktoru (ezera ieteku, krasta veģetācijas) ietekme parasti ir visizlīdzinātākā (Davis et al. 1984).

Ezeros vērojamas apstākļu atšķirības arī dažādos dziļumos ūdens kolonnā. Ūdens virsējos slāņos ir gada gaitā stipri mainīga temperatūra, skābekļa un ogļskābās gāzes brīva apmaiņa ar atmosfēru un karbonātu minerālu izgulsnēšanai piemēroti apstākļi. Dziļākajos ezera slāņos temperatūra visu gadu ir ap 4 °C, var pastāvēt limitēta skābekļa, pat bezskābekļa apstākļi, arī pH reakcija var būt mainīga.

Karbonātu minerāli ezera ūdenī nonāk gan ar klastisko materiālu, gan šķīstot no ezera gultnē un baseinā esošajiem iežiem, gan šķīstot gaisā esošajai ogļskābajai gāzei. Ūdenī ogļskābā gāze (CO₂), ogļskābe (H₂CO₃) un bikarbonāta joni (HCO₃⁻) atrodas dinamiskā līdzsvarā (Ryan 2011). Ja bikarbonāta jonu saturs ūdenī ir pietiekams, tie var savienoties ar Ca⁺ joniem, veidojot kalcīta nogulsnes. Ogļskābās gāzes šķīdība ir relatīvi augstāka aukstā ūdenī, tāpēc, ūdenim atdziestot, daļa bikarbonāta jonu var pāriet ogļskābē un ogļskābajā gāzē, samazinot bikarbonāta jonu saturu vidē un veicinot kalcīta šķīšanu. Līdz ar to, karbonāti, kas kristalizējušies vai nonākuši ūdenī augstākos slāņos temperatūras un gāzu sastāva atšķirību dēļ var izšķīst, nogrimstot zemākos ūdens slāņos (Dean 2006). Ezera nogulumos saglabājušos karbonātu daudzums atspoguļo gan ezerdobes un tā baseina ģeoloģiju, gan ūdens kolonnas un pēcsedimentācijas apstākļus (skat. 2.4. nodaļu).

Latvijas teritorijā ezeru iekšējos procesus ietekmē sezonālitate. Ziemā, kad ezeru klāj ledus sega, ūdens kolonnā vērojama salīdzinoši vienmērīga temperatūras izkliede, un iekšējie procesi norisinās palēnināti (Stivriņš, 2018). Vasarā notiek ezera ūdens termālā noslāņošanās – blīvākais, 4 °C ūdens slānis (hipolimnijs) atrodas ezera dziļākajā daļā, bet virsējie 1-2 m (epilimnijs) sasilst līdz pat 20 °C un vairāk. Šie slāņi ir samērā nodalīti un stabili to blīvuma atšķirību dēļ: 4 °C saldūdens blīvums ir 1000 kg/m³, bet 20 °C saldūdens blīvums ir apm. 997 kg/m³. Siltā un vēsā ūdens slāņa saskares zonā novērojamas krasas temperatūras izmaiņas vertikālā virzienā - šo zonu sauc par termoklīnu. Rudenī un pavasarī, kad ūdens virsējie slāņi strauji atdziest/uzsilst un to temperatūra kļūst vienāda ar zemāko slāņu temperatūru, notiek

eзера ūdens kolonnas sajaukšanās, ko izraisa vējš un nokrišņu (lietus, sniega un izkusušā ledus) ieplūšana ezerā (Stivriņš, 2018b). Tādējādi vismaz divas reizes gadā ezeros notiek pilnīga ūdens kolonnas sajaukšanās un skābeklis piekļūst virsējiem ezera nogulumiem.

1.4. Nogulumu pēcsedimentācijas procesi

Šajā darbā tiek pieņemts, ka pētītie nogulumi, neskatoties uz pēcsedimentācijas procesiem, pakļaujas N. Steno paustajiem stratigrāfijas pamatprincipiem: superpozīcijas jeb iežu pārslāņošanās princips, nogulumu uzkrāšanās horizontālos vai subhorizontālos slāņos un slāņu izplatības nepārtrauktība horizontālā virzienā (šajā gadījumā, konkrētā ezera jeb sedimentācijas baseina ietvaros) (MacLeod 2005). Iepriekš minētā nogulumu fokusēšanās procesa likumsakarība pamato ezera nogulumu uzkrāšanos atbilstoši šiem principiem, taču tā neietver nogulumu pārvietošanos pēc to izgulsnēšanās. Nogulumu slīdēšanas vai pārskalošanas (parādoties spēcīgām straumēm, mainoties ūdens līmenim) rezultātā materiālam pārvietojoties uz ezera dziļākajām vietām, var tik izmainīta nogulumu hronoloģija. Tomēr pētītie ezeri pārsvarā ir nelieli un sekli, kas norāda, ka nogulumu slīdēšana vai sajaukšanās nav notikusi, ko arī apstiprina, piemēram, Zavisckas (Zawiska et al., 2020) pētījums Sekšu ezerā. Ezerdobju nogāzes, uzkrājoties nogulumiem, paliek lēzenākas un samazinās nogulumu slīdēšanas iespējamība, arī spēcīgas ūdens plūsmas un nogulumu erozija ezeros nav novērota.

Ezera gultnē esošie nogulumi var ievērojami atšķirties no sākotnēji ūdenstilpnē izgulsnētā materiāla. Pārmaiņas nogulumos notiek gan nogulsnēšanās laikā, gan pēc tās. Šo pārmaiņu raksturs dažādās ūdenstilpēs ievērojami atšķiras un ir atkarīgs no konkrētās ūdenstilpes parametriem: dziļuma, ezerdobes morfoloģijas, termiskā režīma, skābekļa apstākļu un ūdens cirkulācijas, arī izgulsnēto nogulu sastāva. Nogulumu pēcsedimentācijas izmaiņas sauc arī par diaģenēzi (Zelčs 1997). Vienkāršs diaģenēzes procesa piemērs ir nogulumu sablīvēšanās laika gaitā spiediena ietekmē. Sablīvēšanās intensitāti var noteikt pēc ūdens/sausnes attiecības izmaiņām vertikālā griezumā (Bloesch 2004), taču sablīvēšanos nevar apskatīt kā izolētu procesu, jo diaģenēzes rezultātā mainās arī nogulumos esošo ķīmisko elementu stāvokļi un proporcijas.

Organisko vielu noārdīšanās nogulumu virsējā slānī var notikt, ja ūdenstilpe ir izteikti sekla, Saules gaisma iespīd līdz pašai apakšai un skābekļa koncentrācija ir optimāla, lai veicinātu organiskā materiāla degradēšanās procesus (Lampert and Sommer, 2007). Parasti organisko vielu noārdīšanās ezera nogulumos ir ierobežota. To pamatā nosaka skābekļa pieejamība ezera gultnes daļā un nogulumu uzkrāšanās nepārtrauktība. Nogulumi pēc to uzkrāšanās ilgstoši atrodas ezera gultnes virsējos slāņos, kur tie tiek pakļauti sākumstadijā ar

ezera vidi saistītu procesu norisē, bet vēlāk, uzkrājoties jauniem nogulumiem, nogulumi tiek zināmā mērā izolēti no augstāk esošās ezera vides. Izolētajos nogulumos organisko vielu noārdīšanās ātrums samazinās, viens no samazināšanās iemesliem aprakstīts nākamajā nodaļā. (Galman et al. 2008) parāda, ka oglekļa (kā organikas satura indikatora) koncentrācija ezera nogulumos Zviedrijas ziemeļos samazinās par 20% piecu gadu laikā pēc aprakšanas, taču nākamo 22 gadu laikā tā samazinājās vēl par tikai 3%.

Diāģenēzes procesu rezultātā, īpaši dinamiski apraktajos nogulumos, mainās poru gāzu ķīmiskais sastāvs. Porās esošo skābekli patērē baktērijas organisko vielu sadalīšanai, kā rezultātā stipri krītas skābekļa un palielinās oglekļa dioksīda gāzes un metāna saturs. Bezskābekļa apstākļos organogēno materiālu pārstrādā metanogēnās baktērijas un šī procesa rezultātā izdalās metāns (Borrel et al. 2011), tomēr anaerobais metabolisms ir daudz neefektīvāks un bezskābekļa apstākļos organisko vielu noārdīšanās notiek samērā lēni.

Sadaloties organiskajām vielām, notiek nogulumu porūdens paskābināšanās. Pazeminoties vides pH, palielinās karbonātu šķīdība, tiem pārejot oglekļa dioksīda gāzē, kas nogulumos migrē uz augšu. Šī iemesla dēļ E. Dīns pēc pētījumiem ASV ezeros secina, ka karbonātu saturs nogulumos ir bieži ir apgriezti proporcionāls organiskā materiāla saturam (Dean 2006).

Aizpildoties ezeriem, tie kļūst seklāki un organogēno nogulumu sadalīšanās aizvien vairāk notiek anaerobos apstākļos metanogēno baktēriju rezultātā, kas var rezultēties plašas bezskābekļa zonas izplatībā ezerā un siltumnīcas efektu izraisošo gāzu pastiprinātā izdalīšanā no ezeriem anaerobo organismu darbības rezultātā (Yang et al. 2015). Šādos apstākļos mainās iekšējā barības vielu pieejamība dažādiem organismiem. Piemēram, S. Belles veiktais pētījums Lielajā Svētiņu ezerā (Austrumlatvijā) uzrāda, ka iepriekšminētos apstākļos trīsūlodu kāpuri savā uzturā lietojuši anaerobos apstākļos saražotajā metānā esošo oglekli (Belle et al. 2018). Bezskābekļa apstākļos ezeros var izgulsnēties arī pirīts (FeS_2), kurš dažkārt atrodams produktīvo ezeru nogulumos (Apolinarska et al. 2011; Stivrins et al. 2015). Pirīts ir kā indikators augstai organisko vielu salīšanās intensitātei nogulumos, kuras rezultātā tajos radušies reducējoši apstākļi (Barthelmes et al. 2012).

2. PĒTĀMO EZERU RAKSTUROJUMS

2.1. Pētāmo teritoriju dabas apstākļi

Pētītie ezeri atrodas Latvijas teritorijas rietumu un centrālajā daļā. Latvija ir Eiropas kontinentālā līdzenuma neliela, hipsometriski zemu novietota daļa. Latvijas sauszemes teritorijas virsma atrodas 0–311,9 m v.j.l.(Zelčs, Nartišs 2018). Mūsdienu teritorijas reljefu veidojuši Kvartāra apledoņumi. Visvairāk liecību Latvijas teritorijā ir no Vēlās Vislas jeb Latvijas apledoņuma, kurš tās teritoriju klāja pirms 27 – 14 tūkstošiem gadiem (Zelčs 2018).

Bakalaura darbā aplūkoti ezeri izvietojušies gan augstieņu, gan zemieņu teritorijās. 2.1. Tabulā redzams, kādā dabas rajonā un apvidū atrodas katrs ezers. Ezeri atrodas Piejūras zemienē, Vidzemes augstienē, Ziemeļvidzemes zemienē, Rietumkursas augstienē, Austrumkursas augstienē un Kursas zemienē (LVGD Dabas apvidi). Katra ezera ģeoloģisko apstākļu detalizētāks apraksts atrodams nākamajā nodaļā (2.2.).

2.1. tabula

Pētīto ezeru piederība dabas zonām un apvidiem

Reljefa lielforma	Dabas apvidus	Ezers/i, kuri atrodas atbilstošajā dabas apv.
Austrumkursas augstiene	Lielauces pauguraine	Lielais Vipēdis
	Vanemas pauguraine	Talsu ezers
Kursas zemiene	Ugāles līdzenums	Usmas ezers
Piejūras zemiene	Rīgavas līdzenums	Lilastes ez., M. Baltezers, Sekšu ez., Velnezers
Rietumkursas augstiene	Apriķu līdzenums	Ķikuru ezers
	Kurmāles pauguraine	Pinku ezers
Vidzemes augstiene	Mežoles pauguraine	Āraišu ezers
	Piebalgas pauguraine	Bricu ezers
Ziemeļvidzemes zemiene	Triķātas pacēlums	Triķātas ezers

Ezeru vidi ietekmē arī klimatiskie apstākļi – nokrišņi, gaisa temperatūra u.c. Latvijas teritorija ietilpst mērenā klimata joslā. Šeit dominē rietumu planetārā gaisa masu plūsma (rietumvēji), tāpēc Latvijas klimatu nozīmīgi ietekmē Atlantijas okeāns, kas atrodas apmēram 1000 km uz rietumiem no tās. Latvijā ieplūst dažādas izcelsmes kontinentālās un okeāniskās gaisa masas. Kontinentālo gaisa masu biežums Latvijas rietumu un centrālajā daļā ir ap 14%, bet okeānisko – 36%. Gada vidējā gaisa temperatūra (1981.–2010. g.) šeit ir no 5,5 °C Vidzemes augstienes Z daļā līdz 7 °C un vairāk Rīgas apkārtnē un Kurzemes R piekrastē. Nedaudz zemāka – 6,5 °C – ir vidējā gaisa temperatūra Austrumkursas augstienē. Jūlija vidējā temperatūra visaugstākā ir Rīgas apkārtnē (18,6 °C) pilsētas siltumsalas efekta un zemā hipsometriskā novietojuma dēļ, Vidzemes augstienē Bricu ezera apkārtnē tā ir viszemākā, 17 °C. Salīdzinoši

vēsāks Baltijas jūras tuvuma dēļ Jūlijā ir Kurzemē, no 17,2 °C. Februāra vidējā temperatūra samazinās virzienā no rietumiem uz austrumiem: no -2 °C Kurzemes rietumu piekrastē līdz -5 °C Vidzemes augstienē (Briede et al. 2018).

Nokrišņu sadalījums Latvijā nav pavisam vienmērīgs - vairāk nokrišņu ir Vidzemes un Rietumkursas augstieņu rietumu (uzvēja) nogāzēs, (no pētītajiem Pinku un Ķikuru ezeri atrodas rietumkursas augstienes rietumu pusē), bet vismazāk nokrišņu ir Zemgales līdzenumā un ieplakās, kas novietotas augstieņu aizvēja nogāzēs. No pētītajiem apvidiem vismazāk nokrišņu ir Lielaucē paugurainē un Trikātas pacēlumā. Mūsdienās gada kopējam nokrišņu daudzumam ir tendence pieaugt, pieaug arī nokrišņu nevienmērīgums – vērojami retāki, bet intensīvāki nokrišņi. Nokrišņu vienmērīguma raksturošanai tiek izmantots intensitātes indekss. Latvijas teritorijā nokrišņu intensitātes indekss variē maz, tas visā valsts teritorijā ir ap 5 mm/ dienā (Briede et al. 2018)

Noteces slānis pētāmajā teritorijā ir 180 – 380 mm. Izlīdzināšana Latvijā vidēji ir 458 mm, tātad ap 65% nokrišņu izlīdzina, bet ~35% upes ienes Baltijas jūrā. Noteces slānis pamatā ir atkarīgs no nokrišņu daudzuma – vislielākais noteces slānis ir Rietumkursas un Vidzemes augstienēs, vismazākais – Lielaucē līdzenumā

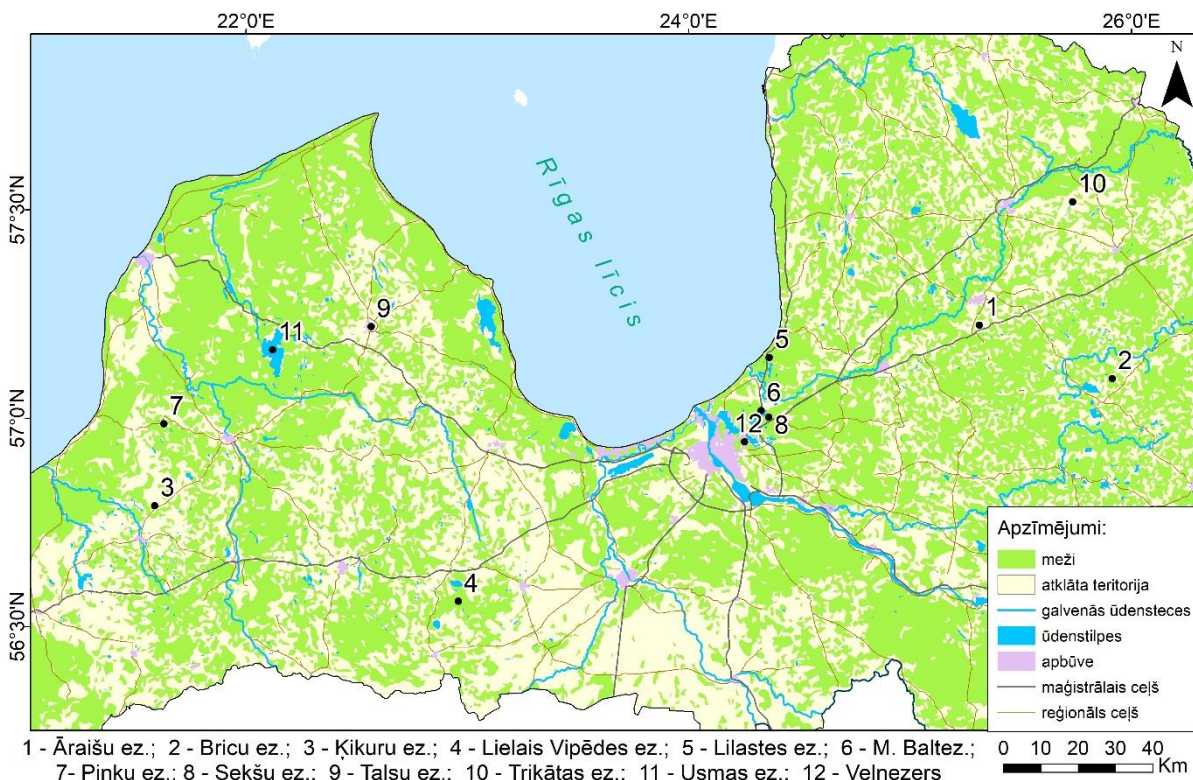
Ledstāves ilgums Latvijas rietumu un centrālās daļas ezeros līdz 20. gs. 90. gadiem sasniedza vismaz 3,5 – 4 mēnešus, bet Vidzemē un citur varēja būt pat 5 mēneši un vairāk. Pēc 20. gs. 90. gadiem, klimatam pasiltinoties, ziemas kļuvušas siltākas, un ledstāves ilgums mūsdienās Kurzemes un piejūras ezeros samazinājies par aptuveni mēnesi, bet Vidzemē – par 2 nedēļām. Pēc mērījumu datiem no 1988. līdz 2002. gadam Latvijas ezeru virsējā ūdens slāņa daudzgadējā vidējā temperatūra bezledus periodā pieaugusi par 0,4-0,8 °C, un tiek prognozēts, ka tā var turpināt paaugstināties, klimatam turpinot pasiltināties (Apsīte et al. 2018).

Ilggadējais vidējais (1981-2010) veģetācijas sezonas ilgums ir pētāmajā teritorijā ir no 186 dienām (Vidzemes augstienē pie Zosēniem, Bricu ezera tuvumā) līdz 202 dienām (Rīgas apkārtnē un Kurzemes rietumu piekrastē), nedaudz īsāks veģetācijas periods – 196 dienas – ir Austrumkursas augstienē (Briede et al. 2018). Jāņem vērā, ka šie lielumi ir tikai indikatīvi, jo veģetācijas sezonu raksturo diennakts vidējās temperatūras pacelšanās virs 5 °C, bet ūdens temperatūra varētu būt mazliet atšķirīga.

2.2. Pētāmo ezeru raksturojums

Pētījumā apskatīti 12 ezeri Latvijas Teritorijā: trīs ezeri Vidzemes plānošanas reģionā (PR), četri Kurzemes PR, viens Zemgales PR un trīs Rīgas PR. Ezeru atrašanās vietas redzamas 2.1. attēlā. Galvenie ezeru raksturojošie parametri doti 2.2. tabulā, minētais administratīvais

iedalījums aktuāls no 2009. līdz 2021. gadam (Novadu karte). Tālākajās nodaļās sniegts katra ezera detalizētāks apraksts alfabētiskā secībā.



2.1. Attēls. Pētāmo ezeru novietojums Latvijā. Kartes veidošanai izmantoti apveidfailu dati no SIA “Envirotech” un datorprogramma ArcMap 10.7.1.

2.2. tabula

Pētījumā apskatītie ezeri un to parametri

Ezers	Ģenēze ¹	Trofija ²	Platība (ha, spoguļlaukums) ³	Vidējais dziļums (m) ⁴	Publicēts/nepublicēts
ĀRAIŠU	glaciģēns	eutrofs	32,6	4,0	(Stivrins et al. 2015)
BRICU	glaciokarsts	mezotrofs	16,0	1,3	nepublicēts (Trofimova, 2019)
ĶIKURU	glaciokarsts	distrofs	21,6	1,9	(Stivrins et al. 2017)
LIELAIS VIPĒDES	glaciģēns	mezotrofs	20,1	2,3	nepublicēts (Trofimova, 2019)
LILASTES	Piejūras	eutrofs	183,6	2,0	(Grudzinska et al., 2017)
MAZAIS BALTEZERS	Piejūras	eutrofs	198,7	4,6	Nepublicēts (šis bakalaura darbs)
PINKU	subglaciāls	oligotrofs	29,0	5,0	Nepublicēts (šis bakalaura darbs)

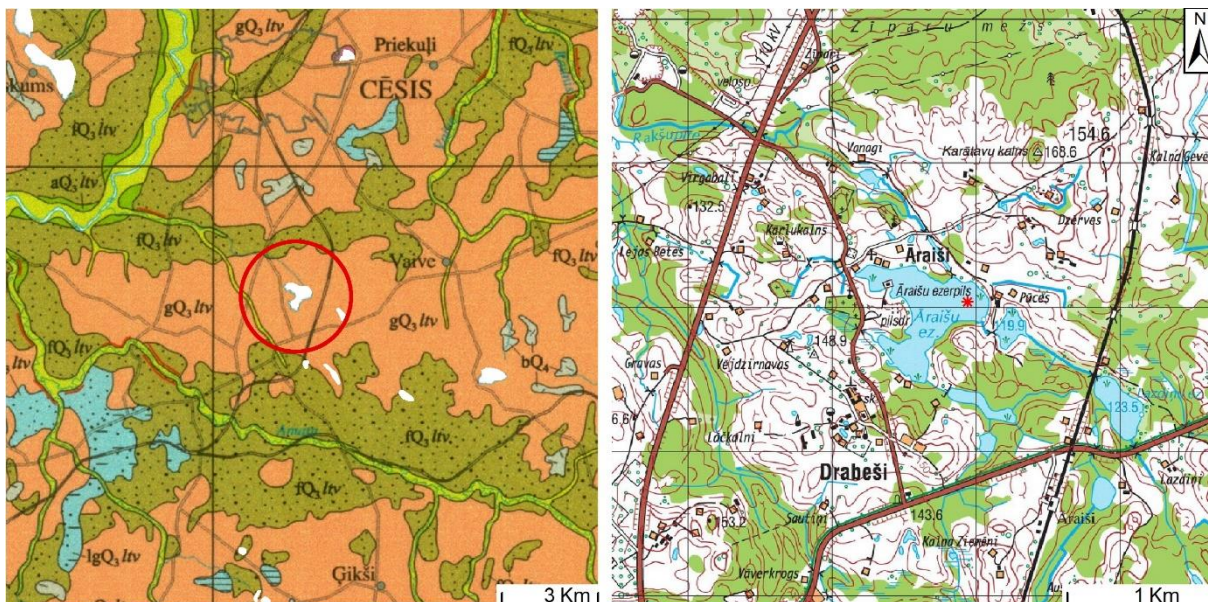
SEKŠU	glaciokarsts	mezotrofs/ eitrofs	11,7	2,1	Zawiska et al. (2020) un šis bakalaura darbs
TALSU	subglaciāls	hipereitrofs	3,6	11,6	nepublicēts (šis bakalaura darbs)
TRIKĀTAS	glacigēns	hipereitrofs	16,0	1,8	(Stivrins et al., 2016)
USMAS	glacigēns	eitrofs	3720	5,4	nepublicēts (šis bakalaura darbs)
VELNEZERS	glaciokarsts	distrofs/ diseitrofs	2,5	4,1	nepublicēts (šis bakalaura darbs)

^{1,2,3,4} (Ģeomorfoloģiskā karte; Biedrība "Latvijas.. S.a.) un 6. kolonnā minētie darbi

Āraišu ezers administratīvi atrodas Amatas novada Drabešu pagastā. Novietojums - 7 km uz dienvidiem no Cēsu pilsētas, 500 m uz ziemeļiem no valsts autoceļa Rīga-Veclaicene (Pleskava). Ezera dienvidrietumu krastā ir apdzīvota vieta Drabeši ar apm. 100 iedzīvotājiem. Āraišu ezers un tā apkārtnē bijuši apdzīvoti jau izsenis, par to liecina Vēlā dzelzs laikmeta nocietinājuma Āraišu ezerpils paliekas, kas atrastas ezera sekrajā ziemeļrietumu daļā, kā arī Viduslaiku pils drupas pie ezera - Āraišu ordeņa pilsdrupas (Apals 1983). Lai veiktu ezerpils izpēti, tā līmenis pazemināts kopš 1966. gada, meliorējot izteku Rakšupīti, uz tās izbūvēta caurteka ūdens līmeņa regulēšanai (Āraišu ezera.. 2019). Līmeņa pazemināšana un barības vielu nonākšana ezerā ar ietekošajiem ūdeņiem negatīvi ietekmējusi ezera ekosistēmu 20. gs. Piemēram, caurredzamība ezerā samazinājusies no bijusi 1,8 m 1974. gadā līdz 1,1 m 1998. gadā (Āraišu ezera.. 2019).

Ezera virsma atrodas 119,9 m v.j.l. (TOPO 50K 2. Kārta), tas ir trijstūra formas, 0,89 km garš un 0,75 km plats. Ezera vidējais dziļums ir 4 metri, bet dziļākā vieta – 12,2 metri – atrodas ziemeļaustrumu stūrī (Biedrība "Latvijas.. S.a.). Zemes virsmu tuvējā apkārtņē veido Latvijas apledošanas morēna, vietumis sastopami glaciofluviālie nogulumu (LVĢD Kvartārģeoloģija, LĢP Kvartārģeoloģija). Ezers atrodas Vidzemes augstienes malā, marginālajā masīvā (Ģeomorfoloģiskā karte). Ezera krasti ir lēzeni un prvaini, bet to ieskauj paugurots reljefs, pauguri lēzeni līdz vidēji stāvi, to augstums līdz 30 m virs ezera virsmas līmeņa (skat. 2.2. att.).

Ezera baseina platība ir 13 km², tajā ietek 4 nelieli grāvji, kā arī Gaujas pieteka Rakšupīte, kas to hidroloģiski savieno ar tuvējām ūdenstilpēm – Āraišu sistēmas ezeriem (Āraišu ezera.., 2019). Ezera baseinu mūsdienās pārsvarā aizņem lauksaimniecības zemes, ilggadīgie zālāji un izklaidus viensētu apdzīvojums (Āraišu ezera.. 2019; ORTOFOTO 6).



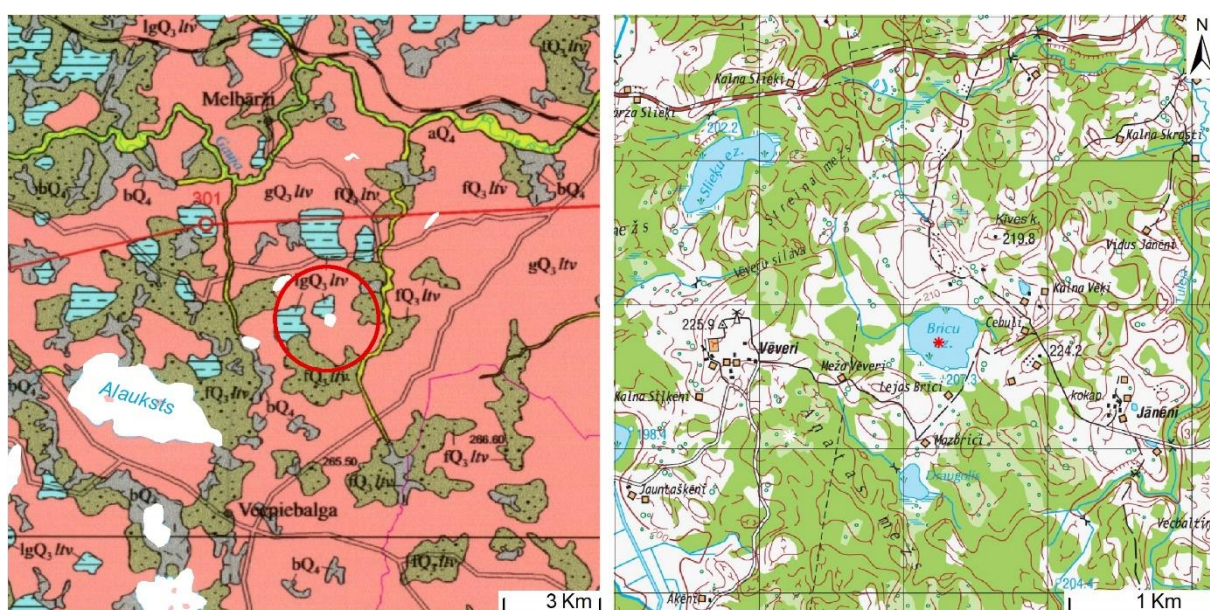
2.2. Attēls. Āraišu ezers topogrāfiskajā kartē un kvartāra nogulumu kartē. Pa kreisi – Virsējie kvartāra nogulumu ezera apkārtnē (LVĢD Kwartārġeoloģija); pa labi – urbumu paraugu ņemšanas vieta ezerā (TOPO 50K 2. Kārta). Šeit un turpmāk izmantotie LVĢD Kwartāra nogulumu kartes apzīmējumi (2.2. – 2.12. att.): **aQ3ltv** – Augšpleistocēna Latvijas svītas aluviālie nogulumu (smilts, grants, oļi); **fQ3ltv** – Augšpleistocēna Latvijas svītas glaciofluviālie nogulumu (smilts, grants, oļi); **gQ3ltv** – Augšpleistocēna Latvijas svītas glaciģēnie nogulumu (morēnas smilšmāls un mālsmilts); **lgQ3ltv** – Augšpleistocēna Latvijas svītas glaciolimniskie nogulumu (smilts, aleirīts, māls); **lgQ3ltv^b** – Augšpleistocēna Baltijas ledus ezera nogulumu (māls, aleirīts, smilts, grants, oļi); **vQ3** – Augšpleistocēna eolie nogulumu (smilts); **aQ4, a^dQ4** – attiecīgi Holocēna aluviālie un aluviālie deltu nogulumu (aleirīts, smilts, grants, oļi); **bQ4** – Holocēna purvu nogulumu (kūdra); **mQ4^{pl}, mQ4^{lt}, mQ4^{y+an}** – Holocēna marīnie nogulumu, attiecīgi pēclitorīnas, Litorīnas, Joldijas jūras un ancilus ezera (aleirīts, smilts, grants); **vQ4** – Holocēna eolie nogulumu (smilts).

Bricu ezers (arī Jumalas, Cibuļu, Briču) administratīvi atrodas Jaunpiebalgas novada Jaunpiebalgas pagastā. Ezeram rietumu pusē pieguļ Vecpiebalgas pagasts. Novietojums - 7 km uz ziemeļaustrumiem no Vecpiebalgas, 3,5 km uz ziemeļrietumiem no reģionālas nozīmes autoceļa P33, nogriežoties uz apdz. vietu Jānēni. Bricu ezerā 1960. gada 17. septembrī tika atklātas nocietinātas būves (ezermītnes) paliekas. To izmērs ir 20 x 30 m, tās atrodas ezera dienvidaustrumu daļā, saliņā. J. Apals 1969. gadā šo objektu nosaucis par Bricu ezerpili. Salas zemūdens nogāzēs redzami skuju koku un ozolu baļķu gali, bet kultūrslānī atrastas keramikas lauskas un māla apmetuma gabali (Šteinberga 2020). Šie atklājumi liecina par ezera un tā apkārtnes apdzīvotību jau senatnē.

Ezers ir apaļas formas ar diametru 0,49 km. Ezera vidējais dziļums ir 1,3 m, bet maksimālais dziļums ir 2,7 m. Tas atrodas morēnas paugurainē 208,4 m virs jūras līmeņa (PSRS

MP ĢKGP 1976). Uz DR no ezera Alauksta virzienā plešas fluviokēmu līdzenums. Ezera apkārtnē zemes virskārtā dominē Latvijas apledojuuma morēna, ziemeļrietumu pusē sastopami arī glaciolimniskie nogulumu (skat. 2.3. att.). Ezera austrumu un dienvidu krasti purvaini, ziemeļu un ziemeļaustrumu krasti ieslīpi.

Ietek meliorācijas grāvis, iztek neliela upīte, kuras regulēšanas rezultātā ezera ūdens līmenis 20.gs. 50.gados pazemināts. Neskatoties uz to, ezera ekoloģiskais stāvoklis ir labs, ūdens caurredzamība ezerā pārsniedz ezera maksimālo dziļumu, 2,7 m (Biedrība “Latvijas.. S.a.). 1 km rādiusā ap ezeru vērojama paugurainēm raksturīga mozaīkveida ainava, kur mežaudzes mijas ar ganībām. Teritorijas meliorētas, taču vietumis atrodas purvainas ieplakas un nelieli dīķi un ezeriņi. Šeit sastopams rets viensētu apdzīvojums.



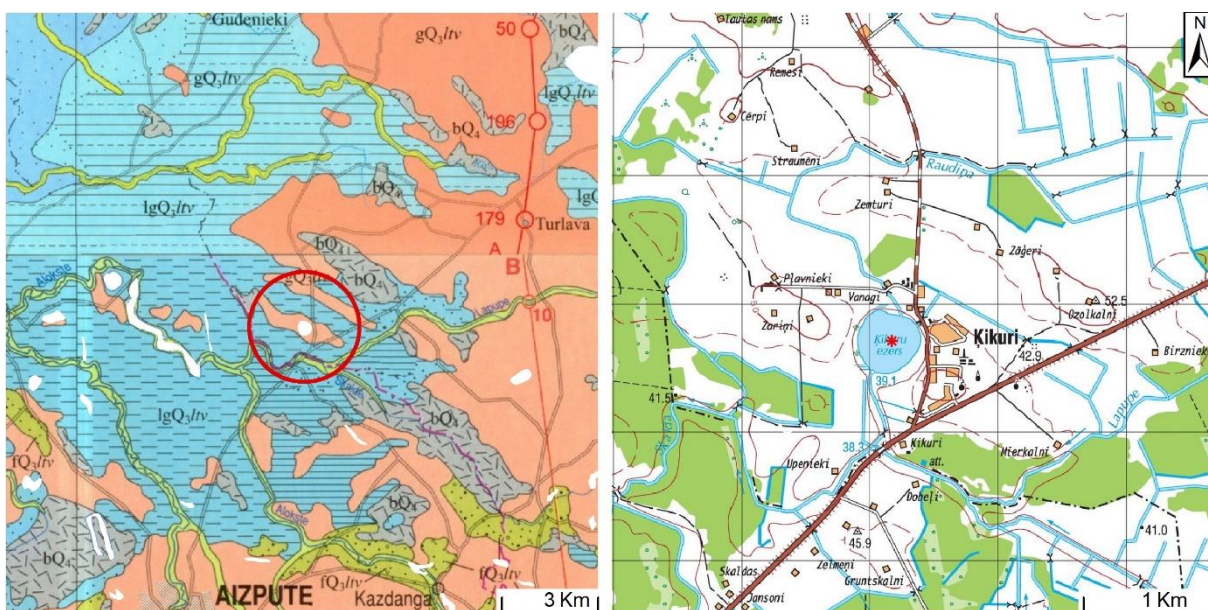
2.3. Attēls. Bricu ezers topogrāfiskajā kartē un kvartāra nogulumu kartē. Pa kreisi – Virsējie kvartāra nogulumu ezera apkārtnē (LVĢD Kvartārġeoloģija); pa labi – urbumu paraugu ņemšanas vietas ezerā (TOPO 50K 2. Kārta).

Ķikuru ezers administratīvi atrodas Kuldīgas novada Turlavas pagastā. Novietojums - 300 m uz ZR no reģionālas nozīmes ceļa Aizpute-Kuldīga, 10 km uz ZZA no Aizputes pilsētas. Ezera A krastā ir ciems Ķikuri ar apm. 200 iedzīvotājiem. 1970tajos gados ezeru piesārņojuši mehāniski attīrīti pienotavas notekūdeņi, taču mūsdienās tas vairs nenotiek un ezerā nav novērojama aļģu ziedēšana, kas liecinātu par palielinātu barības vielu daudzumu ūdenī (Biedrība “Latvijas.. S.a.).

Ezera forma ir izteikti apaļa, tā diametrs ir apm. 0,52 km, spoguļlaukuma platība 0,21 km². Vidējais dziļums – 1,9 m, maksimālais dziļums – 4,3 m (Stivrins et. al 2017). Virsmas līmenis ir 39,1 m vļj (TOPO 50K 2. Kārta). Ezera apkārtnē atrodas Kuršu loba apriķu ledus

mēles iedarbības zonā. Šeit dominē drumlinu reljefs, kas daļēji pārklāts ar Apriķu ledusezera nogulumiem (Saks et al. 2011, Ģeomorfoloģiskā karte). Zemes virskārtu šaurā joslā ap ezeru veido Latvijas apledošanas morēna (skat. 2.4. att.). Tā veido ziemeļrietumu - dienvidaustrumu virzienā stieptu, 3 km garu un līdz 700 m platu, 10 m augstu reljefa formu. Šī reljefa forma paceļas 13 m virs Ķikuru ezera ūdens virsmas ezera ziemeļrietumu un dienvidaustrumu pusēs, un Ķikuru ezera dobe to sadala divās daļās. Pētījumā par Ķikuru ezera izcelsmi argumentēts, ka minētā reljefa forma ir drumlins un Ķikuru ezers veidojies, izkūstot zem tā apraktam ledus blāķim (Stivrins 2017). Ap drumlinu zemes virskārtā sastopami Apriķu ledus ezera aleirītiskie nogulumi (LVĢD Kvartārģeoloģija).

Ezers ir caurtekošs, tajā ietek divi grāvji, iztek 500 m garš grāvis, kas to savieno ar upi Skalda (TOPO 10K LĢIA). Ezeru ieskauj lauksaimniecības zemes un skrajas priežu un bērzu audzes. 15% no ezera baseina aizņem mežaudzes, ap 2% - apbūve un viensētu pagalmi, bet pārējo ezera baseina platību aizņem lauksaimniecības zemes (ORTOFOTO 6).



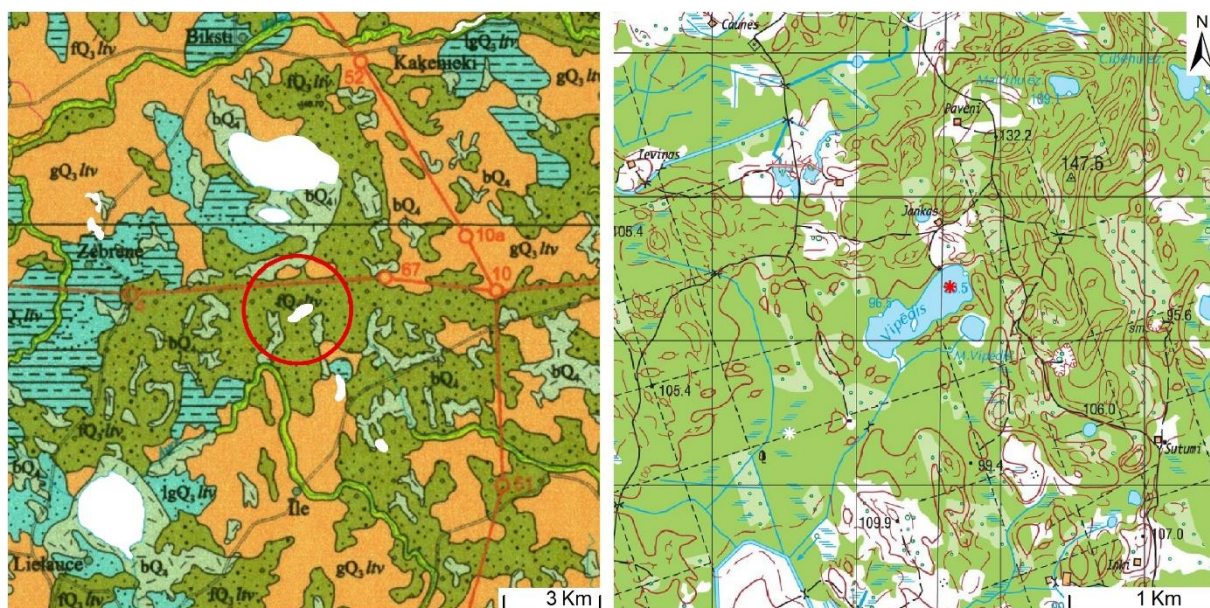
2.4. Attēls. Ķikuru ezers topogrāfiskajā kartē un kvartāra nogulumu kartē. Pa kreisi – Virsējie kvartāra nogulumi ezera apkārtnē (LVĢD Kvartārģeoloģija); pa labi – urbumu paraugu ņemšanas vietas ezerā (TOPO 50K 2. Kārta).

Liels Vipēdis (Vipēdis, Liels Vipēdes ezers, Liels Vipēdas ezers) administratīvi atrodas Dobeles novada Zebrenes pagastā. Novietojums – 20 km uz rietumiem no Dobeles pilsētas, 3 km uz dienvidiem no Zebrus ezera, 8 km uz dienvidiem no valsts autoceļa Rīga – Liepāja, nogriežoties no P104 uz svētiņu ezeru. Ezera tuvumā atrodas tikai viena viensēta, taču tā krastus izraibina ap 30 laipas un 2 laivu piestātnes, kuras izmanto makšķernieki (ORTOFOTO 6). Vipēdis ir iecienīts makšķernieku vidū jau kopš 20. gs. sākuma. Šobrīd ezerā

tiek organizēta licencētā makšķerēšana, pārsvarā tiek ķertas karpas un līdakas, to populācijas regulāri tiek mākslīgi papildinātas (Zemkopības ministrija 2017).

Ezera līmenis ir 96,5 m vjl. (TOPO 50K 2. Kārta), garums – 0,83 km, bet platums – 0,29 km. Vidēji 2,3 m dziļš, bet maksimālais dziļums – 3,3 m. Ezers atrodas kādreizējā Gulbenes deglaciācijas fāzes priekšledāja teritorijā. Kvartāra nogulumiežu virsmu ezera apkārtnē veido pēdējā apledojuļa glaciofluviālo nogulumu līdzenums, vietumis pazeminājumos uzkrājušies purvu nogulumu (LVĢD Kvartārģeoloģija). Uz austrumiem no ezera dažu simtu metru attālumā sākas Gulbenes deglaciācijas fāzes ledāja marginālā grēda, ko veido sakrokoti ledāļušanas ūdeņu nogulumu, līdz ar to ezera austrumu un ziemeļaustrumu pusē reljefs ir lēzeni paugurots (skat. 2.5. att.). Lielais Vipēdis atrodas marginālās grēdas priekšledāja pusē. Ezera krasti daudzviet ir zemi, purvaini un aizauguši krūmiem.

Pēc hidroloģiskā režīma caurteces ezers, ietek divi grāvji un dienvidu galā iztek grāvis uz Auces upi. 1 kilometra rādiusā ap ezeru dominē mežu masīvi, kurus izraibina purvainas ieplakas, nelieli apaļas formas ezeriņi (Piemēram, Mazais Vipēdis), kā arī atsevišķi izcirtumi un atklātas teritorijas ar tūrumiem un viensētām.



2.5. Attēls. Lielais Vipēdis topogrāfiskajā kartē un kvartāra nogulumu kartē. Pa kreisi – Virsējie kvartāra nogulumu ezera apkārtnē (LVĢD Kvartārģeoloģija); pa labi – urbumu paraugu ņemšanas vieta ezerā (TOPO 50K 2. Kārta).

Lilastes ezers administratīvi atrodas Ādažu novadā, Ziemeļrietumu pusē tā krastam piekļaujas Carnikavas novads, ziemeļos – Saulkrastu novada Saulkrastu pagasts, austrumos – Sējas novads. Ezers atrodas 10 km uz dienvidrietumiem no Saulkrastu pilsētas Ezera apkārtnes ainavā nozīmīgu vietu ieņem lielie transporta koridori – rietumu līdz ziemeļu pusē mazāk par

100 no ezera ir valsts autoceļš Rīga-Ainaži (Tallina) un dzelzceļa līnija Rīga – Skulte. Ezera ziemeļrietumu krastā ir apdzīvota vieta Lilaste ar apm. 150 iedzīvotājiem, ziemeļu krastā vasarnīcu kompleks Ezerziedri (TOPO 10K LGIA)

Ezera virsmas līmenis ir 0,5 m v.j.l. (TOPO 50K 2. Kārta). Ezerdobe ieapaļa, izmēros 1,8 x 1,5 km, dienvidu daļā ezeram piekļaujas garš, šaurs līcis. Ezerā atrodas viena 0,08 ha liela sala (Ādažu novada.. 2017). Vidējais dziļums ir 2 metri, maksimālais 3,2 metri. Lilastes ezers atrodas aptuveni kilometru no Jūras, tos atdala līdz 20 m augstu piekrastes kāpu josla. Eolās kāpas veido zemes virsmas reljefu visapkārt ezeram (skat 2.6. att.). Ezera rietumu pusē zemes virskārtā sastopami Litorīnas jūras nogulumi – visa ezera teritorija atradusies Litorīnas jūras krasta seklūdēns zonā (LVĢD Kvartārģeoloģija), Kvartāra nogulumu slāņkopu veido arī Vislas apledoja morēna un Baltijas ledus ezera nogulumi (Stivrins 2018a).

Ezers pēc hidroloģiskā režīma ir caurteces. Starp ezeru un jūru esošo piekrastes kāpu joslu šķeļ no ezera iztekošās vien 1,7 km garās Lilastes upes paliene. Ietek Melnupe, kā arī 1 km garais līcis dienvidu daļā saņem ūdeni no blakusesošā Dūņezera (274 ha, lielāks par pašu Lilastes ezeru), kas arī ir Litorīnas laika lagūnu tipa ezers (Biedrība “Latvijas.. S.a.). 1 km rādiusā ap ezeru dominē piejūras priežu meži, ziemeļu pusē teritorijā starp ezeru un piejūras kāpām izvietota vasarnīcu un ciema apbūve, dažas atpūtas vietas ir arī ezera dienvidu piekrastē. Piekrastes mežus izrobo grants ceļi un elektrolīnijas, kā arī uz 1km austrumiem no ezera esošā Ādažu militārā poligona daļa.

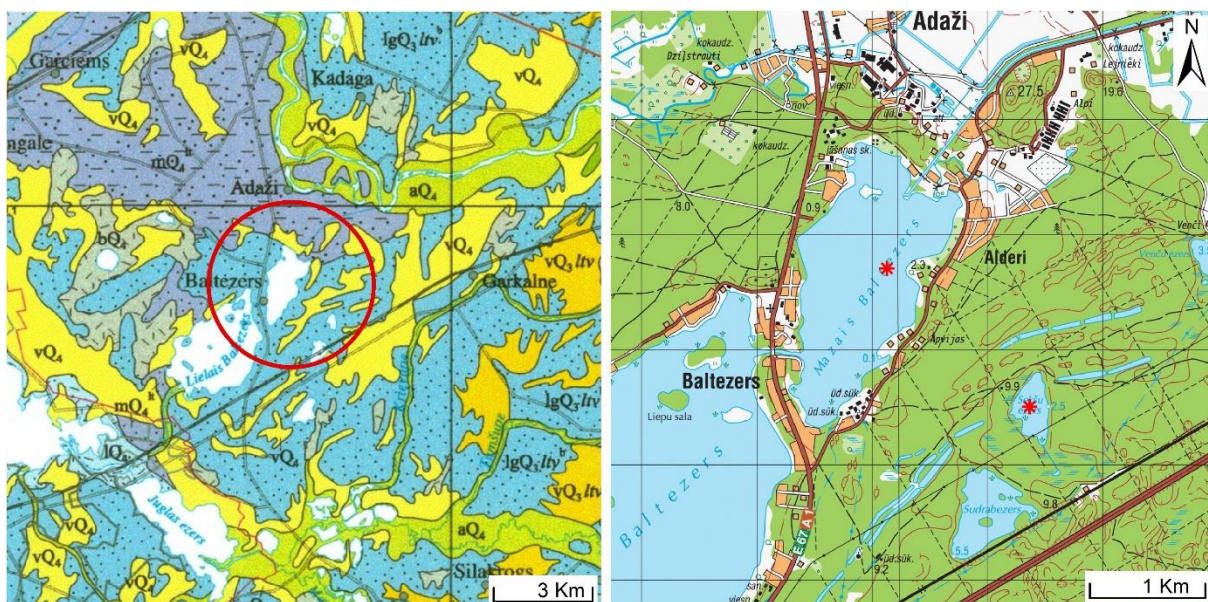


2.6. Attēls. Lilastes ezers topogrāfiskajā kartē un kvartāra nogulumu kartē. Pa kreisi – Virsējie kvartāra nogulumi ezera apkārtnē (LVĢD Kvartārģeoloģija); pa labi – urbumu paraugu ņemšanas vieta ezerā (TOPO 50K 2. Kārta).

Mazais Baltezers atrodas Ādažu novadā, 6,5 km uz austrumiem no Rīgas pilsētas Juglas apkaimes. Tā rietumu krastā atrodas apdzīvota vieta Baltezers, 1 km uz ziemeļiem no ezera – pilsēta Ādaži. Mazā Baltezera krasti ir blīvi apdzīvoti, šeit dominē privātmāju apbūve. Pie ezera ir vairākas peldvietas, labiekārtota peldvieta ir ezera ziemeļu krastā. Mazajam Baltezeram ļoti tuvu atrodas vēl viens šajā darbā apskatītais ezers - Sekšu ezers, tos šķir tikai 1,2 km. Starp abiem ezeriem atrodas Baltezera sūkņu stacija un ūdensapgādes zona, kurā tiek uzturēta un monitorēta gruntsūdeņu kvalitāte.

Ezera līmenis ir 0,1 m v.j.l. (TOPO 50K 2. Kārta); tā forma ir neregulāra, ziemeļ- dienvidu virzienā izstiepta, garums - 2,46 km un platums - 1,15 km, ezera ziemeļu daļā ir 0,08 ha liela saliņa. Vidējais dziļums 4,6 metri, maksimālais 10,3 metri. Dziļākais punkts atrodas lokālā ezera gultnes pazeminājumā (bedrē) pie pussalas austrumu pusē, šeit notika arī ezera nogulumu paraugu ievākšana. Ezers atrodas Piejūras zemienes Rīgavas līdzenumā, kvartāra nogulumu biezums ezera apkārtnē ir 40 – 60 m, to virsmu veido Baltijas ledus ezera, ziemeļu krastā – Litorīnas jūras smilšainie un smilšaini aleirītiskie nogulumi, dažviet – Holocēna eolie nogulumi, kas veido piejūras kāpu reljefu (skat. 2.7. att.). Ezers atrodas kārdeizējās Litorīnas jūras lagūnas ieplakā (Ādažu novada.. 2017).

Ezera ūdens apmainās vairākas reizes gadā, 1903. gadā izveidots 3 km garš kanāls pievada ezera ziemeļu galam ūdeņus no Gaujas upes, bet dienvidu galā 300 m garš kanāls (Baltezera kanāls) savieno to ar Lielo Baltezeru. Kanālus rokot, tika pazemināts ūdens līmeni ezerā un ierīkots jauns ūdensceļš no Gaujas uz Daugavu (Biedrība “Latvijas.. S.a.). Ūdensceļš 20. gs. sākumā izmantots koku pludināšanai uz Rīgas ostu, mūsdienās to tiek lietots peldlīdzekļu satiksmei (Tidriķis 1995). Ezera ūdenslīmenim raksturīgas vēja izraisītas svārstības, jo tas savienots ar Rīgas līci caur Baltezera kanālu. Ezera krasti ir blīvi apbūvēti, taču 1 km rādiusā ap ezeru dominē mežu teritorijas. Uz ziemeļiem no ezera atrodas arī vairākas industriālas ēkas un lauksaimniecības zemes.



2.7. Attēls. Mazais Baltezers un Sekšu ezers topogrāfiskajā un kvartāra nogulumu kartē. Pa kreisi – Virsējie kvartāra nogulumu ezera apkārtnē (LVĢD Kvartārģeoloģija); pa labi – urbumu un nogulumu uztvērēju paraugu ņemšanas vietas ezeros, pa kreisi redzams Mazais Baltezers un pa labi – Sekšu ezers. (TOPO 50K 2. Kārta).

Sekšu ezers (saukts arī par Sekšīti) atrodas Garkalnes novadā, 6 km no Rīgas pilsētas robežas, starp ciemu Baltezers un Vidzemes šoseju. Sekšu ezers atrodas Daugavas upju baseina apgabalā un pieder pie dzeramā ūdens ieguvei izmantojamiem virszemes ūdeņiem, kas iedalīti A1 kategorijā (MK noteikumi Nr. 118., 2002). Ezeru izmanto kā rezervuāru ūdenslīmeņa uzturēšanai blakusesošajā Baltezersa sūkņu stacijā, kas ir daļa no Rīgas pilsētas ūdensapgādes sistēmas, un uz ziemeļiem no ezera ir filtrācijas aku virkne. Ezeru ieskauj “Rīgas Ūdens” aizsargjoslas zona vairāku simtu metru rādiusā un nesankcionēta piekļuve ezeram ir aizliegta, tādējādi tas ir viens no tīrākajiem tuvējā apkārtnē.

Ezerdobei ir trijstūrveida forma, ezera garums ir 0,55 km, platums - 0,35 km, spoguļa platība ir 11,7 ha. Ezera virsma atrodas 2,5 m v.j.l. (TOPO 50K 2. Kārta). Sekšu ezera maksimālais dziļums ir 6 m, vidējais - 2,1 m. (Biedrība “Latvijas.. S.a.). Zemkvartāra nogulumu zem Sekšu ezera ir vidusdevona Gaujas svītas smilšakmeņi, kvartārsegas biežums ir ap 45m. kvartāra nogulumu virsmu veido baltijas ledus ezera glaciolimniskie nogulumu un holocēna eolie nogulumu. Ezeru ieskauj piekrastes kāpu reljefs. Ezera zemajā DR stūra krastā sastopami purvu nogulumu (skat. 2.7. att.). Ap ezeru dominē kāpu reljefs ar priežu mētrājiem, sastopami kadiķi. Krasti lēzeni, terasēti, gar tiem daudzviet izveidojušās jaunu lapu koku audzes. Sekšu ezers ir glaciokarsta izcelsmes (Biedrība „Latvijas.. S.a.). Literatūrā atrodams viedoklis, ka Sekšu ezers uzskatāms par Baltijas ledus ezera reliktu (Vasmane, 2007). Tas novietots joslā

starp Baltijas ledus ezera un Litorīnas jūras senkrastiem un savulaik šī ezera vietā ir skalojies Baltijas ledus ezers, taču tas diezin vai skaidro dziļās ezerdobes izcelsmi.

Sekšu ezeram nav virszemes noteces, ūdens līmeni ar pazemes ūdens līmeni regulē Baltezera sūkņu stacija. Sūkņu stacijas darbība laika gaitā izraisījusi lielas īslaicīgas un ilglaicīgas ezera ūdenslīmeņa svārstības līdz pat 3,5 m apmērā (Buzajevs et al., 1997), kas nelabvēlīgi ietekmē ezera vidi (Zawiska et al., 2020). Ezera tuvāko apkārtni aizņem skrajš priežu mežs, Sudrabezers un Baltezera sūkņu stacijas sateces baseini. Tuvākā apbūve ir privātmājas Mazā Baltezera krastā 1 km attālumā un dzelzceļš Rīga- Sigulda 500 m uz dienvidaustrumiem no ezera.

Pinku ezers (Saukts arī Pinķu, Leismaču ezeru) administratīvi atrodas Kuldīgas novada Ēdoles pagastā. Novietojums – 500 m uz dienvidaustrumiem no reģionālas nozīmes autoceļa Kuldīga – Jūrkalne, 2 km uz dienvidiem no apdzīvotas vietas Ēdole ar apm. 370 iedzīvotājiem. Ezera piekraste ir maz apdzīvota un cilvēka ietekme uz to līdz šim ir bijusi maza, ezera ekoloģiskais stāvoklis šobrīd ir stabils, ūdens kvalitāte un caurredzamība ir ļoti laba, ūdens mīksts (ar mazu minerālvielu saturu). Ezera krastos ir dažas peldvietas, kuru tuvumā vērojama krasta erozija un ūdensaugu audžu nobradāšana (Dabas parka.. 2004). Ezera dienvidu krastā esošās zemes izmantotas intensīvajā lauksaimniecībā Latvijas brīvvalsts laikā un Padomju periodā. Pēdējā tikusi uzcelta cūku kūts ezera sateces baseinā esošā Vepru ezera krastā. Virca no kūts tecējusi Vepru ezerā, ievērojami pasliktinot tā vides kvalitāti un, iespējams, ietekmējot arī Pinku ezeru (Dabas parka.. 2004)

Ezera līmenis ir 53,6 m v.j.l. (TOPO 50K 2. Kārta); Ezers izvietojies ziemeļrietumu – dienvidaustrumu virzienā stieptā subglaciālajā vagā (Lūmane 1997, Ģeomorfoloģiskā karte), līdz ar to arī ezerdobe izstiepta, tās garums ir 1,2 km un platums līdz 0,37 km. gultne stipri nelīdzena – liels dziļums (līdz 20 m) konstatēts nelielā apvidū ziemeļrietumu stūrī, kur tika iegūta nogulumu serde, bet ezera vidējais dziļums ir 5 metri. Ezera ziemeļu galu šķeļ pussala, bet dienvidu galā purvainš zemums atdala Pinku ezeru no nelielā, purvainā Bezdībeņa ezera, kurš principā atrodas tajā pašā ezerdobē (Dabas parka..). Kwartāra nogulumu segas biezums 20 līdz 60 m; Kwartāra nogulumu virsmu veido Latvijas apledošanas glaciofluviālie, netālu arī morēnas nogulumi (skat. 2.8. att.).

Ezera aizsardzībai 2004. gadā izstrādāts tā dabas aizsardzības plāns. (Dabas parka..). Bez piederības reti sastopamajiem oligotrofajiem ezeriem tas ir viens no trijiem lobēliju – ezereņu tipa ezeriem Rietumlatvijā un viens no nedaudzajiem Latvijā, kur bagātīgi sastopama pamīšziedu daudzlape un vienziēda krastene. Ezera sateces baseina platība ir 1,7 km², 30% no tā aizņem meži un 17% - citi ezeri, bet lielāko daļu baseina aizņem lauksaimniecības zemes, lielākoties ganības, ezera tuvumā izvietojušās vairākas viensētas.



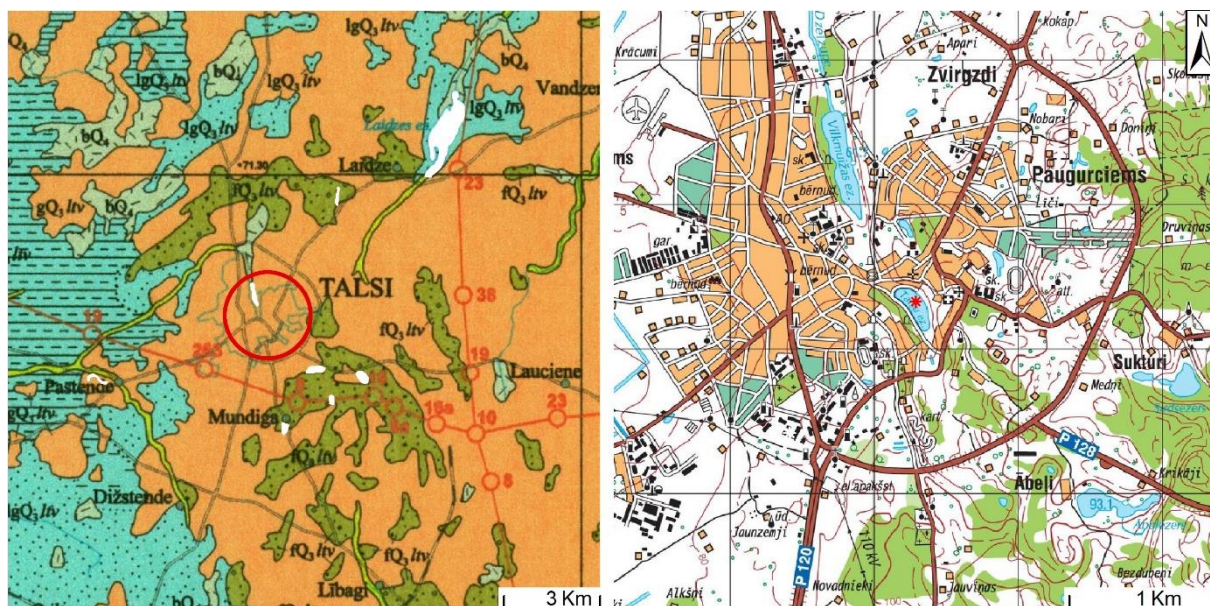
2.8. Attēls. Pinku ezers topogrāfiskajā un kvartāra nogulumu kartēs. Pa kreisi – Virsējie kvartāra nogulumu ezera apkārtnē (LVĢD Kvartārģeoloģija); pa labi – urbumu paraugu ņemšanas vieta ezerā (TOPO 50K 2. Kārta).

Talsu ezers administratīvi atrodas Talsu novadā, Talsu pilsētas dienvidu daļā. Ezera ziemeļu krastā atrodas Talsu pilsētas vēsturiskais centrs. Reljefs ap ezeru stipri cilvēka ietekmēts līdzinot un terasējot zemes virsmu infrastruktūras objektiem. Iela (Fabrikas iela) un gājēju celiņš iet tieši gar ezera rietumu krastu dažū m attālumā no tā. Ezers jau izsenis ticis piesārņots ar Talsu pilsētas notekūdeņiem, tas pazīstams ar tā mazo caurredzamību, kura vasarā ir viena no mazākajām Latvijā, pat tikai 20 cm. Raksturīga ļoti intensīva un ilgstoša aļģu ziedēšana. (Līcīte 2001).

Talsu ezera līmenis ir 64,1 m v.j.l. (TOPO 10K PSRS); ezerdobe stiepta DDA-ZZR virzienā, 0,36 km gara un 0,12 km plata. Ezera maksimālais dziļums ir 16,5 m, bet vidējais – 11,6 m, ievērojams dziļums tik nelielam ezeram. Reljefs ezera apkārtnē ir ļoti saposmots - to ieskauj stāvi pauguri, kuru relatīvais augstums no ezera virsmas sasniedz 32 m. Zemes virsmu ezera tuvumā veido Latvijas apledošanas morēna (skat. 2.9. att.). Ezers atrodas ziemeļu – dienvidu virzienā vērstas Subglaciālās iegultnes dziļākajā daļā, kura izvietojusies Talsu pauguraines nogāzes daļā. (Tidriķis 1998; LVĢD Kvartārģeoloģija). Kvartāra segas biezums Talsu paugurainē uz austrumiem no ezera ir ļoti liels un svārstās no 80 līdz 100 m un vairāk. Šos nogulumus veido Latvijas apledošanas morēna un sakrokoti ledāja kušanas ūdeņu nogulumu – smilts un grants, ledājkūšanas ūdeņu slāņkopu biezums ir līdz vairākiem desmitiem metru (Strautnieks 1998).

Ezeram ir vāja caurtece. Tajā ieplūst lietus ūdeņi no apkārtnējo pauguru nogāzēm un dienvidu galā esošā grāvja, vairākās vietās krastā izplūst avoti un avoksnāji. Ziemeļu galā ir

mākslīgi izveidota pazemes notece uz netālu esošo Vilkmuižas ezeru (Indriksone 2017). Ezera baseinā dominē urbāna vide, bet teritoriju uz dienvidiem no ezera aizņem galvenokārt parki.

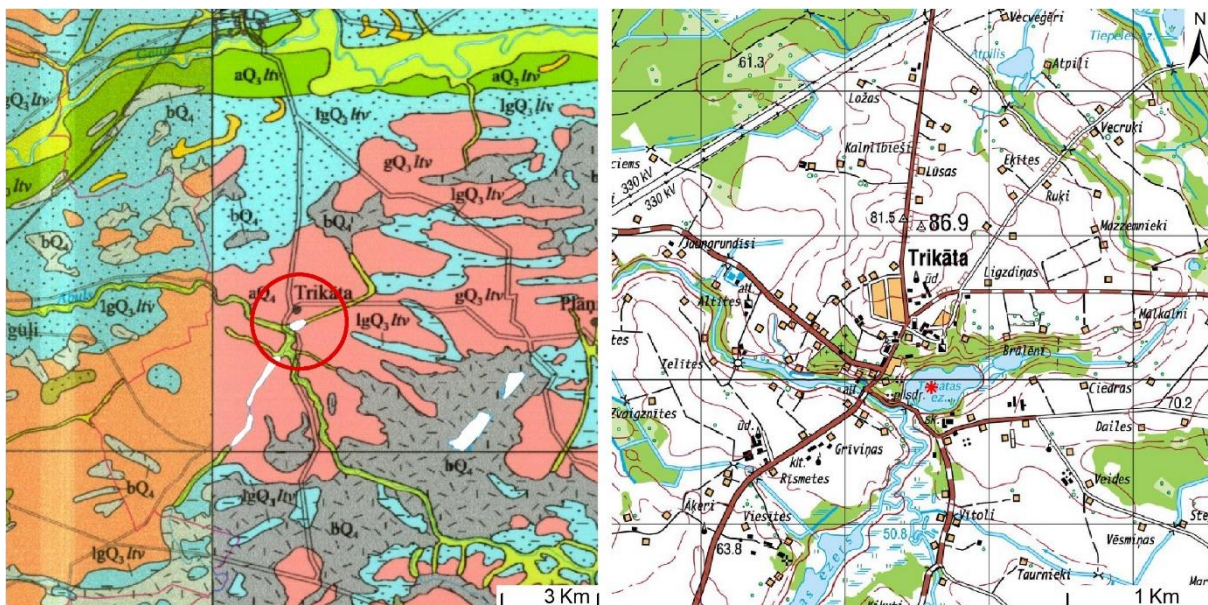


2.9. Attēls. Talsu ezers topogrāfiskajā kartē un kvartāra nogulumu kartē. Pa kreisi – Virsējie kvartāra nogulumu ezera apkārtnē (LVĢD Kvartārģeoloģija); pa labi – urbumu paraugu ņemšanas vieta ezerā (TOPO 50K 2. Kārta).

Trikātas ezers administratīvi atrodas Beverīnas novada Trikātas pagastā. Ezers atrodas 17 km uz austrumiem no Valmieras pilsētas, to ieskauj apdzīvota vieta Trikāta ar apm. 300 iedzīvotājiem. Ezers ir ļoti piesārņots, vēsturiski piesārņojums ezerā nonācis ar pienotavas un cūku fermas notekūdeņiem. Vēl 21. gs. piesārņošana notikusi ar Trikātas pamatskolas notekūdeņiem un mehāniski attīrītiem siera rūpnīcas notekūdeņiem (Biedrība “Latvijas.. S.a.). Mūsdienās atjaunojusies piena pārstrdes rūpniecība Trikātā, bet nav informācijas par tās piesārņojošo ietekmi.

Ezera virsma ir 50 m v.j.l. (TOPO 10K PSRS). Ezerdobe ir ovālas formas, 0,54 km gara un 0,31 km plata, tā izvietojusies rietumu - austrumu virzienā gari stieptā pazeminājumā, kas ir glaciālas izcelsmes (Ģeomorfoloģiskā karte). Ezera krasti pret vagas nogāzēm ir stāvi, ezera rietumu un austrumu pusē lēzeni un purvaini. Zemes virskārtu ezera apkārtnē klāj Latvijas (Vislas) apledojuuma morēna, bet ezeru ietverošajā vagā zemes virskārtā uzkrājušies Holocēna upju nogulumu. (skat. 2.10. att).

Ezerā ietek strauts no austrumu puses un daudzi avoti, bet rietumu pusē iztek grāvis, kas to savieno ar upi Abuls (Biedrība “Latvijas.. S.a.). Iegultne ap ezeru ir purvainā un aizaugusi ar krūmiem un kokiem, taču plašākā apkārtnē ap ezeru dominē atklāta ainava, ko veido aramzemes un viensētu, ciema apbūve ar arsevišķām lielākām industriālajām ēkām.



2.10. Attēls. Trikātas ezers topogrāfiskajā kartē un kvartāra nogulumu kartē. Pa kreisi – Virsējie kvartāra nogulumu ezera apkārtnē (LVĢD Kvartārģeoloģija); pa labi – urbumu paraugu ņemšanas vieta ezerā (TOPO 50K 2. Kārta).

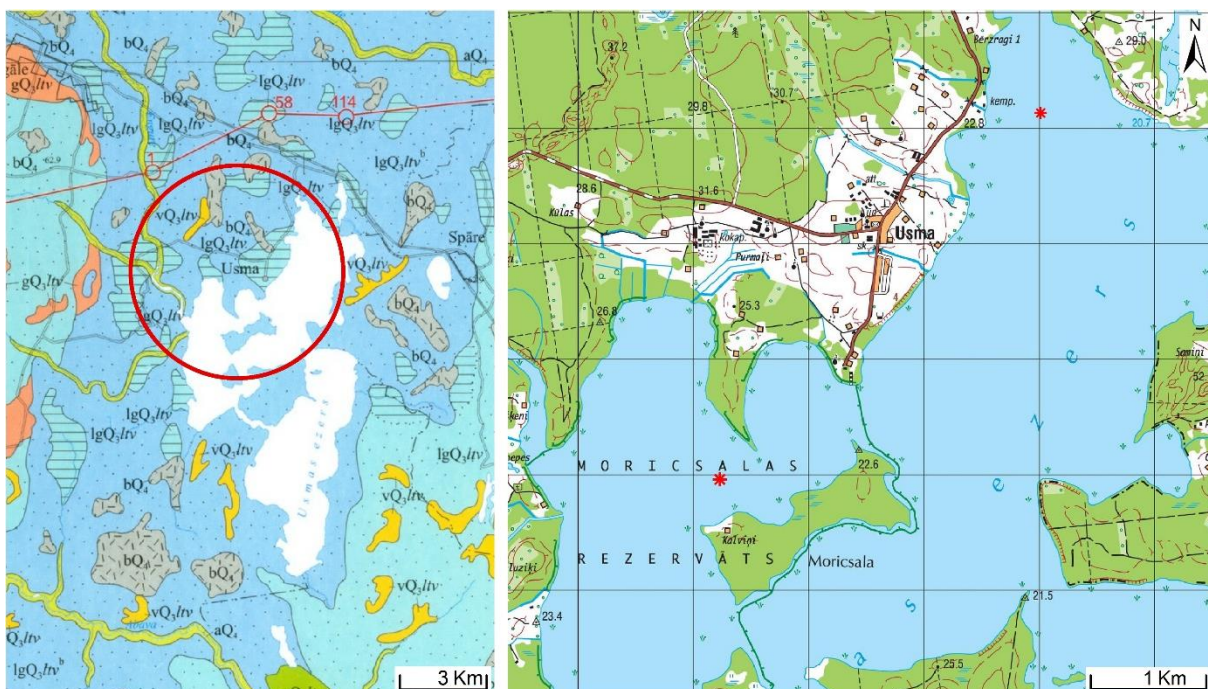
Usmas ezers pēc platības ir piektais lielākais ezers Latvijā (virsmas laukums 37,3 km²). Darbā iegūtie dati neatspoguļo visu tā ekosistēmu, vien lokālas tendences. Administratīvi Usmas ezers atrodas Ventspils novada Usmas pagastā, tā krasti robežojas ziemeļaustrumu pusē ar Talsu novada Ģibuļu pagastu un dienvidaustrumu pusē ar Kuldīgas novada Rendas pagastu. Novietojums – ezera ziemeļu gals atrodas 1 km uz dienvidrietumiem no valsts autoceļa Rīga-Ventspils, 50 km no Ventspils pilsētas un 25 km no Talsu pilsētas. Ezera ziemeļaustrumu piekrastē atrodas ciems Usma, citas apdzīvotas vietas tā krastos ir Amjūdze, Āpciems un Tiezumi (TOPO 10K LĢIA). Ezerā darbojas jahtu bāze, tā krastos ir ap 14 kempingu, tam ir ievērojama nozīme tūrismā un komerciālajā zvejniecībā. Tomēr ezera vide ir samērā naskarta, lielāko daļu tā baseina un krastu aizņem meži. No Usmas ezera platības 8,15 km² aizņem Moricsalas dabas rezervāts, kurā ietilpst Moricsala, Lielalksnīte un ezera A daļas akvatorija jeb Luziķertes līcis (daba.gov.lv).

Ezera līmenis ir 20,7 m v.j.l. (TOPO 50K 2. Kārta). Ezers ir ļoti liels, tā garums ir 13 km, platums 6,1 km. Maksimālais dziļums ir 27 m, vidējais – 5,4 m, kas padara Usmas ezeru par 2. lielāko Latvijā pēc tilpuma. Urbumu seržu paraugi nav iegūti ezera dziļākajā vietā, tie ņemti divās dziļās, bet vieglāk pieejamās ezera vietās. Paraugs Usma-1 iegūts līcī ezera ziemeļu galā, netālu no Usmas ciema, kur salīdzinoši lielāka cilvēka ietekme (lauksaimniecība, apdzīvotas vietas, atpūtas vietas). Paraugs Usma-2 ņemts Moricsalas rezervāta teritorijā, ezera rietumu daļā, ap 200 m uz ziemeļiem no Moricsalas rietumu gala, šī ezera daļa ir samērā norobežota no

pārējā ezera ar šaurumiem starp ezera krastu un salām un cilvēka ietekme mūsdienās šeit ir minimāla rezervātā noteikto ierobežojumu dēļ. Tajā atrodas četras salas, ezera platība kopā ar salām ir 41,4 km²; salas kopā aizņem 4,3 km², starp tām ir Latvijas lielākā ezersala – Viskūžu sala. (Pārējās - Moricsala, Lielalksnīte, Mazalksnīte). Usmas ezers izvietojies plašā ledāja Usmas loba radītā glaciodepresijā, kas atrodas Ugāles līdzenuma centrālajā daļā. Tas ir paliku ezers, izveidojies pēc Baltijas ledus ezera III stadijas regresijas (Kalniņa 2020, Strautnieks 2018). Ezera gultne ir nelīdzena, tajā ir daudz bedru un sēkļu. Dziļākā vieta – 27 m ir ezera dienviddaļā, bet sašaurinājumam starp Viskūžu salu un ezera krastu (Amjūdzupe) ir stāvas zemūdens nogāzes.

Zemes virsmu Usmas ezera krastos un tuvējā apkārtnē veido lielākoties Baltijas Ledus ezera pārsvarā smilšainie nogulumi. Atsevišķos laukumos pie ezera zemes virskārtā sastopami Augšpleistocēna glaciolimniskie nogulumi – māli, piemēram, Usmas ciema teritorijā. Dažviet ap Usmas ezeru atrodami Holocēna eolie nogulumi – iekšzemes kāpu masīvi, kā arī purvu nogulumi (skat. 2.11 att.).

Ezers ir ar vāju caurteci, tajā ietek 11 nelielas upītes - Tīrukšupe, Kāņupe u.c. Iztek Engures upe (TOPO 10K LĢIA; Kalniņa 2020). Ezera baseins ir salīdzinoši neliels – 429 km², tuvāko teritoriju ap ezeru klāj purvainu mežu masīvi, intensīvi apsaimniekoto mežu un izcirtumu mija un reti klajumi ap ciemiem, viensētām un atpūtas vietām pie ezera.



2.11. Attēls. Usmas ezers topogrāfiskajā un kvartāra nogulumu kartēs. Pa kreisi – Virsējie kvartāra nogulumi ezera apkārtnē (LVĢD Kvartārgeoloģija); pa labi – urbumu paraugu ņemšanas vietas ezerā (TOPO 50K 2. Kārta).

Velnezers ir 2,64 ha liels ezers Rīgas pilsētas ziemeļaustrumu daļā, Juglas apkaimē. Velnezers atrodas blīvi apdzīvotā apvidū un to ieskauj piecstāvu un deviņstāvu dzīvojamā apbūve. Atsevišķas ēkas atrodas vien dažu desmitu metru attālumā no ezera krasta. Dzīvojamā apbūve ap ezeru uzcelta 1960tajos – 1980tajos gados, Rīgas pilsētai paplašinoties, šajā laikā reljefs ap ezeru tika nolīdzināts (Lūmane, 1998).

Velnezera virsmas līmenis ir 4,6 m v.j.l. (TOPO 10K PSRS). Tā garums ir 0,27 km, platums 0,13 km, platība 2,5 ha. Ezers ir dūņains, ar lēzeniemi krastiem, bet stāvām zemūdens nogāzēm un salīdzinoši lielu maksimālo dziļumu 7,4 m; vidējais dziļums 4,1 m (Dručka, 2014). Kvartārsegas biežums Velnezera atrašanās vietā ir ap 35 m, tās virsējo daļu pārsvarā veido Baltijas ledus ezera glaciolimniskie nogulumu (skat. 2.12. att.).



2.12. Attēls. Velnezers topogrāfiskajā un kvartāra nogulumu kartē. Pa kreisi – Virsējie kvartāra nogulumu ezera apkārtnē (LVĢD Kvartārģeoloģija); pa labi – urbumu un nogulumu uztvērēju paraugu ņemšanas vieta ezerā (TOPO 50K 2. Kārta).

Ezeram nav ieteku vai izteku, ūdens pieplūde tajā notiek galvenokārt no gruntsūdeņiem (Lūmane, 1998). Ezera ūdeni iekrāso brūnu tajā esošie tanīni (humusvielas), kuri izšķīst no gultnē esošajiem kūdras slāņiem, līdz ar to redzamība ezera ūdenī ir slikta. Ezers mezotrofs, ar mīkstu ūdeni. Peldošo un iegremdēto ūdensaugu Velnezērā nav gandrīz nemaz. Ezera apkārtni veido urbāna teritorija ar cilvēka ietekmētu kāpu reljefu, kāpas sākotnēji veidojušās holocēnā pēc Baltijas ledus ezera atkāpšanās. Uz dienvidiem no ezera ir vairākus ha liela parkveida meža platība, tās austrumu daļā ir neliela purvainā ieplaka.

3. MATERIĀLI UN METODES

Lai iegūtu plašāku izpratni par sedimentācijas procesiem 20. un 21. gs., bakalaura darba autors papildus saviem pētītajiem ezeriem aplūkoja arī iepriekš pētīto ezeru datus. Kopumā no 12 šajā darbā apskatītajiem ezeriem sešus ezerus pētījis šī darba autors un sešus ezerus pētījuši citi pētnieki pēdējo 10. gadu laikā (skat. 1. tabulu). Papildus bakalaura darba autora veiktajām karsēšanas zudumu analīzēm, visi pieejamie rezultāti no Āraišu, Bricu, Ķikuru, Lielā Vipēdes, Lilastes un Trikātas ezeriem tika izgūti no iepriekšējiem pētījumiem (skat. 1. tabulu). Pēc karsēšanas zudumu metodes un hronoloģijas datiem ezeri tika savstarpēji salīdzināti. Papildus šiem datiem Sekšu ezerā un Velnezerā darba autors veica izpēti ar nogulumu uztvērējiem, lai novērtētu viena gada laikā uzkrāto nogulu apjomu un sastāvu un jaunākās nogulumu uzkrāšanās tendences šajos ezeros.

Šajā nodaļā vispirms tiks izklāstīta lauka darbu un paraugu ievākšanas metodika, pēcāk aprakstīta paraugu apstrādes laboratorijas apstākļos metodika. Nodaļas beigās aprakstīta iegūto datu apstrāde, izmantojot primāro komponentu analīzi.

3.1. Lauka darbi

Darbā izmantotās lauka darbu metodes paraugu ievākšanai ir nogulumu uztvērējs, nogulumu urbšana/paraugošana ar gravitācijas tipa urbi un caurredzamības mērīšana ar Seki disku. Darba autors piedalījās nogulumu uztvērēju pārbaudē un ievietošanā 28.08.2019. un uztvērēju izņemšanā 17.01.2020. Pārējos caurredzamības mērījumus šajos ezeros autors un Latvijas Hidroekoloģijas institūta speciālisti veica ezeru monitoringa laikā 2019. gada aprīlī, jūnijā, oktobrī, novembrī un decembrī.

Autors piedalījās nogulumu paraugošanā Talsu, Usmas un Pinku ezeros. Lauka darbi notika no 28.08.2019. līdz 29.08.2019., paraugi tika iegūti 12 m dziļumā Talsu ezerā, 6 m dziļumā Usma-1 un 5,1 m dziļumā Usma-2 paraugiem un 17 m dziļumā Pinku ezerā.

Sekšu, Velnezerā un Mazajā Baltezerā nogulumu seržu paraugus ievāca Latvijas Hidroekoloģijas Institūta speciālisti 13.-14.02.2019. no ledus. Nogulumu serdes iegūtas attiecīgi 6,07 m, 6,24 un 9,90 m dziļumā. Tallinas Tehnoloģiju Universitātes pētnieki ievāca Lilastes ezera nogulumu paraugus 2012. un 2013. gada pavasarī, kā arī Āraišu un Trikātas ezeru nogulumus 2012. gada martā attiecīgi 12,3 m un 4,0 m dziļumā, un Ķikuru ezera nogulumu urbšana notika no ledus 2013. gada martā. Latvijas Universitātes zinātnieki ievāca Bricu un Lielā Vipēža nogulumus 11.-12.08.2018.

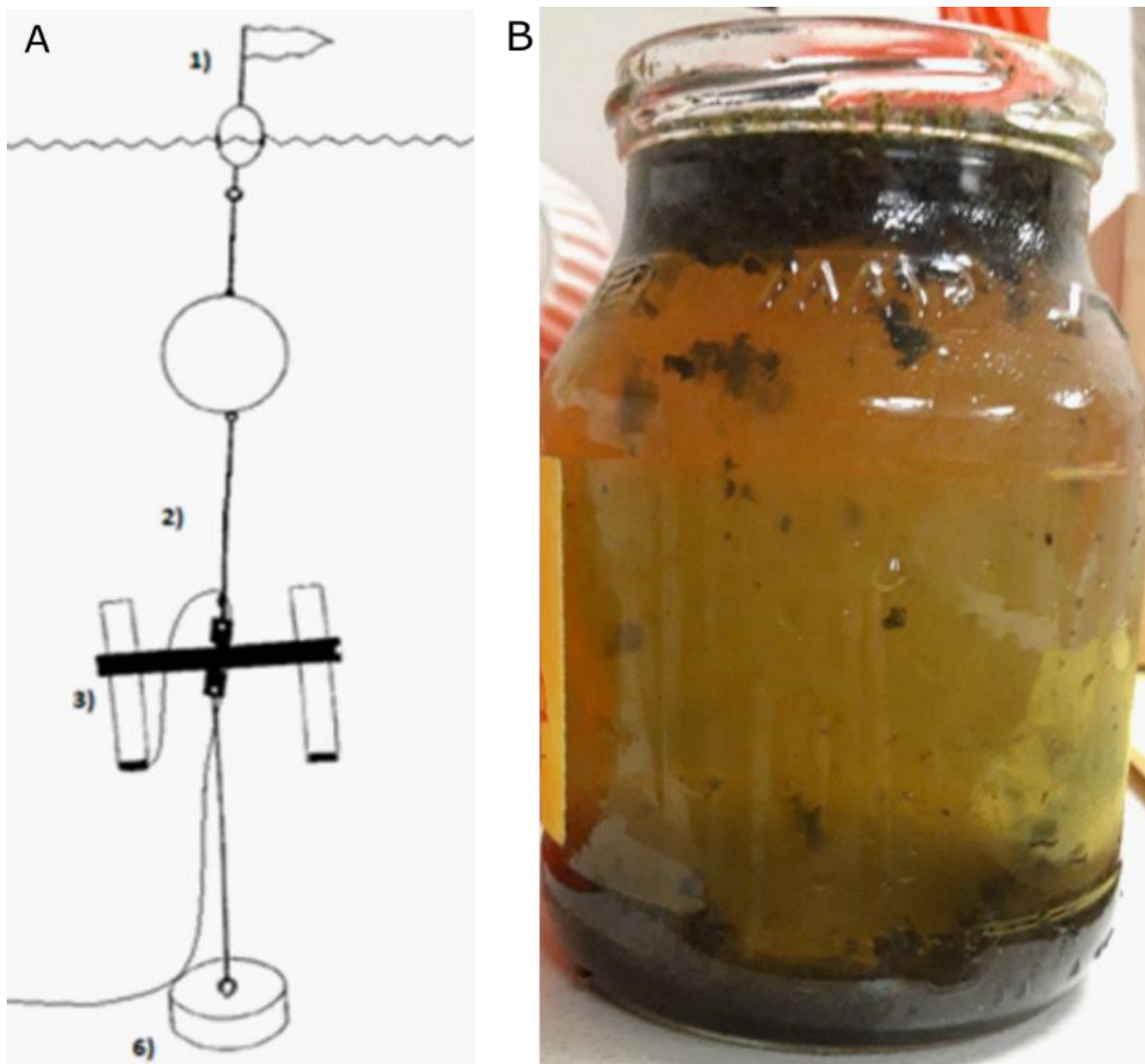
3.1.1. Nogulumu uztvērēji

Nogulumu uztvērēji tika izvietoti divos ezeros, kur viens atrodas aizsargātā teritorijā, bet otrs atrodas urbānā vidē. Sekšu ezers atrodas aizsargjoslā ar mērķi saglabāt ezera ūdens kvalitāti un apjomu dzeramā ūdens ieguvei, bet Velnezers atrodas starp daudzstāvu dzīvojamo ēku pagalmiem un ir pakļauts cilvēku darbībai. Tie atrodas Rīgas pilsētas tuvumā uz ZA no Rīgas centra. Attālums starp ezeriem ir 10 km. Velnezers atrodas Rīgas pilsētas Vidzemes priekšpilsētas Juglas apkaimē (3.12. attēlā), bet Sekšu ezers Pierīgā, Garkalnes novadā (3.7. attēlā). Atšķirīgās teritorijas izvēlētas, lai novērtētu iespējamo cilvēku darbības un aizsardzības pasākumu ietekmi uz ezeriem un nogulumu uzkrāšanās apjomu, un sastāvu.

Nogulumu (šajā gadījumā tieši nogulu) uztvērējs ir mehāniska ierīce, kas tiek izvietota ezera piegultnes daļā ar mērķi uztvert un uzkrāt tā darbības laikā izgulsnējušos nogulumus. Šī ir izplatīta sedimentācijas procesu pētījumu metode, kas ļauj novērtēt nogulumu uzkrāšanās apjomus, sastāvu un to izmaiņas konkrētā laika periodā, piemēram, viena gada garumā. Literatūras avotos ir atrodama informācija par nogulumu uztvērēju izmantošanu jau vismaz kopš 20. gs. vidus; to metodoloģiju izvērtējis un apkopojis, piemēram, Kirčers (Kircher 1974). Nogulumu uztvērējs pamatā sastāv no apakšā noslēgtas cilindra formas caurules, kura atrodas vertikālā stāvoklī ūdens kolonnā starp smagu enkuru un pludiņu un uztver nogulumus, kuri iekrīt tajā pa vaļējo augšējo galu (Håkanson, et al. 1989). Izmantotā nogulumu uztvērēja konstrukciju veido divas 60 cm garas plastikāta caurules ar iekšējo diametru 5,62 cm, kuras simetriski iestiprinātas metāla statīva priekšējā daļā. Statīva pozīciju regulē tā aizmugurē vertikāli piestiprināta plastikāta plāksne jeb "stūre", kura nodrošina iekārtas stabilitāti nelielas ūdens plūsmas apstākļos, kā arī notur brīvi rotējošo iekārtu paralēli ūdens plūsmai, tādējādi iekārtas priekšējais gals ar uztvērēja caurulēm vērsts pret ūdens plūsmu un caurules atrodas viena otrai blakus. Uztvērēja caurules piestiprinātas tā, ka tās var brīvi šūpoties statīvā, sekojot straumes izmaiņām, bet caurules vertikāli notur nelieli atsvari to apakšdaļā. Uztvērēja statīvu savieno ar smagu enkuru un pludiņu tā, lai statīvs būtu novietots mazāk par metru virs ezera gultnes, bet neiegrimtu nogulumos. Boja virs uztvērēja noder tā atrašanai un izcelšanai no ūdens (skat. 3.1.A att.). Šajā pētījumā, lai novērstu peldētāju un maksšķerņieku izraisītu uztvērēju iztraucēšanu, boja tika novietota vismaz metru zem ūdens virsmas.

Optimālu sedimentācijas apstākļu nodrošināšanai un labākai salīdzināšanai uztvērēju novieto pie pašas ezera gultnes ezera dziļākajā daļā, pēc iespējas tuvāk gravitācijas uršanas paraugu iegūšanas vietai. Dziļākajā ezera daļā ir arī vismazākā viļņošanās un straumju ietekme un notiek ūdenī suspendēto nogulu fokusēšanās no seklākām ezera daļām. Iegūtais uztvērēja paraugs katrā ezerā ir viss vienas caurules saturs (1,5 litri), otras caurules saturs tika izmantots

citiem pētījumiem. Nogulumu uztvērēja paraugu veido pārsvarā ūdens ar ūdeni piesātinātām nogulām caurules apakšējā daļā (skat. 3.1.B att.).



3.1. att. – A. Nogulumu uztvērēja uzbūves shēma. 1) Boja uztvērēja atrašanās vietas apzīmēšanai un uztvērēja izcelšanai. 2) savienošā virve un pludiņš, kas notur konstrukciju vertikāli. 3) uztvērēja statīvs ar caurulēm nogulumu uztveršanai (skatā no priekšas, “stūre” atrodas aiz statīva) 6) smags atsvars, kas notur iekārtu uz vietas. Attēla avots: (Johansson, 1978). B– nogulumu uztvērēja parauga apakšējā (nogulām piesātinātākā) daļa.

Nogulumu uztvērēji bez pārtraukuma atradās ezeros no 02.2019. līdz 01.2020. (ieskaitot). Nogulumu uztvērējos uzkrājās no 14.02.2019. līdz 22.08.2019. (pavasaris) un no 22.08.2019. līdz 17.01. 2020. (rudens), uztvērējiem tiekot iztukšotiem katra perioda beigās (Robežnieks, 2020). Lai izceltu nogulumu uztvērējus no ūdens sliktas redzamības apstākļos, no laivas tika nolaista virve ar atsvariem un āķi galā, ar kuru, laivai turpinot kustību, tika mēģināts aizķert

uztvērēja boju un to iecelt laivā. Pēc izcelšanas uztvērēja caurules tika izņemtas no statīva un to saturs izliets sterilās stikla burkās. Caurules tika pārskalotas ar pēc iespējas nelielu daudzumu ezera ūdens, kas tika pievienots paraugam; pie cauruļu sienām piestiprinājušies organismi, tādi kā aļģes, gliemji un hidras, netika pievienoti parauga saturam, jo pārsvarā apdzīvo peldošus objektus, nevis nogulumus. Burkas ar paraugiem tūlīt pēc piepildīšanas tika aizvāktas. Augusta mēnesī uztvērēja caurules tūlīt pēc iztukšošanas tika novietotas atpakaļ statīvā un iegremdētas tajā pašā vietā tālākai parauga uzkrāšanai.

3.1.2. Nogulumu paraugošana ar gravitācijas urbšanas metodi

Lai iegūtu virsējo, nekonsolidēto ezera nogulumu paraugus seržu veidā, izmantoja gravitācijas tipa urbi. Vasarā paraugošana tika veikta Lielajā Vipēdes, Pinku, Talsu un Usmas ezeros. Paraugošana vasarā notika no laivas. Ziemā paraugi tika iegūti Mazajā Baltezerā, Sekšu un Velnezerā. Paraugu ieguve ziemā no ledus tehniski ir vienkāršāka, jo paraugi tiek iegūti caur aļiņģi un ir stabils pamats darba veikšanai (ledus). Ziemā ir arī mazāka iespējamība piesārņot paraugus ar putekšņiem vai aļģēm, jo to aktivitāte šajā laikā ir zema (Glen et al 2001). Parauga iegūšanas gadalaiks neietekmē šajā pētījumā iegūtos rezultātus, pie tam sezonālās svārstības ezera vidē neietekmē dziļākus nogulumu slāņus, jo tie nav aktīvā apmaiņā ar ezera ūdeni (skat. nodaļu “nogulumu pēcsedimentācijas izmaiņas”).

Lai iegūtu priekšstatu par nogulumu uzkrāšanos vairākos ezeros ar tādu paraugu daudzumu, kuru ir iespējams apstrādāt šī un citu darbu ietvaros, katrā ezerā tika iegūta tikai viena nogulumu serde (Usmas ezerā – divas). Lai varētu ezerus objektīvi salīdzināt, serdes tika iegūtas ezeru visdziļākajās daļās, kas ir ierasta prakse limnoloģijā un paleolimnoloģijā (Grudzinska et. al 2017, Stivrins 2018a, Saks 2010, Rose 2011). Ņemot vērā nogulumu fokusēšanās principu, ezera dziļākajā vietā ir salīdzinoši lielāks nogulumu uzkrāšanās apjoms un līdz ar to detalizētāks griezumam (skat. nod. “Ezera sedimentācijas vide”).

Gravitācijas tipa urbi veido plastikāta caurule ar nosmailinātu apakšējo malu (šajā gadījumā ap 6 cm diametrā), kura iestiprināta statīvā kopā ar atsvariem. Statīvā iebūvēts mehānisms caurules augšējā gala noslēgšanai no ūdens virsmas, radot caurulē vakuumu parauga izcelšanai. Lai iegūtu paraugu, gravitācijas tipa urbi ar nenoslēgtu cauruli uzmanīgi iegremdē ūdenī, turot aiz virves. Kad sasniegta nogulumu virsma, urbi turpina laist uz leju, un tas iespiežas nogulumos ar savu smagumu. Kad urbis ir apstājies (atsprieģojas virve, aiz kuras tas tiek turēts), pa virvi nolaiž atsvaru, kas iedarbina caurules aizvēršanas mehānismu, caur ūdeni ir dzirdams kluss klakšķis, kas nozīmē, ka sistēma ir veiksmīgi noslēgta. Tad urbi paceļ līdz ūdens virsmai un, saglabājot vertikālu stāvokli, iespējami ātri noslēdz paraugošanas

caurules apakšējo atveri ar korķi. Cauruli ar tajā esošo ūdeni un paraugu izņem no urbja statīva un, turot vertikāli, nogādā krastā (skat. 3.2. attēlu). Šī uzdevuma veikšanai vēlams, lai laivā būtu vismaz 2 cilvēki.



3.2. attēls. Parauga iegūšana no laivas ar gravitācijas tipa urbi. Priekšplānā redzams urbja statīvs, fonā redzama caurule ar ievākto paraugu. Sākot no kreisās N.Stivriņš, M. Robežnieks un Inta Dimante-Deimantoviča. Fotogrāfijas autors: N. Stivriņš, 2019.

Iegūtie paraugi pēc nogādāšanas krastā tika sadalīti ik pa 1 vai 2 cm. Lielākajai daļai ezeru katrs centimetrs veido atsevišķu urbuma serdes paraugu, lai varētu analizēt nogulumu mainību vertikālā griezumā. Talsu ezera nogulumi tika sadalīti 1,5 cm biezos slāņos, bet Āraišu, Ķikuru, Lilastes un Trikātas ezeru paraugi – 2 cm biezos slāņos, līdz ar to datu izšķirtspēja ir salīdzināma. Dažiem ezeriem virsējie 2 cm nogulumu tika apvienoti vienā paraugā, jo tos nebija iespējams sadalīt sīkāk lielā piesātinājuma ar ūdeni dēļ.

Lai sadalītu nogulumu serdi, izmanto plastmasas uznavu, kuru uzliek urbja caurules galā un nogulumus pa centimetram spiež uz augšu uznavā, stumjot caurules apakšā esošo korķi iekšā caurulē (skat. 3.3. att.). Kad uznavā iespiests attiecīgā biezuma serdes fragments, uznavu

nobīda no caurules gala, nogriežot nogulumus starp caurules galu un uznavu, un iegūto paraugu pārvieto piemērotā sterilā traukā un marķē ar paraugošanas vietu un dziļumu no serdes virsmas.



3.3. attēls. Urbuma serdes sadalīšana lauka apstākļos. Redzams metāla statīvs, uz kura uzlikta caurule ar paraugu, ko spiež augšā esošajā uznavā un sadala pa centimetriem. Sākot no kreisās puses Inta Dimanta-Deimantoviča un Mārtiņš Robežnieks. Foto: N.Stivriņš, 2019.

3.1.3. Ūdens kolonnas caurredzamība

Caurredzamības mērījumi tika veikti Velnezērā un Sekšu ezerā, lai papildinātu datus par šo ezeru trofiskumu. Mērīšana tika veikta 2019. gada pavasara – rudens sezonā no laivas

nogulumu uztvērēju izlikšanas un ievākšanas laikā, kā arī citos mēnešos ezeru monitoringa laikā. Tam tika izmantots jūras tipa Seki disks: balts 30 cm diametra metāla disks, kas iesiets mērauklā ar garuma atzīmēm uz katriem 50 cm. Mērījums tika veikts pēc Latvijas ISO standartā aprakstītās metodikas (LVS ISO 5667-4): “*Ūdens caurredzamības mērījumus veic tikai laivas ēnas pusē. Seki disku iegremdē ūdenī un lēnām turpina tā iegremdēšanu līdz brīdim, kad tas vairs nav saskatāms. Šajā brīdī ūdens līmenī ar pirkstiem saspiež virvi (var lietot arī knaģi) un, turot šo vietu, iegremdē disku vēl apmēram 30–50 cm. Tad disku lēnām ceļ augšā līdz brīdim, kad tas atkal kļūst saskatāms, un ar pirkstiem ūdens līmenī saspiež virvi. Turot virvi abās vietās saspiež, disku ieceļ laivā. Nolasa “vidējo” rādītāju starp abiem caurredzamības mērījumiem (Izraksts no.. S.a.).*” Minētās metodikas izrakstā ir ieteikts mērījumiem izmantot tieši baltas krāsas jeb jūras tipa Seki disku.

Izmantojot autora veiktos caurredzamības mērījumus divos no ezeriem, iespējams aprēķināt Karlsona trofiskā indeksa (TSI) caurredzamības komponenti, kas var kalpot par kopējās TSI vērtības surogātu, lai arī Seki mērījums nav uzskatāms par precīzāko no trim TSI vērtības aprēķināšanā izmantotajiem parametriem (NALMS S.a.). Pēc (Carlson 1977) TSI caurredzamības komponenti (TSI S aprēķina sekojoši (formula 1):

$$(1) \quad TSI(SD) = 10 \left(6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right), \quad \text{saīsinot } TSI(SD) = 60 - 14,1 \ln(SD)$$

Kur SD ir caurredzamības mērījums, izmantojot Seki disku, m.

3.2. Laboratorijas metodes.

Darbā izmantotās paraugu laboratoriskās izpētes metodes ir karsēšanas zudumu metode, oglekļa un slāpekļa (C/N) analīze un nogulumu datēšana izmantojot svina (^{210}Pb) un cēzija (^{137}Cs) izotopus, sfērisko izdedžu karbonātisko daļiņu metodi (SCP) un tefrohnonoloģiju pēc Askjas vulkāna 1875. gada izvirduma pelniem.

3.2.1. Nogulumu uztvērēju paraugu priekšapstrāde

Nogulumu uztvērēju paraugi satur lielu ūdens apjomu, kurš tika iztvaicēts laboratorijas žāvskapī +50 °C temperatūrā, samazinot parauga apjomu līdz apm. 50 ml. tilpumam. Žāvēšana notika traukos, kuros paraugi tika ievietoti lauka darbu laikā - sterilizētas 0,5 – 1l tilpuma stikla burkas, pārsegtas ar alumīnija foliju. Šajā gadījumā, kad paraugi tiek žāvēti paaugstinātā temperatūrā hermētiski nenoslēgtā veidā, var tikt zaudēti gaistošie organiskie savienojumi, tādējādi mainot ķīmisko elementu un izotopu proporcijas paraugos. Savukārt, nogulumu

organiskā materiāla molekulārā uzbūve var tikt pārveidota oksidācijas procesā (Meyers et al., 2001), un tas nelielā mērā arī notika – paraugā esošais ūdens žāvēšanas laikā iekrāsojās tumši brūnā krāsā, liecinot par dzelzs oksidāciju. Tomēr, parauga iztvaicēšana notika dažu dienu laikā un tiek pieņemts, ka tas ir pārāk īss laiks, lai organiskais materiāls noārdītos vērā ņemamā apjomā. Lai samazinātu parauga bojājumus, tika rasts kompromiss starp augstāku žāvēšanas temperatūru un ilgāku žāvēšanas laiku. Izžāvētie paraugi uzreiz tika apstrādāti tālāk un pilnībā atbrīvoti no ūdens ar *Freeze-Drying* metodi.

Žāvēšana ar *Freeze-Drying* metodi tika veikta gan nogulumu uztvērēju, gan Sekšu un Velnezera urbumu seržu paraugiem, atbrīvojoties no visa liekā ūdens, lai tos varētu uzglabāt. Minētie paraugi tika pārvietoti piemērotos neliela izmēra traukos un pēc iepriekšējas sasaldēšanas ievietoti *Freeze-drying* iekārtā, kur, paraugu uzturot sasalušā stāvoklī, lai novērstu tā vārīšanos, zemā spiedienā un temperatūrā notiek paraugā esošā ūdens sublimācija un tvaiku re-sublimācija uz iekārtas kondensatora virsmas, tādējādi atbrīvojoties no paraugā esošā brīvā un organiskajā materiālā absorbētā ūdens. Novaka (Nowak 2020) detalizēti aprakstījusi *Freeze-Drying* procesa būtību un galvenos posmus. Visi izžāvētie paraugi vēlāk tika homogenizēti un uzglabāti noslēgtos maisiņos līdz tālāku analīžu veikšanai.

Lai noskaidrotu nogulumu uzkrāšanās apjomu uztvērējos viena gada laikā, nogulumu uztvērēju paraugi uzreiz pēc žāvēšanas tika svērti ar analītiskajiem svāriem, lai noskaidrotu sausnes masu. Lai aprēķinātu nogulu uzkrāšanās ātrumu uz laukuma vienību, tika izmantota formula (9):

$$(9) \quad V = \frac{m}{S \times t}$$

Kur V – nogulu uzkrāšanās apjoms g/m^2 gadā, m – nogulumu sausnes masa, g; S – nogulumu uztvērēja šķērsriezuma laukums, m^2 ; t – parauga uzkrāšanās laiks, gadi. Nogulumu uztvērēja caurules atvere ir apaļas formas ar iekšējo diametru apm. $5,62 \pm 0,01$ cm. Tās šķērsriezuma laukums ir $24,81 \text{ cm}^2$ Gada garums pieņemts kā 365,25 dienas.

3.2.2. Karsēšanas zudumu analīze

Karsēšanas zudumu metode (Angļu val. Loss on ignition (LOI)) ir bieži izmantota metode nogulumu organogēnā, karbonātiskā un klastiskā (galvenokārt minerogēnā) materiāla satura noteikšanai. Analīze tika veikta pēc Heiri (Heiri et al., 2001) ieteiktās metodikas. Organogēnā un karbonātiskā materiāla saturu nosaka pēc sausa parauga masas samazinājuma, secīgi karsējot divās temperatūrās, attiecīgi 550 un 950 °C. Klastiskais materiāls veido lielāko daļu parauga pārpalikuma pēc karsēšanas 950 °C.

Dažādi ārvalstu autori, piemēram, Kolthoffs un Sandells (Kolthoff, Sandell, 1946) karsēšanas zudumu metodi izmantojuši savos pētījumos jau vismaz kopš 20. gs. vidus. Konrāds (Konrad et al., 1970) raksturojis to kā piemērotu arī neseno nogulumu izpētei. To pārbaudījis un ar citām metodēm salīdzinājis savos pētījumos Dīns (Dean, 1974), novērojot augstu rezultātu korelāciju ar citām organikas un karbonātu noteikšanas metodēm un līdzvērtīgu precizitāti. Metodes priekšrocības ir salīdzinoši vienkāršā veikšana un mazās izmaksas, jo nav nepieciešams sarežģīts inventārs un netiek patērēti dārgi resursi, piemēram, ķīmiskie reaģenti - visus izmantotos piederumus pēc analīzes veikšanas iespējams izmantot atkārtoti.

Metodes trūkums, uz kuru norāda Heiri (Heiri et al., 2001), ir tās nepiemērotība atsevišķu paraugu analīzei. Karsēšanas zudumu analīzes laikā noteiktais karbonātu materiāla apjoms var būt neprecīzs paraugā ar lielu māla un citu augstā temperatūrā mainīgu minerālu saturu. Tas jāpatur prātā, veicot rezultātu interpretāciju, taču tiek pieņemts, ka šajā darbā apskatīto ezeru nogulumos nav daudz māla, jo tas pēc vizuāla un taustes novērtējuma netika konstatēts paraugu iegūšanas laikā. Šajā darbā karsēšanas zudumu metode ir izmantota vispārējo ezera vides attīstības tendenču identificēšanai un salīdzināšanai atšķirīgu ezeru starpā.

Karsēšanas zudumu analīzes veikšanai izmantotie piederumi un iekārtas (Robežnieks 2020):

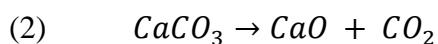
- 1) Mufelkrāsns (*Neytech Vulcan A-550, maksimālā temp. 1100 °C*);
- 2) keramikas mufeli karsēšanai augstā temperatūrā, tilpums ~ 15 ml., ap 30 gab.;
- 3) analītiskie svāri (*Sartorius Secura324-1S*) $\pm 0,00001$ g.;
- 4) lāpstiņa paraugu pārvietošanai;
- 5) mazgāšanai nepieciešamie piederumi.

Karsēšanas zudumu analīzes veikšanai 1 cm³ no katra parauga ievietots tūrā, iepriekš 105 °C izkarsētā (lai to izžāvētu) un nosvērtā tīgēlī. Paraugu kopā ar tīgēli nosver, tad karsē 105 °C 12 stundas, lai atbrīvotu paraugu no absorbētā gaisa mitruma, saistītā un poru ūdens. Izžāvētos paraugus eksikatorā atdzēsē un nosver, līdzko tie ir atdzisuši līdz istabas temperatūrai.

Pēc tam paraugu 550 °C temperatūrā karsē 4 stundas. Šādā temperatūrā oksidējas teju visi paraugā esošie ogleņraži, kuri veido lielāko daļu organiskā materiāla. Heiri (Heiri et al., 2001) pētījumā kā 100% organiskā materiāla idealizēts paraugs tika dedzināts tīrs grafijs. Teorētiski, grafijs šādā temperatūrā pilnībā oksidējas, pārejot gāzveida stāvoklī kā CO₂. Karsējot 5 h 530 °C temperatūrā, grafiņa masa samazinājās par 98,3 % (mediānas vērtība), tomēr svāra samazinājums variēja robežās 63,8 - 99,8 %. Šādai rezultātu izklādei varētu būt dažādi iemesli: mērījumu kļūda; eksperimentā temperatūra ir mazliet zemāka nekā Heiri ieteiktā un šajā pētījumā izmantotā (550 °C); grafijs ir salīdzinoši noturīgs pret oksidēšanos – tas sadeg ievērojami lēnāk nekā sausas augu atliekas; lielāks paraugu izmērs. Minētajā pētījumā tika

izvēlēti 0,4 – 3,9 g. smagi paraugi, bet šī darba autors karsēšanas zudumu analīzei izmantoja 0,1 – 0,2 g. smagus paraugus. Ir paredzams, ka pēdējie sadegs pilnīgāk (Robežnieks 2020).

Pēc organiskā materiāla sagruzdēšanas soļa sekoja parauga karsēšana 950 °C 2 stundas. Šajā temperatūrā sadalās karbonātu minerāli, ezeru nogulumos no tiem parasti visvairāk ir kalcīta, bet var būt sastopams arī dolomīts un aragonīts. Turpmāk šajā darbā karbonātu minerāli saukti vienkārši par karbonātiem. Kalcīts augstā temperatūrā sadalās pēc formulas (2), CO₂ izdaloties no parauga gāzes veidā:



Pēc Heiri (Heiri et al., 2001), 2 h laikā karsējot nelielu daudzumu tīra kalcīta 950 °C masas zudums ir 97 % no iespējamā. Savukārt, karsējot tīru kalcītu 530 °C, masas zudumi nebija novērojami, kas liecina, gandrīz viss karbonātu materiāls sadalās 950 °C karsēšanas laikā. Tā kā šajā darbā izmantoto paraugu masa ir daudz mazāka, 2 stundu laikā gandrīz visi paraugā esošie karbonātu minerāli sadalīsies, atbrīvojot ogļskābo gāzi.

Parauga atlikums pēc karsēšanas 950 °C satur nelielu daudzumu organiskā materiāla pelnu, kalcija oksīdu no karbonātu minerāliem un citus minerālus, piemēram, silikātus (kvarcu, laukšpatus). Parauga masu visos analīzes posmos aprēķina, no tīģeļa ar paraugu kopējās masas atņemot tukša tīģeļa masu, formula (3).

$$(3) \quad mp = m_{kop} - m_t$$

Karsēšanas zudumus 550 grādu un 950 grādu temperatūrā aprēķina attiecīgi pēc formulām (4) un (5):

$$(4) \quad \Delta m_{550} = (mp_{105} - mp_{550}) \div mp_{105} \times 100\%$$

$$(5) \quad \Delta m_{950} = (mp_{550} - mp_{950}) \div mp_{105} \times 100\%$$

Kur mp_{105} – 105 °C izzāvēta parauga masa; m_{550} – 550 °C sadedzināta parauga masa; mp_{950} – 950 °C sadedzināta parauga masa; Δm_{550} – masas zudums, karsējot 550 °C; Δm_{950} – masas zudums, karsējot 950 °C.

Procentuālais masas zudums, karsējot 550 °C ir aptuveni vienāds ar organiskā materiāla procentuālo saturu paraugā, jo pelni sastāda niecīgu daļu augu masas, bet karbonātu jonu saturu aprēķina pēc formulas (5) no masas zuduma 950 °C, piemērojot koeficientu paraugā atlikušā materiāla dēļ (piemēram, kalcītam sadaloties, paraugā paliek kalcija oksīds $CaCO_3^{2-} \rightarrow CaO + CO_2\uparrow$).

$$(6) \quad k\% = \Delta m_{950} \times 1,36$$

Kur $k\%$ ir karbonātu procentuālais saturs paraugā, Δm_{950} ir masas zudums, karsējot 950 °C. (Heiri et al., 2001)

Šajā pētījumā papildus minētajiem datiem tika iegūti arī nogulumu to sākotnējā stāvoklī mitruma un blīvuma rādītāji, kurus iespējams aprēķināt zinot nogulumu tilpumu (katram

paraugam izmantoja 1 ml nogulumu) un to masu pirms un pēc žāvēšanas 105 °c temperatūrā. Tos aprēķina sekojoši (formulas 7 un 8):

$$(7) \quad M = \frac{m_s - m_{105}}{m_s}$$

$$(8) \quad \rho = m_s \div V$$

Kur M ir mitrums procentos ūdens no kopējās masas, ρ blīvums, m_s ir parauga sākotnējā masa gramos, m_{105} ir gramos izteikta parauga masa pēc izžāvēšanas un V – tilpums ml.

3.2.3. Oglekļa un slāpekļa relatīvā satura analīze

C/N analīze ir metode oglekļa un slāpekļa relatīvā satura un savstarpējās masas attiecības noteikšanai. Oglekļa/slāpekļa attiecība (C/N) ļauj noteikt organogēnā materiāla avotu (izcelsmi), kas ir svarīgi, lai izprastu sedimentāciju procesus kā mūsdienās, tā arī senākā pagātnē. Svaigas fitoplanktona atliekas nogulumos satur relatīvi daudz olbaltumvielu ar tajās esošo slāpekli (tas ietilpst amīngrupā). Savukārt vaskulāro augu atliekas satur daudz celulozes, kurā ir maz slāpekļa, bet daudz oglekļa. Fitoplanktona atlieku C/N attiecība ir pārsvarā 4 - 10, bet vaskulāro augu atliekās – virs 20 (Meyers et al., 2001). No ezera baseina ieskalotais organiskais materiāls saturēs gandrīz tikai vaskulāro augu atliekas, bet ezera dziļūdens zonās fotosintizē galvenokārt aļģes, tāpēc, neņemot vērā ūdens sajaukšanos, varam sagaidīt mazākas C/N vērtības ezera dziļūdens zonās (Meyers et al., 2001).

C/N analīze tika veikta Sekšu un Velnezera nogulumu seržu un nogulumu uztvērēju paraugiem, lai papildinātu informāciju par nogulumu uztvērējos uzkrātajiem nogulumiem veiktu to salīdzināšanu ar ezera gultnē esošajiem nogulumiem. Salīdzinot C/N vērtības abos ezeros un dažādos nogulumu griezumā dziļumos, varam gūt priekšstatu par sauszemes augu, ūdensaugu un fitoplanktona izcelsmes organiskā materiāla ražošanas un nogulsnešanās intensitāti un tās izmaiņām ezerā.

Elementu koncentrāciju noteikšanai tika izmantots elementu analizators, analizējot paraugu degšanas rezultātā radušās H₂, CO₂ gāzes. Iegūtie rezultāti izteikti kā C/N atomu, nevis masas attiecība, jo tā atspoguļo attiecīgo elementu bioķīmisko aktivitāti (Stivrins et al., 2019). Iepazīstot pētījumus par C/N attiecību, jāņem vērā, ka literatūrā atrodamas abu veidu C/N vērtības. Lai pārietu no C/N atomu attiecības uz masas attiecību, visas dotās C/N vērtības jādala ar 1,167, kas ir attiecība starp slāpekļa un oglekļa atommasām.

Analīzes veikšanai izmantotie piederumi un iekārtas:

- 1) gāzu analizators (*Element Analyzer Vario EL III*);
- 2) paraugu mikrolāpstiņa;

3) folijas gultiņas;

4) analītiskie svāri (*Sartorius Secura324-1S*) $\pm 0,00001$ g.

15 – 18 mg sausa parauga ar tīru mikrolāpstiņu tika novietoti uz iepriekš nosvērtas sterilas Folijas “gultiņas”. Gultiņu manuāli saloka un saspiež, izmantojot tam speciāli paredzētu iekārtu. Šādi sagatavotu paraugu iespējams pārvietot un uzglabāt, izvairoties no tā izbiršanas vai piesārņošanas no ārpuses. Sagatavotos paraugus nosver uz analītiskajiem svāriem un līdz analīzei glabā katru atsevišķi nelielā, slēgtā trauciņā (baktēriju kultūru trauciņā). Paraugus gāzu analizatorā sadedzina un izdalīto gāzu koncentrācijas nolasa elektroniski. Mērījumu nenoteiktība izmantotajai iekārtai ir $\pm 5\%$.

3.2.4. Nogulumu hronoloģija

Nogulumu hronoloģija jeb vecums ezeru nogulumiem veidots pielietojot svina (^{210}Pb), cēzija (^{137}Cs), sfērisko izdedžu karbonātisko daļiņu metodi (SCP), tefrohronoloģiju un radioaktīvā oglekļa (^{14}C) datēšanas metodi. Pieejamās datēšanas metodes ezeriem atšķiras (skat. 3.1. tabulu). Datēšanu veica citi pētnieki, bet bakalaura darba autors apkopoja un izmantoja šos rezultātus (ar atļaujām no pētniekiem un atsaucēm uz pirmavotu, skat. 3.2. tabulu) un veica dziļuma - vecuma modelēšanu katram ezeram ar mērķi iegūt hronoloģiju nogulumu serdēm, lai varētu aprēķināt nogulumu uzkrāšanās apjomus 20. un 21. gs. Dziļuma-vecuma modelis veidots *R* vidē (*Rstudio*) izmantojot *Clam* pakotni ar *IntCal20* kalibrēšanas līknēm (Blaauw, 2010; CRAN – package Clam).

3.1. tabula

Katra ezera paraugiem izmantotā nogulumu datēšanas metode: ^{210}Pb (svina), ^{137}Cs (cēzija), SCP (sfērisko izdedžu karbonātiskās daļiņas), tefra (Askja vulkāna izvirdums 1875.g.) ^{14}C (radioaktīvā oglekļa metode).

Ezers	^{210}Pb , ^{137}Cs datēšana	SCP datēšana	^{14}C	Tefra
Āraišu	+	+	+	+
Bricu	+	+	+	
Ķikuru	+		+	
Lielais Vipēdes	+	+	+	
Lilastes	+	+	+	
Mazais Baltezers		+		
Pinku		+		
Sekšu	+	+		
Talsu		+		

Trikātas	+		+	+
Usmas		+		
Velnezers	+	+		

Viena no visbiežāk pielietotajām ezera virsējo nogulumu vecuma noteikšanas metodēm ir ^{210}Pb un ^{137}Cs , jo tās izmanto, lai rekonstruētu nogulumu uzkrāšanās apjomu un vecumu. Pēc ^{210}Pb nonākšanas atmosfērā, iztopi nogulsnējas ezera nogulumos, kur pie limitētiem skābekļa apstākļiem saglabājas, līdz tie pussabrukšanas rezultātā izzūd no nogulumiem (Walraven et al. 2014). Cēzija un svina datēšana veikta Ģeohronoloģijas laboratorijā, Gdaņskas Universitātē, Polijā. ^{137}Cs un ^{226}Ra (^{210}Pb mātes izotops) aktivitāte noteikta pielietojot gammas staru spektrometriju. Kopējā ^{210}Pb aktivitāte noteikta mērot ^{210}Po alfas spektrometriju. Sausi un homogenizēti nogulumu (0,2 g) ievietoti teflona tvertnēs, pievienots ^{209}Po pavadizotops un apstrādāti ar koncentrētu HNO_3 , HClO_4 un HF 100°C izmantojot *CEM Mars 6* mikroviļņu apstrādes sistēmu. Pēc apstrādes, paraugi tika analizēti (skaitīti izotopi) 24 stundas.

SCP analizēja Normunds Stivriņš Kvartārvides laboratorijā un ar atļauju izmantoti šajā bakalaura darbā. SCP ir oglekļa daļiņas, kuras rodas fosilā kurināmā nepilnīgas sadegšanas rezultātā. Tā kā SCP daļiņas akumulējas ezeru nogulumos un ir zināms fosilo kurināmo izmantošanas apjomi konkrētā reģiona, tad tās tiek izmantotas, lai netieši noteiktu nogulumu vecumu. Pilna datēšanas procedūra aprakstīta (Zawiska et al., 2020).

Tefrohronoloģiju veic, korelējot nogulumos atrastas vulkānisko pelnu daļiņas ar zināmā laikā notikušu vulkāna izvirdumu. Lai to izdarītu, paraugi no nogulumu serdēm tika sadalīti 1 cm biezos posmos un paraugi no seržu intervāliem, kas aptuveni sakrīt ar vulkāna izvirduma laiku tika ķīmiski apstrādāti, atbrīvojoties no organiskā un karbonātu materiāla, bet no minerālā materiāla sijājot tika atdalīta 20-100 μm frakcija, no kuras, izmantojot mikroskopu, ar roku tika izlasītas stikla daļiņas. Stikla daļiņas tika iegūtas tikai vienā parugā katrā no urbumu serdēm, iezīmējot skaidru koncentrācijas maksimumu. Stikla daļiņas tika sagatavotas elektronu zondes mikroanalīzei un Vācu Zemes zinātņu centrā Potsdamā (GFZ Potsdam) tika noteikts to galveno ķīmisko elementu saturs. Atrasto stikla daļiņu ķīmiskais sastāvs tika salīdzināts ar dažādu vulkānu izvirdumu tefras sastāva datiem pēc SiO_2 , AlO_3 , K_2O , TiO_2 , MgO satura. Visu paraugu minerālā kompozīcija vislabāk korelē ar Askjas 1875. gada izvirduma tefru, kas no citu islandes vulkānu izvirdumu tefras izceļas ar zemāku K_2O saturu (2,1-2,7 %) un augstu MgO saturu. Datējumu iegūšanas procedūra detalizētāk aprakstīta (Stivrins 2016)

3.2. tabula.

Katra ezera datējumi, kuri izmantoti dziļuma-vecuma modeļu veidošanā. Tabulā izmantoto saīsinājumu skaidrojumi: ^{14}C – radioaktīvā oglekļa datēšana; $^{14}\text{C BP}$ – radioaktīvā oglekļa gadi; kal.g.p.m. – kalibrētie gadi pirms mūsdienām (1950.g.=0. g.); ^{210}Pb – svina 210 izotopa datēšana; ^{137}Cs – cēzija 137 izotopa datēšana; Askja-1875 – tefrochronoloģija ar zināmu Islandes vulkāna Askja izvirdumu 1875. g.; SCP – sfēriskās karbonātiskās izdedžu daļiņas jeb pelni.

Ezers	Dziļums, cm	Datēšanas metode	Vecums	Avots
Āraišu	22	SCP	-32 kal.g.p.m.	Stivrins et al., 2019
	61,5	Askja-1875	75 kal.g.p.m.	Stivrins et al., 2019
	141	^{14}C	684 $^{14}\text{C BP}$	Stivrins et al., 2015
	191	^{14}C	943 $^{14}\text{C BP}$	Stivrins et al., 2015
Bricu	5	SCP	-40 kal.g.p.m.	Trofimova 2019
	10	SCP	0 kal.g.p.m.	Trofimova 2019
	160	^{137}Cs	2840 $^{14}\text{C BP}$	Steinberga and Stivrins, 2021
Ķikuru	95	^{14}C	845 $^{14}\text{C BP}$	Stivrins et al., 2017
	145	^{14}C	948 $^{14}\text{C BP}$	Stivrins et al., 2017
Lielais Vipēdis	33	SCP	-40 kal.g.p.m.	Trofimova, 2019
	51	SCP	0 kal.g.p.m.	Trofimova, 2019
	349,5	^{137}Cs	3345 $^{14}\text{C BP}$	Guščika un Stivriņš, 2020
Lilastes	18	SCP	-32 kal.g.p.m.	Grudzinska et al., 2017
	180	^{137}Cs	2385 $^{14}\text{C BP}$	Grudzinska et al., 2017
Mazais Baltezers	5	SCP	-50 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	7	SCP	-40 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	9	SCP	-35 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	11	SCP	-30 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	13	SCP	-25 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	15	SCP	-20 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	17	SCP	-10 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	19	SCP	-5 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	23	SCP	0 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	26	SCP	5 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	31	SCP	10 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	34	SCP	15 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	35	SCP	20 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
Pinku	1	SCP	-68 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	2	SCP	-40 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	3	SCP	-30 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	4	SCP	-20 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	8	SCP	-15 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	10	SCP	0 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	11	SCP	10 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	12	SCP	20 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	17	SCP	30 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	20	SCP	40 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs

Sekšu	1	^{210}Pb	-68 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	3	^{210}Pb	-66 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	5	^{210}Pb	-64 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	7	^{210}Pb	-62 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	9	^{210}Pb	-59 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	10,5	^{210}Pb	-57 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	11,5	^{210}Pb	-55 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	12,5	^{210}Pb	-54 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	13,5	^{210}Pb	-51 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	14,5	^{210}Pb	-49 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	15,5	^{210}Pb	-47 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	16,5	^{210}Pb	-45 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	17	SCP	-41 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	17,5	^{210}Pb	-43 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	18,5	^{210}Pb	-41 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	19,5	^{210}Pb	-39 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	20,5	^{210}Pb	-38 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	21,5	^{210}Pb	-36 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	22,5	^{210}Pb	-34 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	23,5	^{210}Pb	-32 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	24,5	^{210}Pb	-30 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	25,5	^{210}Pb	-28 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	26,5	^{210}Pb	-27 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	27,5	^{210}Pb	-25 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	28,5	^{210}Pb	-23 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	29,5	^{210}Pb	-21 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	30,5	^{210}Pb	-19 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	31,5	^{210}Pb	-17 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	32,5	^{210}Pb	-15 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
	33,5	^{210}Pb	-13 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020
34,5	^{210}Pb	-10 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020	
35,5	^{210}Pb	-8 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020	
36,5	^{210}Pb	-6 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020	
37,5	^{210}Pb	-4 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020	
38,5	^{210}Pb	-1 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020	
39,5	^{210}Pb	1 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020	
40,5	^{210}Pb	3 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020	
41,5	^{210}Pb	6 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020	
42	SCP	0 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020	
42,5	^{210}Pb	8 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020	
43,5	^{210}Pb	10 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020	
44,5	^{210}Pb	13 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020	
45,5	^{210}Pb	-68 kal.g.p.m.	Zawiska et al., 2020	
Talsu	2	SCP	-60 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	4	SCP	-50 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	6	SCP	-45 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	8	SVP	-40 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	9	SCP	-35 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	10	SCP	-32 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	11	SCP	-30 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs

	12	SCP	-28 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	13	SCP	-24 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	14	SCP	-20 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	15	SCP	-10 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	16	SCP	5 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	17	SCP	10 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
Triekātas	58	Askja-1875	75 kal.g.p.m.	Stivrins et al., 2016	
	81	¹³⁷ Cs	158 14C BP	Stivrins et al., 2016	
	83	¹³⁷ Cs	175 14C BP	Stivrins et al., 2016	
	145	¹³⁷ Cs	915 14C BP	Stivrins et al., 2016	
Usmas-1	1	SCP	-68 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	3	SCP	-60 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	6	SCP	-50 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	7	SCP	-40 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	9	SCP	-30 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	10	SCP	-25 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	12	SCP	-20 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	14	SCP	-10 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	15	SCP	0 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	16	SCP	5 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	24	SCP	10 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	30	SCP	15 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	34	SCP	20 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	35	SCP	30 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	Usmas-2	1	SCP	-68 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
4		SCP	-60 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
5		SCP	-45 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
6		SCP	-40 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
7		SCP	-35 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
8		SCP	-30 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
9		SCP	-25 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
10		SCP	-20 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
11		SCP	-10 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
12		SCP	0 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
13		SCP	2 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
14		SCP	5 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
15		SCP	10 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
16		SCP	20 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
17		SCP	30 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
Velnezers		4	SCP	-60 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
		5	SCP	-50 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs
	7	SCP	-45 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	12	SCP	-40 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	14	SCP	-36 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	17	SCP	-35 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	30	SCP	-30 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	35	SCP	-15 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
	40	SCP	-10 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs	
45	SCP	10 kal.g.p.m.	Šis bakalaura darbs		

Nogulumu serdes dziļuma – vecuma modelēšana notika datorprogrammā R, lejupielādējot minēto pakotni. Ezeru dati tika sagatavoti modelēšanai, saglabājot .CSV formātā atsevišķā failā katra ezera datējumu (faila nosaukumu veido no ezera nosaukuma); failā viena rinda atbilst vienam paraugam, tajā norāda parauga numuru, vecumu pēc ^{14}C vai kalibrētajiem gadiem pirms mūsdienām, mērījumu kļūdu, ūdenstilpei piemērojamo koeficientu (šajā gadījumā tas netika izmantots) un parauga dziļumu. Norādot tikai ^{14}C vecumu paraugam, pakotne atutomātiski veic vecuma kalibrēšanu (CRAN – package Clam).

Lai izveidotu modeli, programmas R komandlogā pēc pakotnes clam aktivizēšanas un darba mapes iestatīšanas (izvēlas mapi, kurā saglabāti ezeru hronoloģijas dati) ievada sekojošu komandlīniju:

```
clam(core="ezera_nosaukums", type=1, every=1, cc=1, cmyr=TRUE
```

Kur “ezera nosaukums” ir attiecīgā ezera vārdā nosauktais fails, ‘type’ norāda modelēšanas metodi, ‘every’ norāda cik bieži (reizi cik centimetros) jāaprēķina nogulumu vecums, ‘cc’ – izmantotā kalibrācijas līkne un ‘cmyr’ – norāda, ka nogulumu uzkrāšanās ātrums tiek izteikts centimetros gadā.

Parаметram ‘type’ var piemērot vērtību no 1 līdz 5, kur 1 – lineārā interpolācija, 2 – polinomiālā interpolācija brīvi izvēlētā pakāpē, 3 – kubiskā *spline* interpolācija, 4 – nogludinātā spline interpolācija, 5 – *loess* interpolācija. Katram ezeram tika izveidoti modeļi pēc visām interpolācijas metodēm, pēc tam izvēloties to, kura nodrošina precīzāko modeli bez kļūdām. Dziļuma – vecuma modeļiem visbiežākā novērotā kļūda bija nogulumu superpozīcijas principa pārkāpums (normālā sagulumā vecāki nogulumi nekad nepārsedz jaunākos, jo ezera nogulumi uzkrājas subhorizontālos slāņos). Savukārt, to, cik precīzs ir modelis, parāda tā *fit* koeficients. Jo tas tuvāks nullei, jo mazāka mērījumu punktu vidējā novirze no izveidotā modeļa.

3.2.5. Nogulumu datu primāro komponentu analīze

Ezeru nogulumu karsēšanas zudumu analīzes rezultātu, tai skaitā mitruma un blīvuma datiem tika veikta Primāro komponentu analīze (PCA). PCA ir datu analīzes metode, kas nosacīti samazina datu dimensionalitāti (sarežģītību, samazinot dažādo parametru skaitu). PCA projicē datu kopu mazākdimensionālā (principālo komponentu) telpā izmantojot Eiženvektorus, tādējādi uzskatāmāk attēlojot daudzdimensionālus datus nedaudzās dimensijās un parādot datu grupēšanās tendences. Eiženvекtori saista katra punkta atrašanās vietu sākotnējā datu telpā ar tā atrašanās vietu uz projekcijas ass (primārās komponentes). Veicot PCA, izmanto standartizētus datus, kur katrs raksturlielums jeb parametrs datu kopā (parauga

organikas saturs, uzkrāšanās ātrums, vieta nogulumu serdē, ezera dziļums) veido vienu datu kopas dimensiju. Lai datu vērtības un līdz ar to izkliede vienā no dimensijām ievērojami nepārsniegtu pārējās, notiek datu standartizācija pēc formulas (x -vidējais)/standartnovirze, kur x ir datu kopas elementa parametra vērtība, vidējais ir attiecīgā parametra vidējā vērtība visiem datu kopas elementiem, bet standartnovirze ir attiecīgā parametra vērtību standartnovirze visiem kopas elementiem. Datu projicēšana tiek veikta tā, lai 1. principālā komponente (projekcijas ass) sakristu ar datu maksimālās izkliedes virzienu, bet datu kopas elementu vidējā novirze no projekcijas ass būtu minimāla. 2. principālā komponente ass, kas perpendikulāra pirmajai un apmierina minimālās kopas elementu novirzes prasību, un n -tā principālā komponente ir iepriekšējām komponentēm perpendikulāra ass, konstruēta $n+1$ -dimensionālā telpā, un principālās komponentes veido n -dimensionālu principālo komponentu telpu. Aplūkojot datus, iespējams izmantot dažas pirmās principālās komponentes, atmetot augstāku dimensiju komponentes, jo to nozīme datu izkliedes parādīšanā ir mazāka un tiek zaudēts pēc iespējas maz informācijas.

PCA veikšanai tika izmantota datorprogramma PAleontological STatistics (PAST 2.17). Analīzei tika izmantoti dati par ezeru nogulumiem kopš 1850. gada (senākie pieejamie karsēšanas zudumu analīzes dati). Analīze tika veikta, izmantojot nogulumu organikas, karbonātu un minerālā satura rādītājus, kā arī izmantojot visu nogulumu vidējos un virsējo nogulumu organikas, karbonātu, minerālo daļiņu saturu, uzkrāšanās ātrumu, vidējo dziļumu, trofiju un izmēru. PAST programmā katram parametram atbilstošie dati tika ierakstīti atsevišķā datu tabulas kolonnā, tad katras kolonnas ietvaros veikta datu standartizācija, pielietojot transform \rightarrow evaluate expression un ievadot rīkjoslā iepriekš minēto datu standartizācijas formulu. Pēc tam tika atlasītas analīzei izvēlētajiem parametriem atbilstošās datu kolonnas un veikta PCA, izvēloties multivar \rightarrow primary components. Analīzes rezultāti tika izvērtēti pēc iegūtajiem grafikiem (scatter), parametriem piemērotajiem koeficientiem katrai no primārajām komponentei un katram paraugam piemērotajām komponentu vērtībām, lai noskaidrotu parametru savstarpējo korelāciju un atlasītu paraugus ar līdzīgām īpašībām.

4. REZULTĀTI

Svarīgi atzīmēt, ka darba autors pats veicis nogulumu uztvērēju paraugu (4.1. Att.) un caurredzamības mērījumu ievākšanu, visu paraugu sagatavošanu analīzēm, karsēšanas zudumu un C/N analīzes.

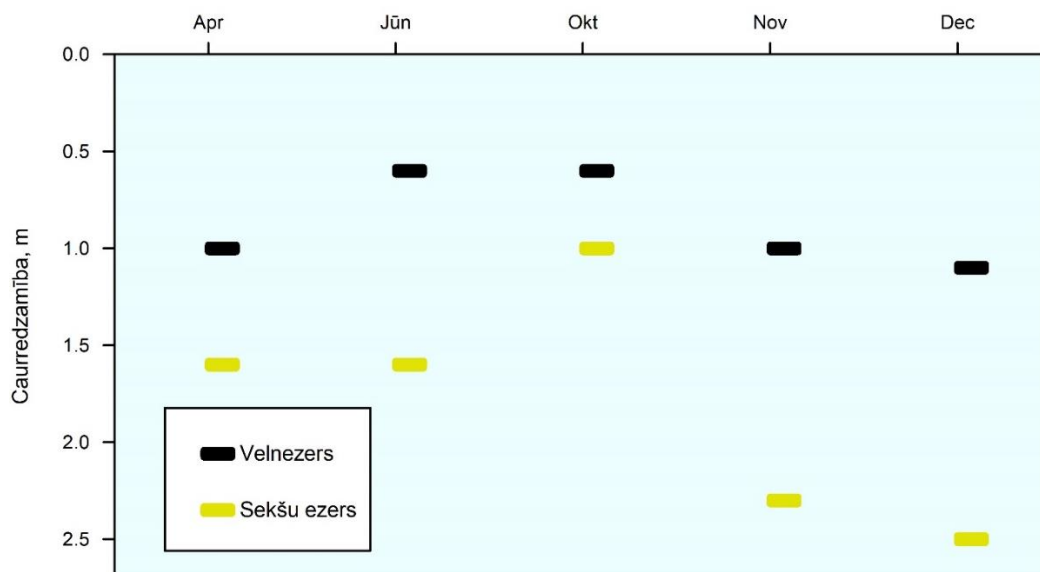
4.1. Nogulu saturs un uzkrāšanās apjoms uztvērējos

Laika periodā no Februāra līdz augustam nogulumu uztvērēji Sekšu un Velnezera uzkrāja attiecīgi 0,87 un 1,07 g nogulu sausnes masas, no Augusta līdz Janvārim – attiecīgi 1,05 un 0,96 g, $\pm 0,005$ g. 11 mēnešu laikā Sekšu ezera nogulumu uztvērējā uzkrājās 1,92 g nogulumu sausnes, Velnezera 2,03 g. Kopumā Velnezera izgulsnējies vairāk nogulumu, bet augusta - janvāra periodā tieši Sekšu ezerā izgulsnējies mazliet vairāk.

Nogulu uzkrāšanās vidējais apjoms uztvērējos gada laikā bija: $838,88 \pm 7,38$ g/m² gadā Sekšu ezeram un $886,94 \pm 7,55$ g/m² gadā Velnezera. Rēķinot ar ezera nogulumu virsējā slāņa sausnes blīvumu $0,187$ g/cm³ (vidējais rādītājs no visu pārējo ezeru blīvumu datiem) tie būtu 0,45 cm nogulumu gadā Sekšu ezeram un 0,47 cm gadā Velnezera. šīs vērtības ir tuvas ezeru nogulumu seržu virsējo slāņu rādītājiem, attiecīgi 0,87 un 0,20 cm gadā.

4.2. Ezeru caurredzamības mērījumu rezultāti

Katrā ezerā caurredzamības mērījumi tika veikti piecas reizes dažādos mēnešos. Caurredzamības rādītāji Sekšu ezeram 2019. gada mēnešos bija 1 – 2,5 m, bet Velnezera – 0,6 – 1,1 m (skat. 4.1. att.). Caurredzamība samazinās vasaras periodā, ūdenī esošo aļģu, planktona un putekšņu dēļ. Caurredzamība ezeros ir maza vai ļoti maza gan aprīļa un jūnija, gan oktobra mērījumos. Novērojumu laikā abos ezeros redzamība oktobra mēnesī bija zema un uzlabojās tikai novembrī, un Velnezera redzamība nepārsniedza 1,1 m nevienā no mēnešiem.



4.1. att. Caurredzamības mērījumi ezeros 2019. gadā.

Pēc Sekšu ezera caurredzamības mērījumiem, TSI koeficienta caurredzamības komponente Sekšu ezeram ir robežās no 46,7 līdz 60. Tas ierindo Sekšu ezeru mezotrofu (TSI = 40) līdz eitrofu (TSI = 50-60) ezeru kategorijā. Sekšu ezers drīzāk uzskatāms par eitrofu, jo tam atbilst visi vasaras sezonas mērījumi.

Velnezera ūdens zemā caurredzamība atbilst eitrofam ezeram (TSI >55), taču jāņem vērā, ka caurredzamība šeit ir dabiski ierobežota brūnganā, gultnē esošās kūdras iekrāsotā ūdens dēļ, tāpēc ezers klasificēts kā distrofs. Pēc iepazīšanās ar literatūru noskaidrots, ka šādiem ezeriem caurredzamības mērījumus ar Seki disku nevar korelēt ar ezeru trofiju. Taču veiktie mērījumi tik un tā sniedz noderīgu informāciju, jo ūdens tumšās krāsas un peldošo daļiņu ietekme summējas un Velnezera caurredzamībā var novērot sezonālas svārstības, tai īpaši samazinoties jūnija un oktobra mēnešos (visticamāk, visā periodā jūn.-okt.).

4.3. Hronoloģija

Lai izveidotu dziļuma-vecuma modeli ir nepieciešami vismaz 4 datējumi, kas nozīmē, ka atsevišķiem ezeriem nepietiekama virsējo nogulumu datējumu skaita dēļ hronoloģija modelēta vairāku tūkstošu gadu senā pagātnē izmantojot pieejamos datējumus no dziļākiem ezera nogulumu slāņiem (Tabula 1, 2). Neatkarīgi no tā, cik senā pagātnē modelis veidots, bakalaura darbā tālāk izmantota hronoloģija, kura attiecas uz 20. un 21. gs., un modeļu nosegtais laika posms neietekmē iegūtos rezultātus attiecīgajam laikam.

Izvēloties piemērotāko dziļuma-vecuma modelēšanas metodi, priekšroka tika dota modeļiem ar mazāku maksimālo uzkrāšanās ātrumu. Daži no modeļiem uzrādīja ļoti augstas nogulumu uzkrāšanās vērtības (pat 20 reizu augstākas par vidējo rādītāju) īsos laika intervālos, ja tika izmantoti vairāki tuvu esoši datējumi. Šeit jāņem vērā, ka SCP datēšanas metodei ir salīdzinoši liela mērījumu kļūda (± 10 gadi), līdz ar to, ja blakus datējumi nogulumu serdē pēc vecuma atšķiras par 20 gadiem, mērījumu kļūdai var būt liela ietekme. Tālāk sniegts īss apraksts katra ezera nogulumu uzkrāšanās ātruma dinamikai 20. –21. gs., balstoties uz izveidotajiem dziļuma – vecuma modeļiem (skat. 4.2. att., 4.3. att.). Āraišu ezeram pieejami nogulumu LOI analīžu dati no 1932. gada, bet modelēšanai izmantoti datējumi, kuru vecums ir līdz dažiem tūkstošiem gadu. Nogulumu uzkrāšanās ātrums Āraišu ezerā 20. –21. gs. ir 0,35 līdz 0,77 cm/gadā, tas šajā laikā ir vienmērīgi pieaudzis.

Bricu ezera nogulumu uzkrāšanās ātrums 20.–21. gs. laikā ir lēnām pieaudzis no 0,11 līdz 0,17 cm/gadā. 1850. –1950. gadā uzkrāšanās ātrums ir bijis gandrīz nemainīgs. Lai papildinātu datus, modelēšanai tika izmantots datējums pēdējiem 3000 gadiem.

Ķikuru ezera nogulumu uzkrāšanās vidējais ātrums 20. –21. gs. ir 0,12 cm/gadā. Trūkst datu, lai izdarītu secinājumus par uzkrāšanās ātruma izmaiņām. Bricu ezera nogulumiem nebija pieejami virsējo nogulumu datējumi, tādēļ kā atskaites punkts tika izmantota nogulumu virsma un divi izotopu datējumi pēdējiem 1000 gadiem (Tabula 3).

Lielais Vipēdis: nogulumu uzkrāšanās ātrums 20.-21. gs. ir pieaudzis no 0,75 līdz 1,2 cm/gadā (cm/g). Lai papildinātu datus, modelēšanai tika izmantots datējums pēdējiem 3000 gadiem.

Lilastes ezera nogulumu uzkrāšanās ātrums 20. –21. gs. ir pieaudzis no 0,17 līdz 1,23 cm/gadā. Visstraujāk nogulumu uzkrāšanās ātrums pieaudzis pēdējās desmitgadēs: no 0,44 cm/g 2000. gadā trīskāršojies līdz 1,23 cm/g 2014. gadā. Tomēr uzkrāšanās ātruma pieaugums būtu jāuztver kritiski un jāpamato ar mūsdienu datiem, jo mazā pieejamo datējumu skaita dēļ modelēšanai tika izmantota nogulumu virsma, SCP datējums un viens nogulumu datējums ar vecumu 2400 gadu.

Mazais Baltezers kopumā nogulumu uzkrāšanās ātrums mūsdienās ir samazinājies, salīdzinot ar 20. gs. sākumu. Vērojami divi ātruma pieauguma pīķi: ap 1940. –1952. gadu un mazāks pīķis 1975. –1980. gadā.

Pinku ezera nogulumu uzkrāšanās ātrums mūsdienās (0,20 cm/g) ir mazāks nekā 20. gs. sākumā (0,29 cm/g). Novērojami divi uzkrāšanās ātruma maksimumi, tas sasniedzis 0,49 cm/g 1921. –1931. gadā un 0,76 cm/g 1965. –1971. gadā.

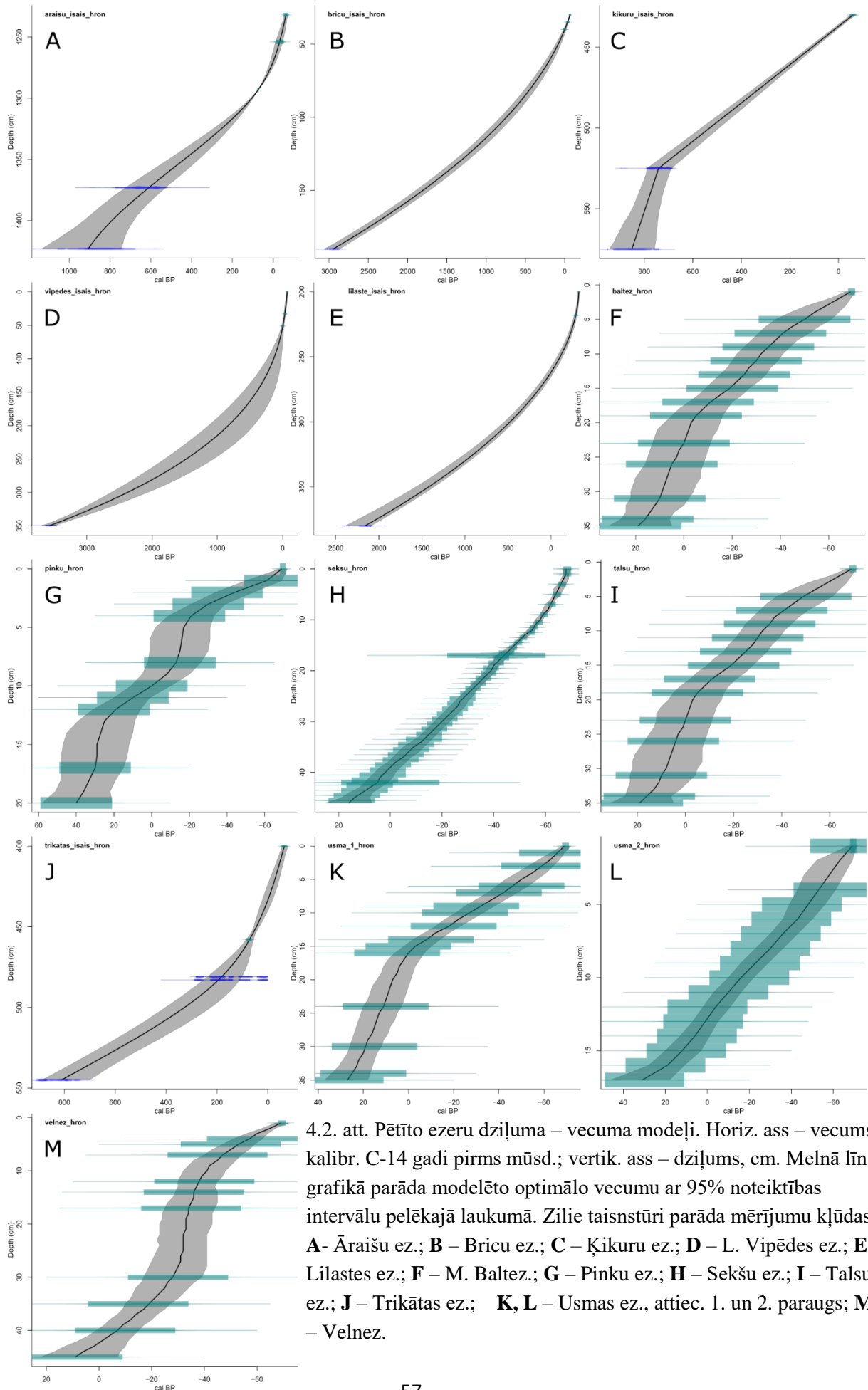
Sekšu ezera nogulumu uzkrāšanās ātrums palielinājies no 0,20–0,30 cm/g 20. gs. sākumā līdz 0,51–0,60 cm/g mūsdienās. Uzkrāšanās ātrums straujāk sācis pieaugt kopš 21. gs. sākuma.

Talsu ezerā vislielākais nogulumu uzkrāšanās ātrums novērots serdes sākumā (~1944. gadā, 0,99 cm/g), tas samazinājies līdz 0,35 cm/g ap 1958. gadu, bet atkal palielinājies 1978. – 1985. gadā.

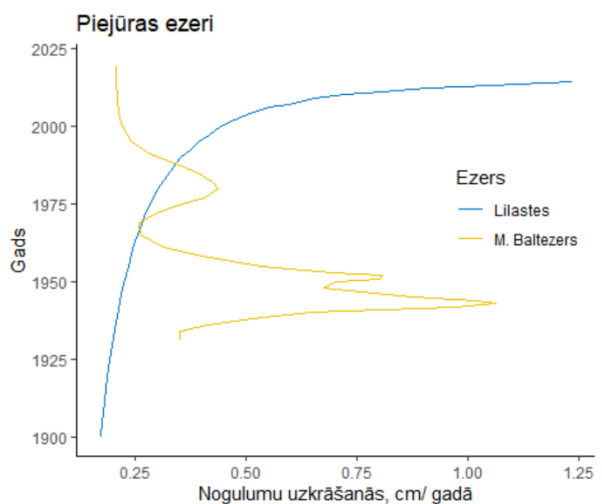
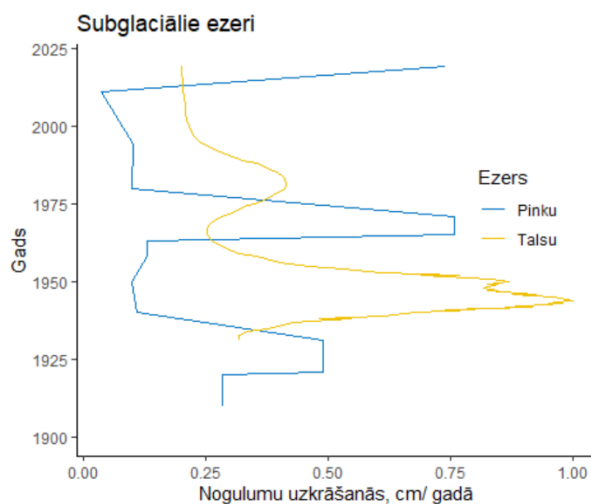
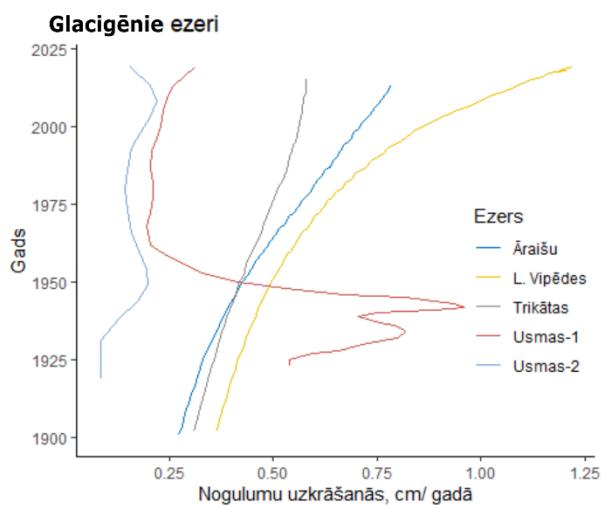
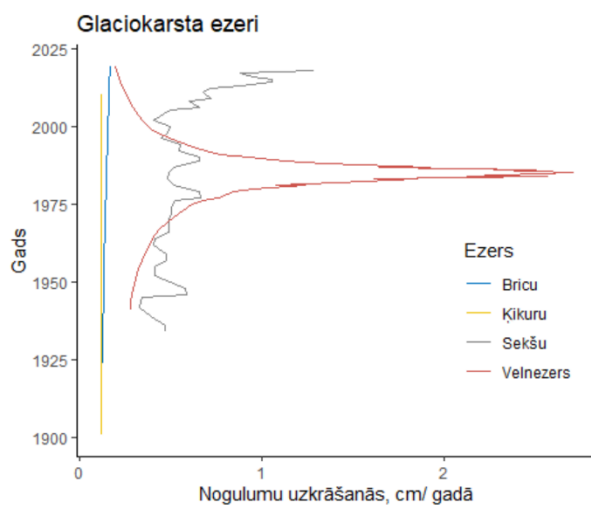
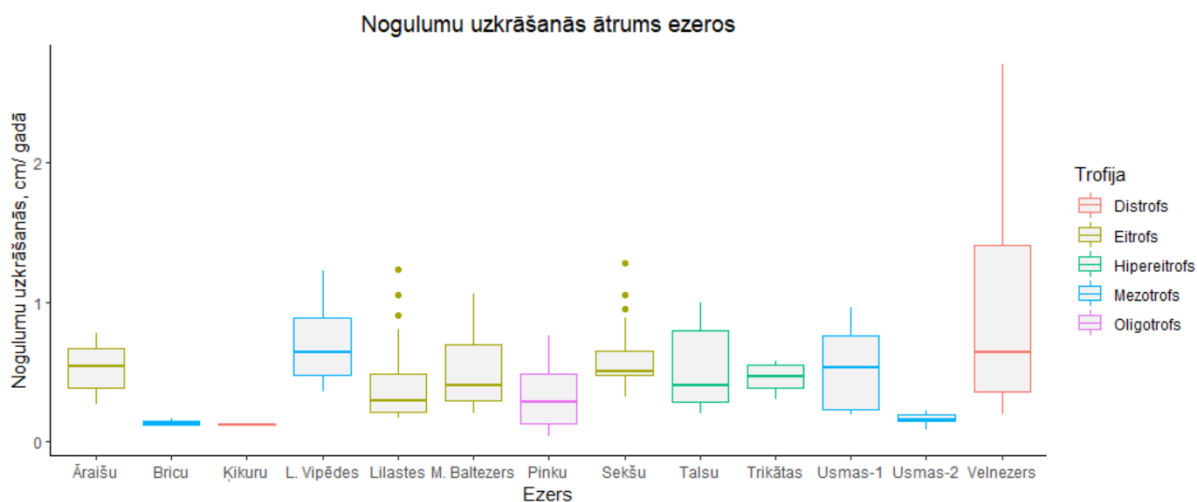
Trikātas ezera nogulumu uzkrāšanās ātrums 20. gadsimtā ir pieaudzis no 0,24 cm/g līdz 0,56 cm/g. Kopš 21. gs. sākuma nogulumu uzkrāšanās ātrums gandrīz nav mainījies, mūsdienās tas ir 0,58 cm/g. Trikātas ezera nogulumu vecuma modelēšanai tika izmantoti datējumi pēdējiem 1000 gadiem.

Katra Usmas ezera parauga nogulumu uzkrāšanās ātrumi mainījušies atšķirīgi. Paraugā Usma-2 vidējais nogulumu uzkrāšanās ātrums ir 0,16 cm/g. Paraugā Usma-1, kas ievākts tuvu apdzīvotai vietai, nogulumu uzkrāšanās ātrums kopumā ir bijis lielāks – vidēji 0,51 cm/g., tas ir sasniedzis 0,54–0,96 cm/g. laika posmā no 1923. līdz 1948. g, bet 20. gs. otrajā pusē Usma-1 nogulumu uzkrāšanās ātrums ir līdzīgs Usma-2 nogulumu uzkrāšanās ātrumam, 0,19–0,28 cm/g robežās.

Velnezers: uzkrāšanās ātrums ir strauji pieaudzis 20. gs. beigās ir maksimumu 2,7 cm/g ap 1983. –1984. gadu, mūsdienās uzkrāšanās ātrums samazinājies līdz 0,2 cm/g. Velnezera nogulumiem novērots vislielākais maksimālais uzkrāšanās ātrums no visiem ezeriem. Jāpiebilst, ka no dziļuma-vecuma modelēšanas metodēm tika izvēlēta tā, kura uzrādīja vismazāko maksimālo uzkrāšanās ātrumu.



4.2. att. Pētīto ezeru dziļuma – vecuma modeļi. Horiz. ass – vecums, kalibr. C-14 gadi pirms mūsd.; vertik. ass – dziļums, cm. Melnā līn. grafikā parāda modelēto optimālo vecumu ar 95% noteiktības intervālu pelēkāajā laukumā. Zilie taisnstūri parāda mērījumu kļūdas. **A** – Āraišu ez.; **B** – Bricu ez.; **C** – Ķikuru ez.; **D** – L. Vipēdes ez.; **E** – Lilastes ez.; **F** – M. Baltez.; **G** – Pinku ez.; **H** – Sekšu ez.; **I** – Talsu ez.; **J** – Trikātas ez.; **K, L** – Usmas ez., attiec. 1. un 2. paraugs; **M** – Velnez.



4.3. att. Nogulumu uzkrāšanās ātrums ezeros. Augšā: vidējais nogulumu uzkrāšanās ātrums kastveida grafikā. Melnās figūras apzīmē virsējā slāņa rādītājus. Apakšā: Uzkrāšanās ātruma izmaiņas laikā dažādām ezeru izcelsmes grupām.

Mūsdienu nogulumu īpašību aprakstīšanai izmantoti ezeru nogulumu virsējo paraugu dati. Mūsdienās nogulumu uzkrāšanās ātrums pārsniedz vidējo Āraišu, L. Vipēža, Lilastes, Sekšu un Trikātas ezeros. Lēnāk nekā vidēji 20. –21. gs. mūsdienās nogulumu uzkrājas M.

Baltezerā, Pinku, Talsu un Velnezērā, bet pārējos ezeros uzkrāšanās ātruma izmaiņas salīdzinājumā ar vidējiem rādītājiem nav novērotas.

Vidējā nogulumu uzkrāšanās ātruma sadalījums dažādas trofijas ezeros 20. un 21.gs. ir šāds:

- 1) oligotrofiem ezeriem 0,45-0,55 cm/g. ;
- 2) mezotrofajiem ezeriem 0,51 cm/g.;
- 3) eitrofajiem ezeriem 0,46 cm/g.;
- 4) hipereitrofajiem ezeriem 0,83 cm/g.;
- 5) distrofajiem ezeriem 0,83 cm/g.

Balstoties uz pirmo cm nogulumu paraugiem, mūsdienās nogulumu uzkrāšanās apjoms ir:

- 1) oligotrofos ezeros 0,77 cm/g.;
- 2) mezotrofajos vidēji 0,45 cm/g.;
- 3) eitrofajos 0,77 cm/g.;
- 4) hipereitrofajos 0,39 cm/g.;
- 5) distrofajos ezeros 0,17 cm/g.

Savukārt, ja skatās pēc ezeru ģenēzes, tad 20. un 21. gs. ezeros nogulumu uzkrāšanās apjoms:

- 1) piejūras ezeros vidēji 0,44 cm/g.;
- 2) subglaciālajos – 0,52 cm/g.;
- 3) glaciģēnajos 0,53 cm/g.;
- 4) glaciokarsta ezeros – 0,59 cm/g.

Turpretī mūsdienās, ņemot par pamatu virsējo cm, ezeros nogulumu uzkrāšanās ātrums:

- 1) piejūras ezeros 0,72 cm/g.;
- 2) subglaciālajos ezeros 0,13 cm/g.;
- 3) glaciokarsta ezeros 0,35 cm/g.;
- 4) glaciģēnajos ezeros 0,60 cm/g.

4.4. Karsēšanas zudumu metodes rezultāti

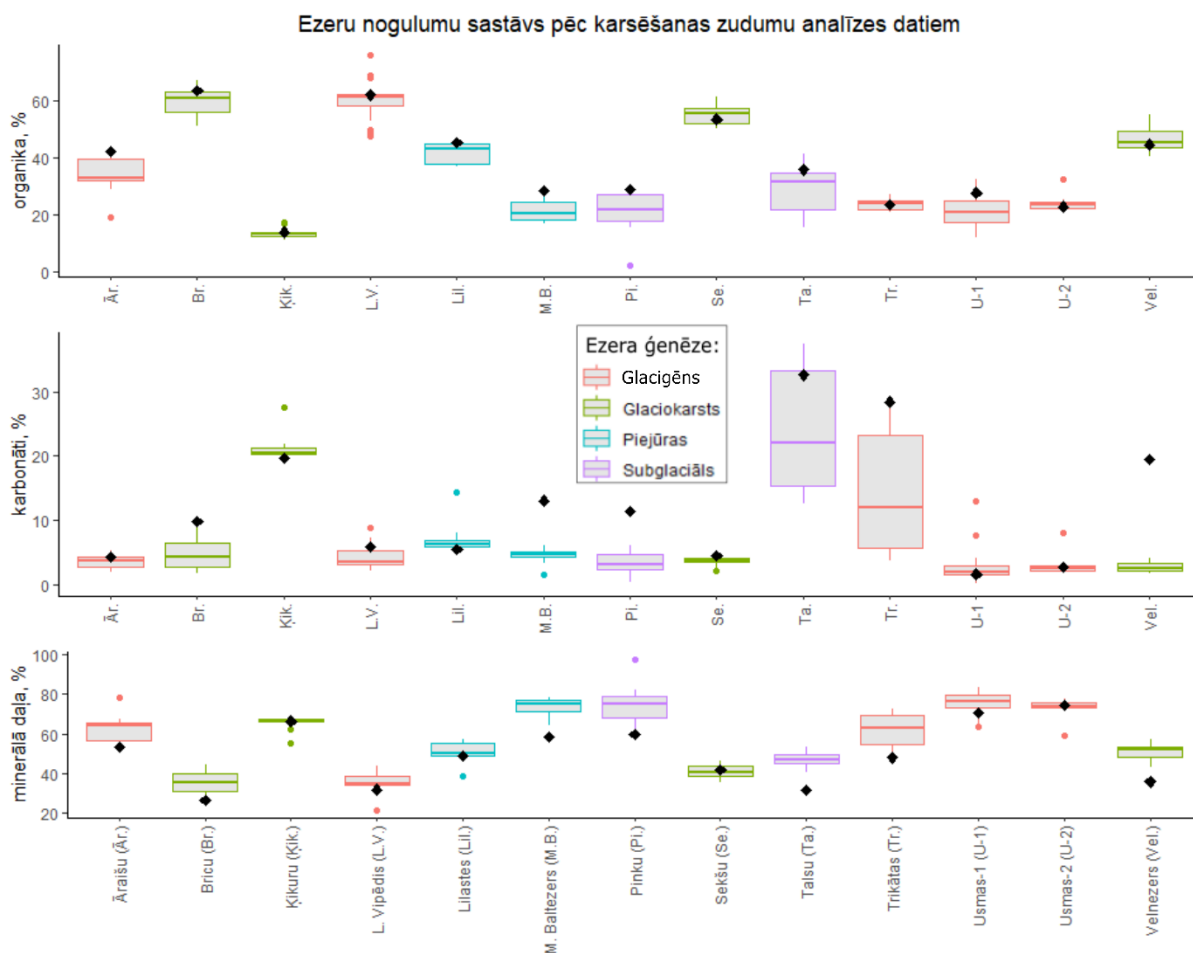
Karsēšanas zudumu analīzes rezultātu vidējās 20. –21.gs. vērtības katra ezera nogulumiem, var salīdzināt ne tikai savstarpēji, bet arī ar mūsdienās uzkrāto nogulumu relatīvo sastāvu savstarpēji salīdzināt (4.4. att.). Izteiktas nogulumu sastāva atšķirības starp ezeriem – Bricu, L. Vipēdes, Sekšu un Velnezera nogulumus pārsvarā veido organiskais materiāls, bet M. Baltezera, Pinku un Usmas ezera nogulumos izteikti dominē minerālā daļa, un Ķikuru, Talsu un Trikātas ezeru nogulumu satur vairāk karbonātu nekā pārējie. Talsu un Trikātas ezeru nogulumos karbonātu īpatsvars variē plašā amplitūdā (14 % – 37 % Talsu, 4 % – 28% Trikātas).

Organikas saturs lielākajā daļā ezeru nogulumu mūsdienās ievērojami nepārsniedz 20.–21. gadsimta vidējos rādītājus. izņemot Āraišu, Mazā Baltezera, Pinku ezera un Usma-1 parauga virsējos nogulumos. Velnezera nogulumu uztvērēju nogulumu (gan pavasara, gan

rudens) satur līdz pat 10 reīžu vairāk karbonātu nekā Sekšu nogulumu uztvērēja nogulumī. Palielināts karbonātu saturs ir arī Trikātas, M. Baltezera, Pinku un Bricu ezera jaunākajos (virsējais cm) nogulumos. Visu ezeru jaunāko nogulumu paraugos, izņemot Ūikuru un Usma-2, minerālā komponente ir mazāka par vidējo nogulumu serdē.

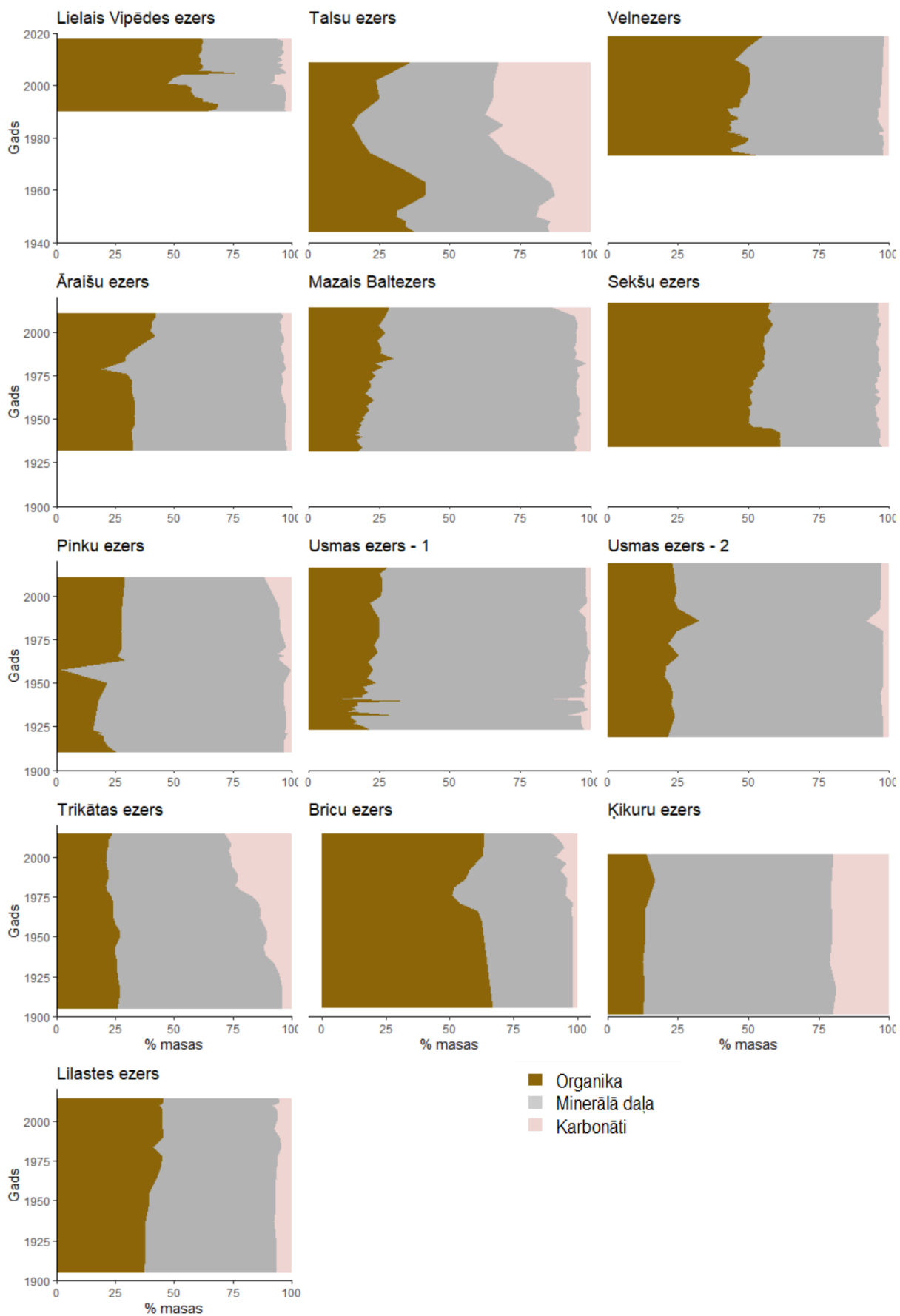
Glaciokarsta ezeru nogulumos ir vidēji vislielākais organikas saturs (vidēji 43,6 %), taču Ūikuru ezerā, kas arī ir glaciokarsta izcelsmes, ir vismazāk organikas no visiem ezeriem (vidēji 13,5 %). Glaciokarsta ezeros ir vidēji 8,1 % karbonātu, bet minerālais saturs ir viszemākais no visiem ezeru tipiem, vidēji 48,8%. Glacigēno ezeru nogulumu vidējais sastāvs ir ļoti līdzīgs piejūras ezeru nogulumu sastāvam – attiecīgi 32,6 % un 31,5 % organikas, 5,4 % un 5,7 % karbonātu un 62,0 % un 62,6 % minerālās daļas. Subglaciālo ezeru nogulumos ir vismazāk organiskā materiāla (25,4 %) un visvairāk karbonātu (14,1 %), minerālās daļas saturs ir 60,4 %.

Oligotrofajā Pinku ezera nogulumos otrs augstākais minerālo daļiņu saturs (74,6 %), atpaliekot no daudz lielākā, bet mezotrofā Usmas ezera 1. parauga (76,2 %). Vidējais minerālo daļiņu īpatsvars mezotrofo, eitrofo, hipereitrofo un distrofo ezeru nogulumos ir ļoti līdzīgs (attiecīgi 55,2 %, 57,1 %, 54,3 % un 58,2 %). Mezotrofo ezeru nogulumos vidēji ir visvairāk organiskā materiāla (41,2 %), vairāk nekā eitrofajos ezeros (38,1 %) un distrofajos ezeros (29,9 %). Salīdzinoši mazāk organiskā materiāla vidēji ir apskatītajos hipereitrofajos ezeros (26,4 %), bet Pinku ezera nogulumos ir vidēji 21,7 % organikas, lai gan vairāku atsevišķu ezeru paraugos vidēji ir mazāk organikas. Ar karbonātu saturu izceļas hipereitrofie ezeri (vidēji 19,3 %) un distrofie ezeri (vidēji 12,0 %), pērējo ezeru nogulumos ir vidēji 3,6–4,7 % karbonātu.



4.4. att. Nogulumu organikas, karbonātu un minerālā satura relatīvais sadalījuma salīdzinājums dažādas ģenēzes ezeriem. Kastveida grafiki – rādītāju izkliedes nogulumu urbumos; līnijas parāda datu mediānu. Melnās krāsas punkti – jaunāko nogulumu vai nogulumu uztvērēju dati, kas norāda mūsdienu relatīvo organiskā, karbonātiskā un minerogēnā materiāla relatīvo sadalījumu.

Tālāk redzamajos grafikos (4.5. attēls) attēlotas nogulumu sastāva izmaiņas laika gaitā. Kopumā ezeros pēdējās desmitgadēs organikas daudzums nogulumos ir nedaudz pieaudzis, bet ir izņēmumi – Trikātā ezers un Usma-2. Savukārt, Talsu, Āraišu, Lielajā Vipēdē un Bricu ezerā redzams periods ar samazinātu organikas saturu, pēc kura organikas apjoms nogulumos sāk pieaugt. Usmas ezera 1. paraugā un Mazajā Baltezerā organikas saturs vienmērīgi pieaug, bet Velnezērā – pieaug ar lielām svārstībām. Sekšu ezera nogulumos organikas daudzums strauji samazinājies laikposmā no 1940. līdz 1946. gadam, bet pēc tam vienmērīgi sācis pieaugt.



4.5. att. Karsēšanas zudumu metodes rādītāju izmaiņas atkarībā no vecuma nogulumu urbumu serdēs. Izstrādājis autors.

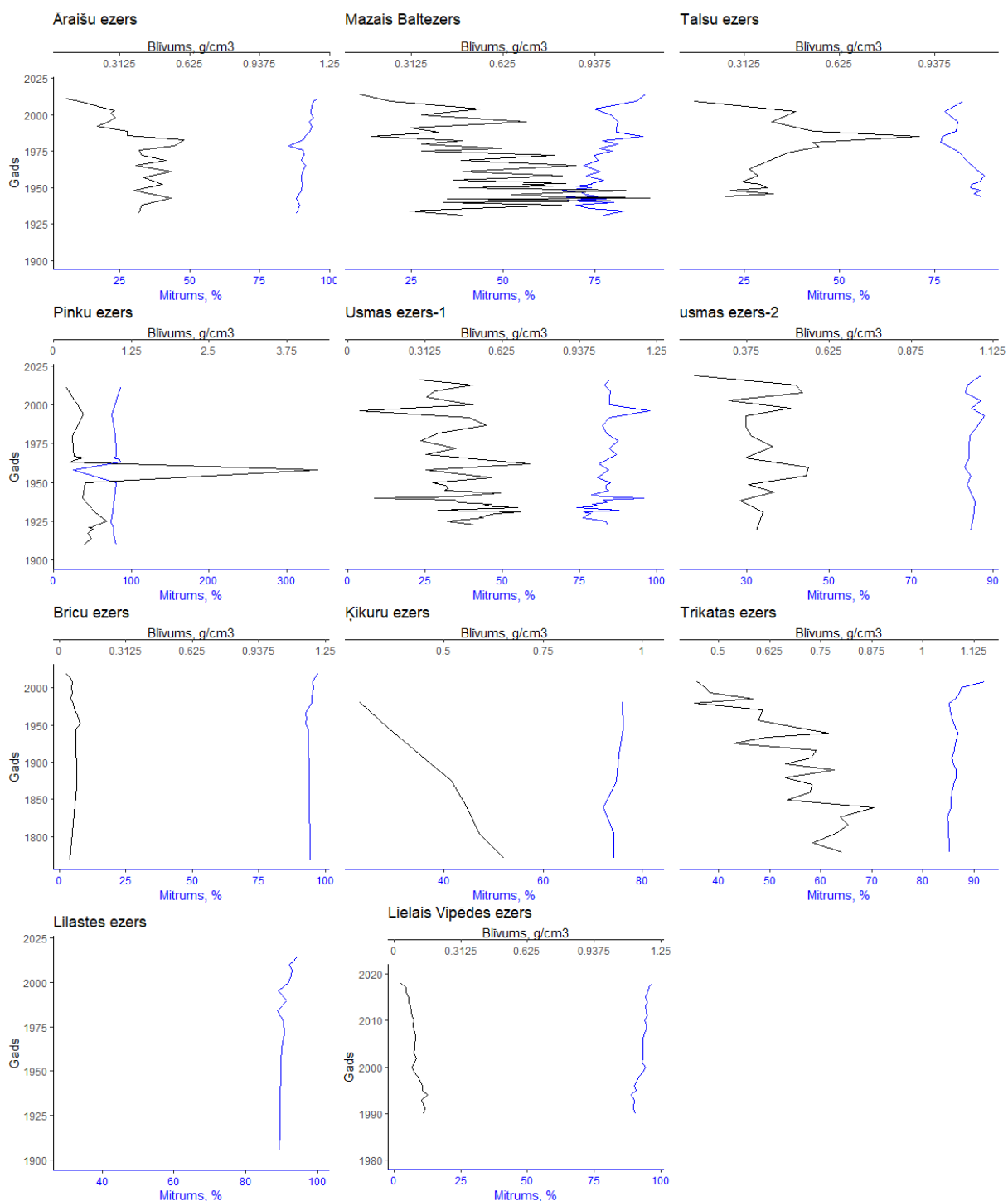
Karbonātu saturs mūsdienās ir salīdzinoši augsts trijos ezeros – Talsu, Trikātas un Ķikuru. Trikātas ezerā tas strauji pieaudzis kopš 20. gs. sākuma. Salīdzinoši lēnāk karbonātu saturs ir palielinājies Talsu ezera nogulumos, kuros ir bijis daudz karbonātu jau 20. gs. sākumā. Ķikuru ezerā karbonātu relatīvais īpatsvars palicis gandrīz nemainīgs, pat mazliet samazinājies. Kopš 1960tajiem gadiem karbonātu saturs pieaudzis Pinku un Bricu ezerā un pēdējā desmitgadē arī Mazajā Baltezerā. Pārējo ezeru nogulumos karbonātu saturs palicis nemainīgi zems, ar īslaicīgu paaugstināšanos ap 2000. gadu Lielajā Vipēdī un 1986. g. Usmas-2 paraugā, un Lilastes ezerā 20. gs. sākumā.

Minerālo daļiņu īpatsvars ezeru nogulumos laika gaitā palicis samērā nemainīgs, ar izņēmumiem: tas pēdējās desmitgadēs ievērojami samazinājies Trikātas, Āraišu un Mazā Baltezera nogulumos, nedaudz samazinājies arī Pinku ezera nogulumos, kur 1958. gada slānī novērojams liels minerālo daļiņu īpatsvars (97%).

Mitruma un/vai blīvuma mērījumu dati iztrūkst Lilastes, Sekšu un Velnezera, jo šo ezeru paraugi tika analizēti izkaltētā veidā, nevis to dabiskajā mitrumā. 4.6. attēlā redzamas mitruma un blīvuma izmaiņas katra ezera nogulumos vertikālā griezumā. Rezultāti aprakstīti sākot ar senākajiem nogulumiem (urbumu serdes virzienā no apakšas uz augšu jeb no senākiem uz jaunākiem nogulumiem).

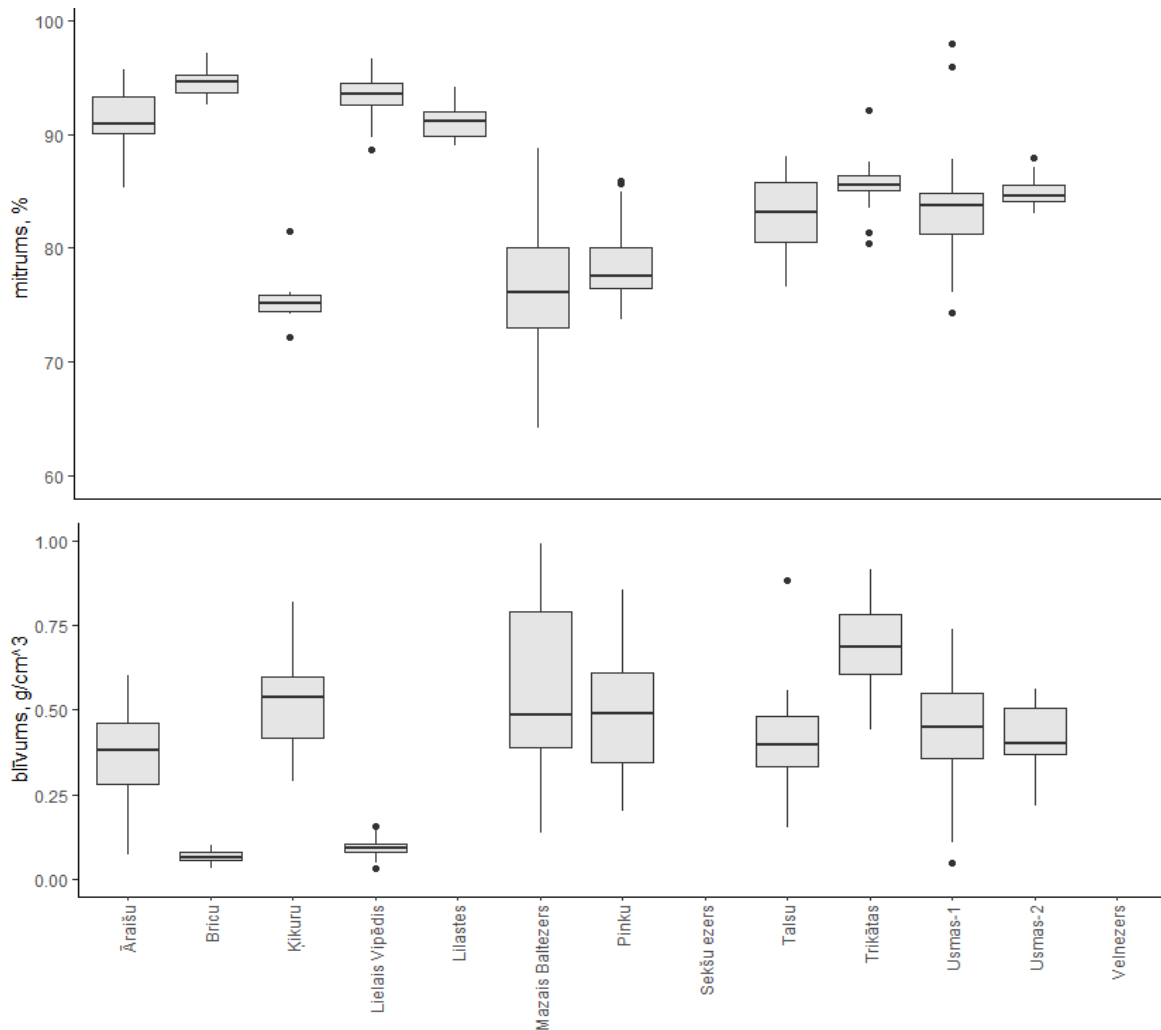
Āraišu ezeram dabiskais nogulumu mitrums vienmērīgi pieaug no 88 līdz 96,6 % visā nogulumu serdes griezumā, izņemot nelielu mitruma samazinājumu 22 cm dziļumā, kas atbilst 1979. gadam. Līdz šim dziļumam nogulumu blīvums ir svārstīgs, bet ar nemainīgu tendenci (ap 0,45 g/cm³). Par 1979. g. jaunākiem nogulumiem pakāpeniski samazinās blīvums, līdz 0,07 g/cm³ virsējiem nogulumiem.

Mitrums kopumā pieaug arī Mazā Baltezera nogulumu serdē, no līdz 88 %, taču mitrums samazinās 33–30 cm dziļumā, 1936.–1941. gadā uzkrātos nogulumos, kā arī 4–6 cm dziļumā, 1995.–2004. gadā. Nogulumu blīvums serdes lejasdaļā ir svārstīgs (0,4–1,1 g/cm³), taču novērojams blīvuma maksimums 1943.–1948. gada nogulumos un minimums, līdzīgi kā Āraišu ezerā, 1979. gadā. Kopumā nogulumi ar palielinātu mitrumu un samazinātu blīvumu atrodami 0–9 cm dziļumā, jo maksimālais mitrums tiek sasniegts gan 2 cm, gan 9 cm (1985. gads) dziļumā.



4.6. attēls. Mitruma un blīvuma izmaiņas nogulumos vertikālā griezumā.

Talsu ezera nogulumos no serdes apakšas līdz 9 cm dziļumam redzama pretēja tendence – mitrums samazinās, bet blīvums pieaug. 9 cm dziļumā (1985. gads) vērojams nogulumu blīvuma maksimums un mitruma minimums. Tālāk virzienā uz augšu blīvums strauji samazinās no 0,8 līdz 0,15 g/cm³, bet mitrums paliek salīdzinoši nemainīgs.



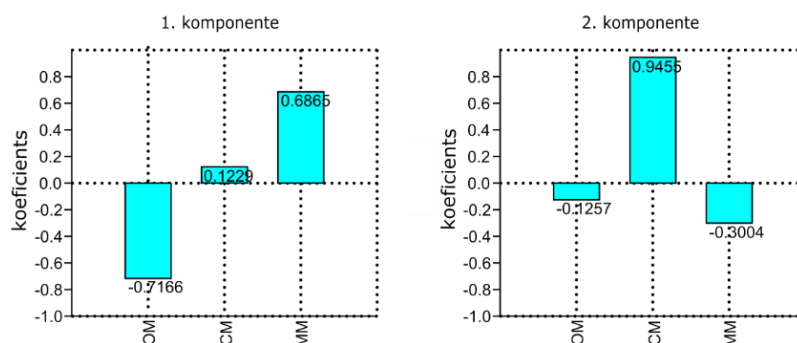
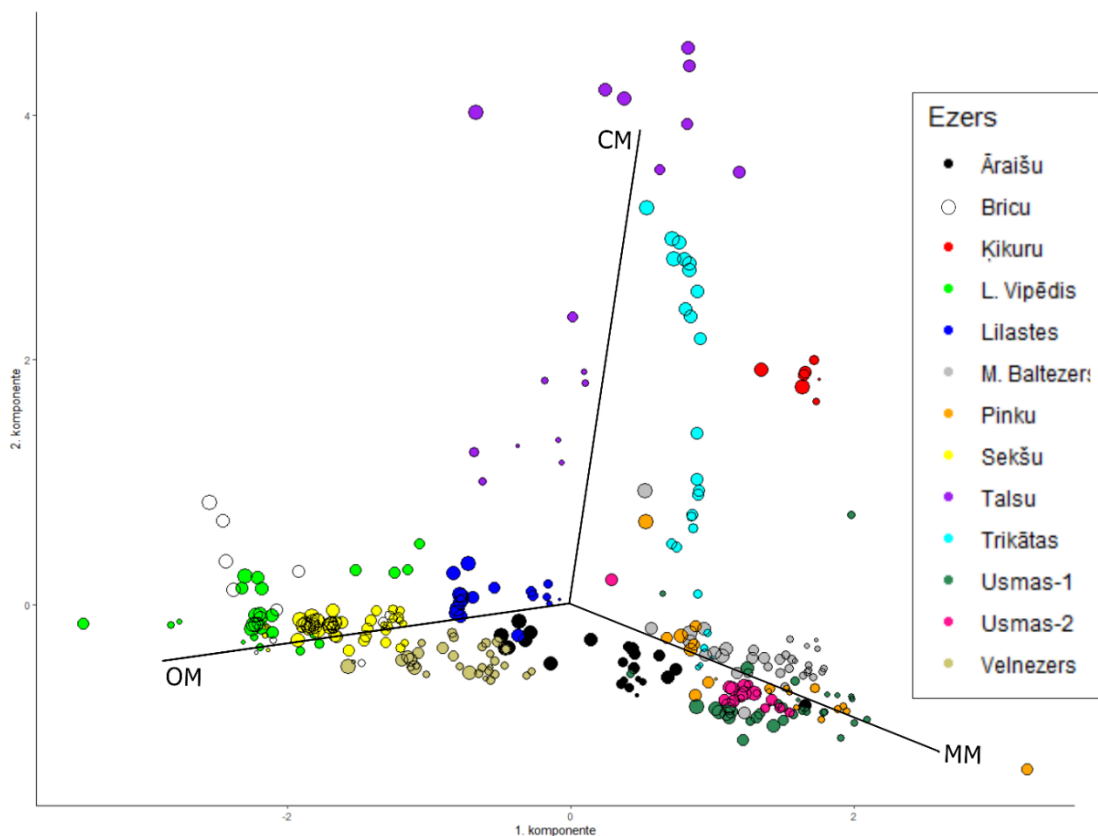
4.7. attēls. Kastveida grafiks nogulumu vidējām mitruma un blīvuma vērtībām.

Kastveida grafikos tika attēlotas mitruma un blīvuma mērījumu vidējās vērtības katram ezeram (4.7. att.). Vidējais mitrums jeb ūdens saturs nogulumos ir 86,4 %, bet vidējais sauses blīvums – 0,37 g/cm³. Vislielākais mitrums vidēji ir 94,4 % Bricu ezera nogulumos, vismazākais – Ķikuru ezera nogulumiem, 75,5%. Lielākais blīvums ir trikātas ezera nogulumiem, vidēji 0,69 g/cm³, bet vismazāk blīvi vidēji ir Bricu ezera nogulumi – 0,07 g/cm³.

Salīdzinoši vairāk mitruma ir Āraišu, Bricu, Lielā Vipēdes un Lilastes ezera nogulumos, tajos pašos ezeros (izņemot Āraišu) ir arī vismazākais nogulumu blīvums. Vismazākais blīvums ir Ķikuru, M. Baltezers un Pinku ezera nogulumiem, taču to blīvums būtiski neatšķiras no citu ezeru nogulumiem. Dažādu ezeru nogulumu paraugos blīvums ievērojami atšķiras, bet arī viena un tā paša ezera nogulumu griezumā blīvums var ievērojami variēt, piemēram, Mazā Baltezers paraugā tas svārstās no 0,30 līdz 1,13 g/cm³.

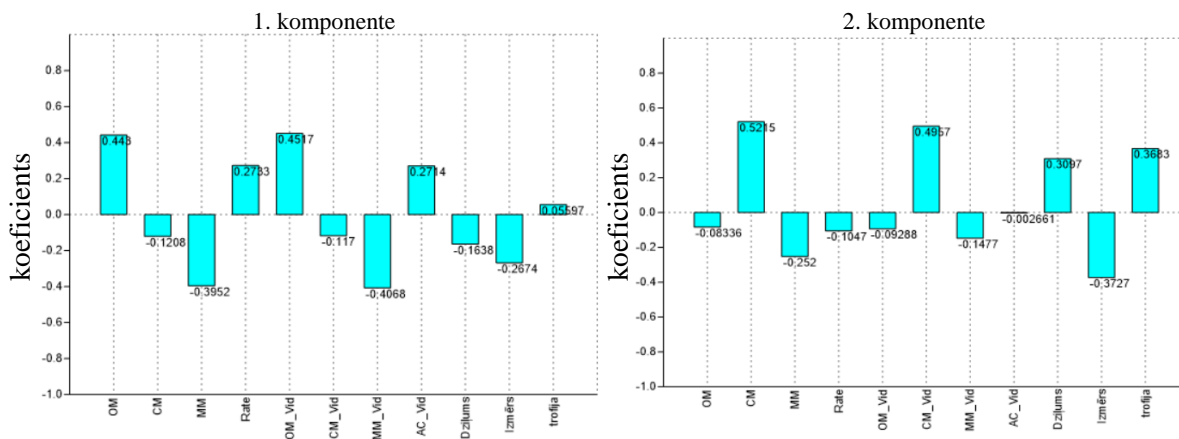
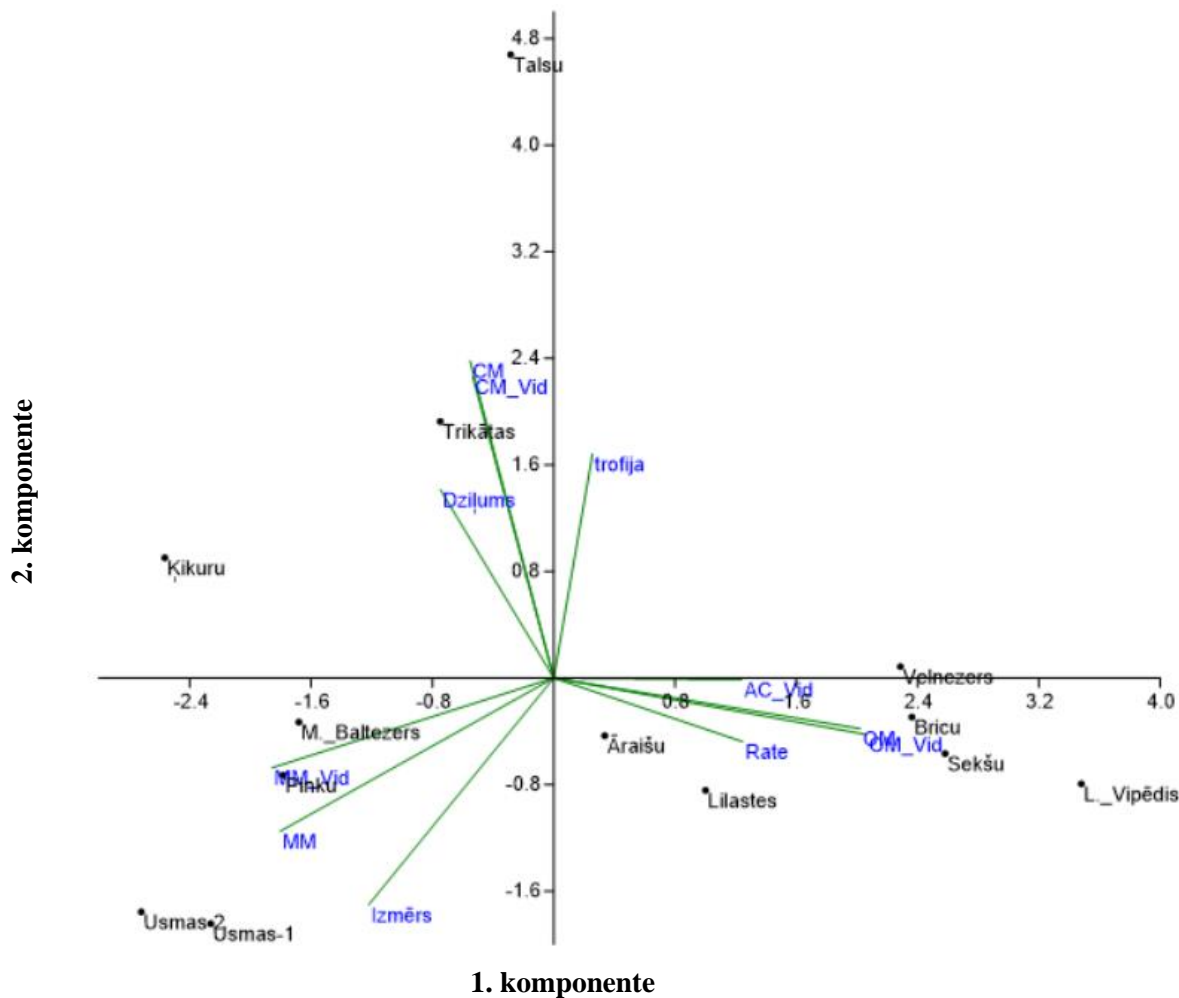
4.5. Primāro komponentu analīze

Primāro komponentu analīze (PCA) norāda (5.8. att.), ka pēc nogulumu sastāva samērā līdzīgi ir Pinku, Mazais Baltezers un Usmas ezers. Savā starpā līdzīgi ir Talsu un Trikātas ezeru nogulumu sastāvi, kur vairāk dominē karbonātiskā materiāla komponente. Pēc organikas īpatsvara savstarpēji līdzīgi ir Lilastes, Sekšu, Velnezera, Bricu un Lielā Vipēža ezera nogulumi. Pirmā PCA komponentes pozitīvo attiecību veido minerogēnā materiāla relatīvais pieaugums, bet negatīvo koeficientu pirmajā komponentē veido organogēnā materiāla relatīvais pieaugums (4.8. att.). Tikmēr otrā PCA komponente tiešā mērā saistāma ar karbonātiskā materiāla relatīvo attiecības pieaugumu nogulumos. Usmas, Pinku un Mazā Baltezera nogulumu minerālajam saturam laika gaitā ir tendence samazināties, kā to norāda PCA rezultāti, kur mazākie punkti 4.8. attēlā (senākie nogulumi) pāriet lielākos punktos (jaunāki nogulumi) tieši virzienā prom no minerogēnās komponentes. Tikmēr Talsu un Trikātas ezeros vērojams, ka senākie nogulumi (mazāki punkti 4.8 att.) ir ar mazāku karbonātu piejaukumu, bet tuvāk mūsdienām karbonātu relatīvā proporcija nogulumos pieaug otrās PCA komponentes virzienā. Gandrīz nemainīgi nogulumu raksturlielumi ir Ķikuru ezeram.



4.8. attēls. Primāro komponentešu analīze nogulumu saturam. 1. un 2. komponente izskaidro 99,99% datu izkliedes. Katrs punkts grafikā attēlo vienu paraugu. Melnās asis attēlo sākotnējo datu asu virzienus: OM – organika, CM – karbonāti, MM – minerālā daļa. Punktu lielums apzīmē temporālo izmaiņu – mazāki punkti ir senāki nogulumi, bet lielāki punkti ir jaunāki nogulumu. Zem grafika redzami koeficienti, kas piemēroti katram faktoram, aprēķinot katras no asīm vērtību katram paraugam.

PCA analīze nogulumu virsējiem (mūsdienu) un vidējiem 20. – 21. gs. nogulumu sastāva rādītājiem, kā arī ezeru vidi raksturojošiem parametriem veikta ar mērķi aplūkot kopējās nogulumu uzkrāšanās likumsakarības un to varbūtējo sakarību ar ezeru morfoloģiskajiem un vides parametriem (4.9. att.). Izmantojot datu vidējos rādītājus, iespējams katru ezeru apzīmēt ar vienu punktu un tādējādi skaidrāk parādīt vairāk un mazāk atšķirīgos ezerus pēc vides apstākļiem tajos.



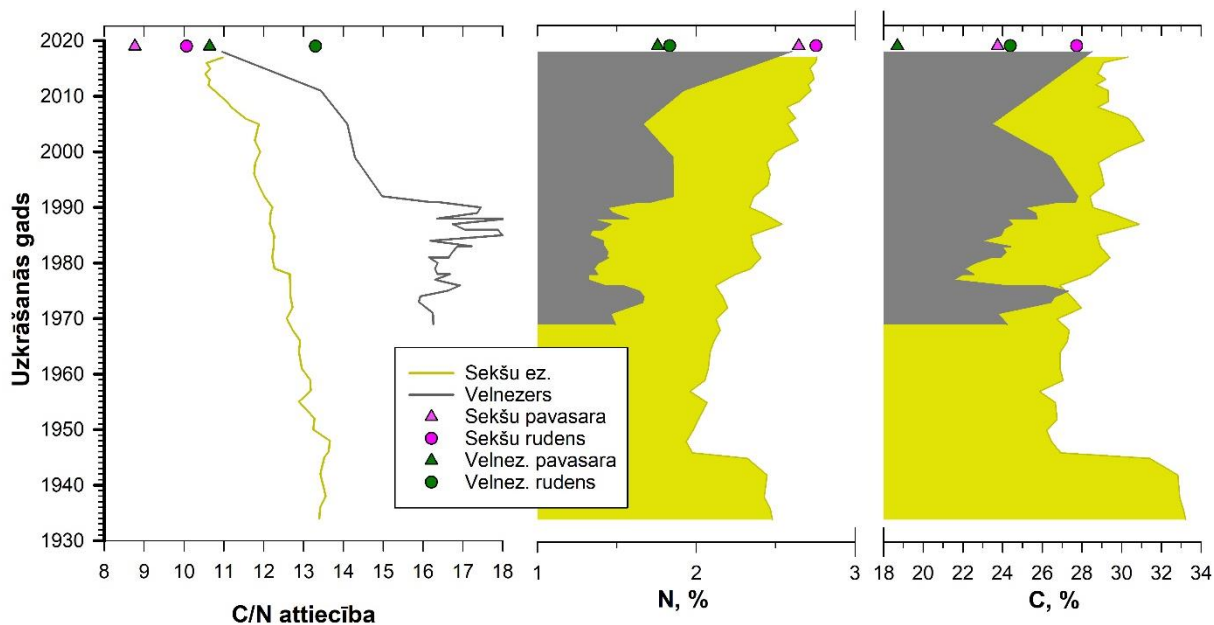
4.9. attēls. Primāro komponentu analīze nogulumu virsējiem un vidējiem (MM_V, OM_V un CM_V) sastāva rādītājiem, kā arī ezerus raksturojošiem parametriem. 1. un 2. komponente izskaidro 68,1 % no datu izkliedes. 1. komponente attēla kreisajā apakšējā daļā; 2. komponente attēla labajā apakšējā daļā. OM – organikas, CM – karbonātu, MM –minerogēnā komponentes saturs virsējos nogulumos; *rate* – nogulumu uzkrāšanās ātrums mūsdienās; OM_Vid – vidējais organikas, CM_Vid – vidējais karbonātu, MM_Vid – vidējais minerogēnais saturs un AC_Vid – vidējais uzkrāšanās ātrums ezeros 20.–21. gs. . Dzilums – ezera vidējais dziļums, Izmers –

ezeru izmēru (ha) raksturojošs skaitlis, aprēķināts kā $\log(\sqrt{s})$, kur s – ezera spoguļlaukums. Trofija – ezeru trofiskuma līmenim atbilstošs Karlsona trofijas indekss.

Ezeru nogulumu paraugu datu izkliede pirmo divu primāro komponentu veidotajā plaknē redzama 4.9. attēlā. Sekšu un Velnezera virsējos nogulumus atspoguļo nogulumu uztvērēju dati. Pēc visiem parametriem izdalāma grupa Velnezers – Sekšu ezers – Bricu ezers, kuriem raksturīgs liels organiskā materiāla īpatsvars nogulumos, salīdzinoši liels nogulumu uzkrāšanās ātrums un mazs ezera izmērs. Tuvu atrodas arī Pinku ezers un Mazais Baltezers ar lielu minerālo daļiņu īpatsvaru, un abi Usmas ezera paraugi, kuri ir līdzīgi gan pēc uzkrāšanās vides, gan sastāva. Pēc sākotnējo datu asu virzieniem, lielāks nogulumu uzkrāšanās ātrums proporcionāls lielākam organikas saturam nogulumos, plašāku ezeru nogulumos ir lielāks minerālo daļiņu īpatsvars, bet vairāk karbonātu uzkrājas dziļākos un eitrofākos ezeros.

4.5. C/N analīzes rezultāti

Kopumā Sekšu ezera nogulumos gan oglekļa, ganslāpekļa ir vairāk nekā Velnezera nogulumos. Visos nogulumu uztvērējos ir mazāk oglekļa nekā gultnes nogulumu paraugos, bet Velnezera uztvērēju paraugos ir arī zemāks slāpekļa saturs. Ja apskata C/N attiecību, tad izteikti lielāka C/N vērtība ir Velnezērā, kur tā sasniedz pat 18 no 1970. līdz 1990. gadam, bet tuvāk mūsdienām strauji samazinās (4.10. att.). Tikmēr Sekšu ezera C/N rādījumi pakāpeniski samazinās sākot jau ar 1930. gadu no 13 līdz 11 mūsdienās. Oglekļa/ slāpekļa attiecība abu ezeru nogulumos pamazām samazinās, kas liecina, ka mūsdienās tajos uzkrājas relatīvi vairāk slāpekļa un dominējoša loma ir autohtonam organiskajam materiālam. Nogulumu uztvērēju paraugos ir zemākas C/N vērtības nekā urbumu seržu paraugos, īpaši Sekšu ezera nogulumu uztvērējos.



4.10. att. Slāpekļa un oglekļa saturs ezeru nogulumos. (“rudens” apzīmē laika periodu aug. – jan.; “pavasaris” apzīmē laika periodu feb – aug.).

Rudens/ziemas sākuma nogulumu uztvērēju paraugos ir vairāk oglekļa, tādējādi ir paaugstināta arī C/N attiecība, salīdzinot ar pavasara paraugiem (skat. 4.10. att.). Velnezera nogulumi, kas uzkrājušies pirms 1990. gada pēc C/N attiecības atbilst vaskulāro augu izcelsmes organiskajam materiālam, bet Velnezera virsējie nogulumi, Sekšu ezera nogulumi un Velnezera nogulumu uztvērēja nogulumi atbilst jauktam fitoplanktona un vaskulāro augu izcelsmes organiskajam materiālam. Sekšu ezera nogulumu uztvērējos dominē fitoplanktona izcelsmes organiskais materiāls, liecinot par aļģu augšanas augstāku intensitāti Sekšu ezerā, īpaši pavasarī un vasaras sākumā.

5. DISKUSIJA

Bakalaura darbā aplūkoti kā mūsdienā, tā arī 20. un 21. gs. uzkrājušies nogulumu dažādas ģenēzes un trofijas ezeros. Nogulumu sastāva un uzkrāšanās ātruma izmaiņas ezeros norāda uz trofiskuma pieaugumu 20.–21. gs. laikā. Nogulumu uzkrāšanās ātrums mūsdienās ir vidēji 0,47 cm gadā, bet vidējais nogulumu uzkrāšanās ātrums 20. gs. sākumā ir bijis 0,38 cm gadā, kas norāda, ka kopumā nogulumu uzkrāšanās ātrums mūsdienās ir pieaudzis. Daudzos no ezeriem ir novērojami uzkrāšanās ātruma maksimumi 20. gs. vidū un otrajā pusē, tāpēc nevar apgalvot, ka nogulumu uzkrāšanās ātrums ir ievērojami pieaudzis tieši pēdējās desmitgadēs.

Pēc (Zawiska et al., 2020.) datiem nogulumu uzkrāšanās apjoms Sekšu ezerā ir apmēram 0,6 cm gadā. Bakalaura darbā noskaidrots, ka nogulumu uztvērējos Sekšu ezerā uzkrājas ap 0,45 cm nesablīvētu nogulumu gadā. Šī uzkrāšanās apjoma atšķirība daļēji varētu būt skaidrojama ar uztvērējā uzkrātā organiskā materiāla noārdīšanos pirms parauga ievākšanas (reference). Nozīmīgākais cēlonis varētu būt atšķirība pašos nogulumos, kas tiek pētīti, tas ir, vieni ir iegūti vienā sezonā (nogulumu uztvērēja paraugi), bet otri izgulsnējušies ilgākā laika periodā (ar gravitācijas urbi ņemtie paraugi). Fundamentāla atšķirība, iespējams, ir tieši šī iemesla dēļ, jo ar gravitācijas urbi ņemtajos paraugos 1 cm paraugs var izveidoties pat vairāku gadu laikā, nogulumu urbuma paraugam ir cits blīvums un izšķirtspēja un paraugu uzkrāšanās apjoms tiek pārrēķināts uz vidējo vērtību, kamēr nogulumu uztvērējs uztver nogulas konkrētajā sezonā, uzkrājot paraugu ar atšķirīgu blīvumu un izšķirtspēju). Nogulu uzkrāšanās gadu no gada var variēt (citu gadu vairāk, citu mazāk), ko nosaka vides un klimatiskie apstākļi (Alighalehabakhani et al. 2016). Nogulumu paraugi jau ir sakopojums no vairākiem gadiem un nav iespējams nošķirt, kuri nogulumi veidojušies kādā sezonā vai gadā. To varētu precīzāk noteikt, ja abu ezeru virsējie nogulumi būtu laminēti (varves), bet šajā gadījumā tā nav. Kaut arī rādījumi ir līdzīgi, nav korekti šos paraugus lineāri salīdzināt jau iepriekš minēto iemeslu dēļ. Svarīgākais šeit ir tas, ka ir iespējams redzēt kopējās tendences un reāli noskaidrot, kas šobrīd notiek ezerā kā sedimentācijas vidē un kāds sastāvs ir mūsdienās izgulsnējošajam nogulām, kuras pēc kāda laika sablīvēsies un jau veidos ezera nogulumus – gitiju.

Rezultāti norāda, ka ezeri kļuvuši eitrofāki, jo no ar makrofītiem dominējošiem ezeriem, tie kļuvuši par ar aļģēm dominējošiem ezeriem, uz ko norāda zemā C/N attiecība (att 5.10.) (Stivrins et al., 2019). Organiskā materiāla daļēja noārdīšanās diaģenēzes sākumstadijā var izmainīt ķīmisko elementu koncentrācijas un tādējādi arī C/N attiecību nogulumos. Piemēram, C/N attiecība svaigas koksnes paraugos parasti ir augstāka nekā nogulumos apglabātas koksnes paraugos (Meyers et al., 1995). Šī izmaiņa atspoguļo oglekļa bagāto cukuru un lipīdu selektīvo noārdīšanos apraktajā koksne. Turpretī aļģu izcelsmes organiskā materiāla C/N attiecība var

pieaugt aļģu grimšanas laikā un nogulsnešanās sākumposmā, jo izlases veidā noārdītas tiek to ar slāpekli bagātās olbaltumvielas. Kā vispārīga parādība ezeru nogulumiem minams, ka nogulumu virsējos ~ 40 cm C/N vērtību palielināšanās virzienā uz leju (Sarazin et al., 1992) norāda uz aktīvu organiskā materiāla denitrifikāciju mikroorganismu darbības rezultātā. Šī tendence reizēm ir novērojama ezeros ar augstu produktivitāti, kādi ir arī darbā aplūkotie ezeri. Tomēr nogulumu organiskā materiāla ķīmiskā sastāva izmaiņas parasti nav tik lielas, lai atsvērtu lielās C/N attiecības atšķirības starp augu un aļģu izcelsmes organisko materiālu (Meyers et al., 2001), un maskētu vērā ņemamas izmaiņas ezera ekosistēmā.

Augstais relatīvais oglekļa saturs rudens/ziemas perioda nogulumu uztvērēju paraugos varētu būt skaidrojams ar vēlo ledus segas parādīšanos 2019. gada beigās, kas nodrošināja ilgāku sauszemes sanesu materiāla piegādi ezera sedimentācijas videi. Tai pat laikā, svarīgi norādīt, ka Velnezera nogulumu uztvērējos uzkrājas aptuveni 178 g oglekļa uz m² gadā. Sekšu ezera nogulumu uztvērējos uzkrājas 228 g oglekļa uz m² gadā. Ekstrapolējot šos uzkrāšanās ātrumus uz visu ezera platību, Velnezerā gadā uzkrājās 4,46 t oglekļa, bet Sekšu ezerā – 26,8 t oglekļa. Šie aprēķini norāda, ka ezeri ir nozīmīgas oglekļa krātuves un uzkrāšanās notikusi nepārtraukti 20.–21.gs.

Tiešā mērā pielīdzināt sedimentācijas apjomu uztvērējos nogulumu uzkrāšanās apjomam ezera gultnē ir problemātiski, jo nogulumi piedzīvo dažādas pēcsedimentācijas izmaiņas. Tomēr tas ļauj izvērtēt ikgadējās izmaiņas ezera produktivitātē, kā arī relatīvi (pat kvantitatīvi) aplēst vielu apriti un pēcsedimentācijas procesus ezerā. Tā piemēram, Velnezerā ievietotajos nogulumu uztvērējos konstatēta aptuveni 10 reižu augstāka karbonātu koncentrācija nekā urbuma serdes nogulumos (4.4.att.). Pie tam, pēc uztvērējā uzkrātā nogulu apjoma aplēstais uzkrāšanās ātrums ir divreiz lielāks par serdes virsējos nogulumos aprēķināto. Tas liecina, ka Velnezerā sākotnēji izgulsnētie karbonāti varētu nesaglabāties nogulumos ilgstoši. Pēc literatūras apskata, karbonāti ūdenī un nogulumos atrodas dinamiskā līdzsvarā un to uzkrāšanos ietekmē apkārtējās vides faktori, tādi kā pH, poru gāzu sastāvs (Dean 2006). Tā kā nenotiek karbonātu sadalīšanās uzkrāšanās laikā viena gada griezumā, iespējams, ka karbonāti šķīst pēc nogulumu aprakšanas, kad, sadaloties nogulumu organiskajām vielām, mainās poru gāzu sastāvs (Dean 2006). Kopumā gan oglekļa un slāpekļa saturs nogulumu uztvērējos ir zemāks nekā vidēji nogulumos, kas liek domāt, ka daļa organiskā materiāla varētu būt noārdījusies, kamēr tā atradās nogulumu uztvērējos, bet tiešu liecību par to nav.

Pēc darbā apskatītajiem datiem nogulumu uzkrāšanās ātrumu un sastāvu nevar prognozēt pēc ezeru ģenēzes un trofijas, kuros tie uzkrājas. Piemēram, nogulumu uzkrāšanās ātrums un uzkrāto nogulumu sastāvs oligotrofajā Pinku un eitrofajā Mazajā Baltezerā ir līdzīgs (4.9. att.). Tiem līdzīgs ir arī stipri eitrofā Āraišu ezera nogulumu sastāvs. Līdzīgs nogulumu sastāvs ir

Usmas ezera paraugos, Mazajā Baltezerā un Pinku ezerā, lai arī šiem ezeriem katram ir atšķirīgs trofijas līmenis, ģenēze un dziļums (2.2. tabula). Trofiskuma pieaugumu ezeros varētu saistīt ar organiskā materiāla un karbonātu kopējā īpatsvara pieaugumu ezeros. Šis parametrs nav derīgs dažādu ezeru salīdzināšanai, bet tikai vides izmaiņu novērtēšanai laika gaitā atsevišķi katra ezera ietvaros.

Pēc nogulumu vidējā sastāva nevar noteikt viennozīmīgas tā sakarības ar ezeru ģenēzi. Atšķirības ezeru nogulumu saturā vairāk izskaidrojamas nevis ar to ģenēzi vai trofijas līmeni, bet gan lokāliem faktoriem. Daudz karbonātu uzkrājas pie apdzīvotajām vietām esošajos Talsu, Trikātas un Ķikuru ezeros. Lielo vidējo nogulumu uzkrāšanās vērtību var skaidrot ar intensīvas nogulumu uzkrāšanās epizodēm Velnezerā, Mazajā Baltezerā, Talsu, Pinku un Usmas ezerā, kuras varētu būt izraisījusi aktīvā cilvēka saimnieciskā darbība 20. gs. otrajā pusē. Velnezera nogulumos vērojams uzkrāšanās ātruma maksimums 1980-tos gados, šajā periodā notika Velnezera apkārtnes apbūve (Biedrība "Latvijas.. S.a.) un domājams, ka nogulumu uzkrāšanās ātruma pieaugums saistīts ar pastiprinātu augsnes eroziju būvdarbu laikā. Lai gan šajā periodā nogulumu uzkrāšanās ātrums pieaudzis līdz 5 reizēm (4.5. att.), nav būtiski palielinājies minerālo daļiņu īpatsvars nogulumos (4.5. att.), vērojamas tikai nelielas tā svārstības. Iespējams, ka būvdarbu veikšana ezera baseinā ne tikai palielināja eroziju, bet arī īslaicīgi palielināja barības vielu daudzumu ūdenī, palielinot produktivitāti uz ko norāda C/N paaugstinātie rādītāji (4.10. att.) apstiprinot sauszemes organogēnā materiāla pastiprinātu pieplūdi.

Velnezera nogulumus un cilvēka ietekmi uz to sastāvu savā bakalaura darbā pētījusi LU ĢZZF studente (Dručka, 2014). A. Dručka izveidojusi Velnezera batimetrisko karti pielietojot eholoti un pētījusi ezera nogulumus, pēc pētījuma rezultātiem secināts, ka Velnezera nogulumu augšējā daļā (0–0,3 m dziļumā) novērojamas augstas smago metālu koncentrācijas un virsējos 70 cm izteikti pieaug minerālvielu relatīvais saturs, no 10–15% līdz 50–60%. Te gan jāpiebilst, ka Dručka savā darbā izmantojusi krievu tipa urbi (mīksto nogulumu urbis ar no sāniem noslēdzamu kameru), un ar šo urbi nav iespējams iegūt ar ūdeni piesātināto virsējo nogulumu slāni. Tas nozīmē, ka analizētie nogulumu atbilst mazliet dziļākam un senākam slānim un nav precīzi zināms pašu virsējo nogulumu sastāvs. Dručkas darbā secināts, ka smagie metāli ezerā nonākuši antropogēnā piesārņojuma rezultātā, un domājams, ka minerālvielu pieaugums nogulumos saistāms ar krastu atmežošanas un apbūvēšanas sākumu, tomēr nogulumu vecums Velnezerā A. Dručkas darbā nav noteikts. Līdz ar to, nav iespējams salīdzināt šajā bakalaura darbā iegūtos rezultātus ar iepriekš norādīto pētījumu. Velnezera ekosistēmu mūsdienās stipri ietekmē cilvēka iedarbība (atkritumi, krastu erozija, lietus ūdens notece no ielām un namu

pagalmiem). Tā sateces baseinu pārsvarā aizņem klaja parkveida teritorija, kura ir vietējo iedzīvotāju iecienīta atpūtas vieta.

Pēc ezeru nogulumu datiem iespējams izsekot atsevišķus notikumus ezeru baseinos. Tā piemēram, Āraišu ezera nogulumos konstatētais maksimālais minerālā materiāla saturs 1979. gadā iespējams saskan ar 1975.–1979. gadā notikušo Āraišu ezerpils arheoloģiskās izpētes 2. posmu. Lai arī ezera līmenis tika pazemināts jau 1966.–1969. gadā uz arheoloģiskās izpētes laiku, tas pēc izpētes darbu beigšanas tika atjaunots sākotnējā augstumā, izmantojot uz ezera iztekas izbūvētas slūžas (Apals 1983). Pēc 1979. gada ezera līmenis vairs netika atjaunots, un var novērot samazinātā ūdenslīmeņa ietekmi uz ezera ekosistēmu, kad kopš 1979. gada strauji pieaudzis organikas saturs ezeru nogulumos, liecinot par trofiskuma palielināšanos.

Kā liecina C/N attiecību zemās vērtības Velnezērā un Sekšu ezerā, tad abu ezeru ekosistēmu stāvoklis pasliktinās. Sekšu ezera ekoloģisko stāvokli 2014. gadā pētījusi LU ĢZZF studente D. Zariņa; darbā secināts, ka Sekšu ezers ir augstas ekoloģiskās klases pēc taksonu skaita un bioloģiskās daudzveidības un pēc Karlsona trofiskā indeksa atbilst eitrofa ezera sākumstadijai vērtējot ūdens caurredzamību, autofāgu aktivitāti, anoksijas apstākļus ezerā un aļģu sugu sastāvu (Zariņa 2014). Sekšu ezers ir ticis pētīts jau vismaz kopš 20. gs. sākuma, kad tas ir bijis ar zemu bioloģisko produktivitāti. Kuptčs (Kuptsch, 1927) Savā pētījumā par Rīgas apkārtnes ezeru ekoloģiju min ūdens caurredzamību 5,8 m jūnija vidū (oligotrofs ezers). Sekšu ezera stāvokļa pakāpeniska pasliktināšanās sākusies līdz ar blakusesošās sūkņu stacijas „Baltezers” izveidi 1904. gadā, kad tajā strauji kritās ūdenslīmenis un sākās eitrofikācijas procesi (Jansons, 1997). Sekšu ezera nogulumos 40 cm dziļumā (Pēc nogulumu vecuma atbilst apm. 1950. gadam) vērojamas liecības par krasu apstākļu maiņu, kuras rezultātā organisko vielu saturs nogulumos nokrities par apmēram 10%. Šis notikums ir saistāms ar 1953.-1965. gada līdz ar ezera līmeņa papildināšanu ar ūdeni no Mazā Baltezera, kā rezultātā eitrofikācijas intensitāte krasi pieauga (Zawiska et al., 2020). Baltezera ūdens saturēja vairāk barības vielu un kopumā izjauca Sekšu ezera ūdens ķīmisko līdzsvaru.

Nogulumu uztvērēju nogulumu analīžu rezultāti samērā labi sakrīt ar atbilstošo ezeru virsējo nogulumu analīžu rezultātiem un pat papildinat tos. Aplūkojot organogēno, minerogēno un karbonātisko materiālu relatīvās proporcijas ezeros, redzams, ka mūsdienās uzkrātie nogulumu (virsējais cm ezeru nogulumos) vidēji satur 38% organiskā materiāla, bet ilgtermiņa griezumā 20. un 21. gs. organiskā materiāla ezeru nogulumos tomēr ir mazāk – 35% (4.4.att.). Pētītajos ezeros nogulumu uzkrāšanās ātrums 20. gs. sākumā, kā noskaidrots šajā darbā, ir samērā liels un organisko vielu saturs dziļākos nogulumu slāņos nesamazinās, tāpēc ir pamats uzskatīt, ka organisko vielu noārdīšanās diaģenēzes procesā ievērojami nesamazinātu ilgstoši noglabāto nogulumu apjomu, salīdzinot ar ikgadēji izgulsnētajiem. Trikātas ezera nogulumos,

atšķirībā no citiem ezeriem, organikas saturs kopš 1960tajiem gadiem ir mazliet samazinājies. Tam par iemeslu varētu būt samazināta notekūdeņu pieplūde, kas samazina barības vielu daudzumu ezerā un līdz ar to – aļģu produktivitāti. L. Vipēdī, Āraišu, Talsu, Bricu ezeru nogulumos attiecīgi 2002. g., 1979. g., 1985. g., 1960.-1970.g. ir vērojamas īslaicīgas nogulumu minerālā īpatsvara pieauguma epizodes, pēc kurām atkal pieaug nogulumu organikas saturs. Varbūt tas saistāms ar palielinātu sanešu pieplūdi, kurai seko barības vielu daudzuma ūdenī pieauguma izraisīta eutrofikācijas palielināšanās. Būtu nepieciešams uzkrāt datus par vairāk ezeriem, lai droši varētu spriest par šīm likumsakarībām.

Visu ezeru paraugos var novērot, ka blīvums nogulumu virsējos 50 cm samazinās virzienā uz augšu, kas būtu gaidāms, notiekot vecāko nogulumu sablīvēšanās procesam laika gaitā un virsējo nogulumu radītā spiediena rezultātā. Šo tendenci pārtrauc atsevišķas blīvuma pieauguma epizodes, kas saistāmas ar organiskā materiāla īpatsvara samazināšanos, uzskatāmi tas redzams izteiktajiem nogulumu blīvuma maksimumiem Āraišu, Bricu Talsu un Pinku ezeru nogulumos, kuri atbilst paraugiem ar augstu minerālo un attiecīgi zemu organisko daļiņu saturu (4.4., 4.6. att.). Nogulumu mitruma izmaiņas līdz ar dziļumu nav tik izteiktas, reizēm tās maz saistītas ar nogulumu blīvuma izmaiņām, kā Ķīkuru ezera paraugos. Iespējams, ka nogulumu mitrumu ietekmē vēl citi apstākļi, piemēram, minerālo daļiņu granulometriskais sastāvs un organiskā materiāla izcelsme.

Izstrādājot šo pētījumu, bakalaura darba autors saskārās ar zināmu problēmu – Latvijas ģeoloģijā nav skaidri definēta atšķirība starp nogulām un nogulumiem ezeros, kas nereti rada pārpratumus, lietojot atšķirīgus terminus. Balstoties uz šajā darbā analizēto ezeru nogulumu raksturlielumiem, bakalaura darba autors piedāvā definēt vārdu “ezera nogulas jeb dūņas” – nogulumu augšējā, nekonsolidētā, organogēnā un minerogēnā ar ūdeni piesātinātā (dabīgais mitrums >80%) daļa, kura uzkrājusies pēdējo 20–50 gadu laikā un joprojām ir saistīta ar ezera vidi. Nogulu definēšanu būtu nepieciešams pilnveidot pēc papildus pētījumu veikšanas un lielākas virsējo ezeru nogulumu datu kopas analīzes.

6. SECINĀJUMI

- 1) C/N attiecība Sekšu un Velnezera nogulumu serdēs samazinās virzienā uz augšu, kas varētu liecināt par pieaugošu aļģu dominanci.
- 2) Dažādas ģenēzes un trofijas ezeru nogulumi var būt ar līdzīgu sastāvu un pēc šiem parametriem nav iespējams prognozēt ezeru nogulumu uzkrāšanās apjomus.
- 3) Lielāks nogulumu uzkrāšanās ātrums proporcionāls lielākam organikas saturam nogulumos un tādējādi arī mazākam nogulumu blīvumam.
- 4) Lielāku ezeru nogulumos ir lielāks minerālo daļiņu īpatsvars, jo dominē dinamiskāki hidroloģiskie apstākļi.
- 5) Vairāk karbonātu uzkrājas dziļākos un eitrofākos ezeros, tādos kā pētītie Talsu un Trikātas ezeri.
- 6) Trofiskums kā parametrs nav ieteicams dažādu ezeru salīdzināšanai, bet izmantojams tikai vides izmaiņu novērtēšanai laika gaitā viena ezera ietvaros. Dažādiem ezeriem pat līdzīgos dabas un ģeoloģiskajos apstākļos novērojams ievērojami atšķirīgs trofijas līmenis un tā izpausmes.

IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS

Publicētie avoti:

- Amon, L., Veski, S., Vassiljev, J. 2014. Tree taxa immigration to the eastern Baltic region, southeastern sector of Scandinavian glaciation during the Late-glacial period (14,500-11,700 cal. B.P.). *Vegetation History and Archaeobotany*, 23, 207 – 216.
- Andrén, T., Björck, S., Andrén, E., Conley, D., Zillén, L., Anjar, J. 2011. The Development of the Baltic Sea Basin During the Last 130 ka. *Central and Eastern European Development Studies (CEEDES)*. 75–97.
- Alighalehbabakhani, F., Barkach, J., Miller, C., Dadatiyan Abenkar, S. M., 2016. Estimates of sediment trapping rates for two reservoirs in the Lake Erie watershed: Past and present scenarios. *Journal of Hydrology*, November 2016.
- Apals, J., 1983. Par Āraišu ezerpils izpēti. *Jaunā Gaita* nr. 145-146, (4-5) 1983, nr. 147, (1) 1984. Skatīts 18.05.2021. Pieejams://jaunagaita.net/jg145/JG145-147_Apals.htm
- Apolinarska, K., Woszczyk, M., Obremaska, M. 2011. Late Weichselian and Holocene palaeoenvironmental changes in northern Poland based on the Lake Skrzyńka record. *Boreas*, 2011, Vol. 41, 292-307.
- Apsīte, E., Strautnieks, I., Latkovska, I. 2018. IV “Virszemes ūdeņi” 3.4. nodaļa. “Ledus režīms” Nikodemus, O., Kļaviņš, M., Krišjāne, Z., Zelčs, V. (zin. red.) *Latvija. Zeme. Daba. Tauta. Valsts*. Rīga, Latvija: LU, LVAf un VARAM, 2018.
- Barthelmes, A., de Klerk, P., Prager, A., Theuerkauf, M., Unerseher, M., Joosten, H. 2012. Expanding NPP analysis to eutrophic and forested sites: significance of NPPs in a Holocene wood peat section (NE Germany). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2012, Vol. 186, 22-37.
- Belle, S., Tönno, I., Stivrins, N., Freiberg, R., Veski, S. 2018. Abrupt rise in the contribution of CH₄-derived carbon to benthic secondary production of a shallow hemiboreal/boreal lake. *Journal of Quaternary Science*, 2018, Vol. 33, 969-976.
- Blaauw, M. 2010. Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology* 5, 2010. 512-518.
- Bloesch, J. 2004. Sedimentation and lake sediment formation. O’Sullivan, P.E., Reynolds, C. S. (red.) *The lakes handbook*. Vol. I. Blackwell publishing, 2004. 207-229.
- Borrel, G., Jézéquel, D., Biderre-Petit, C. Morel-Desrosiers, N., Morel, J. P., Peyret, P., Fonty, G., Lehours, A. C. 2011. Production and consumption of methane in freshwater lake ecosystems. *Research in Microbiology*, 2011, Vol. 162, 832-847.
- Briede, A., Koreļska, L., Kalvāne, G. 2018. III “Atmosfēra” 3. nodaļa. “Klimatisko rādītāju reģionālās atšķirības” un 5. nodaļa “Veģetācijas periods un augšanas sezona”. Nikodemus,

- O., Kļaviņš, M., Krišjāne, Z., Zelčs, V. (zin. red.) *Latvija. Zeme. Daba. Tauta. Valsts*. Rīga, Latvija: LU, LVAF un VARAM, 2018.
- Carlson, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 1977. Vol. 22(2), 361-369.
- Cimdiņš, P. 2001. *Limnoekoloģija*. Rīga, “Mācību apgāds”, 2001.
- Davis, M.B., Ford, M.S.J. 1982. Sediment focusing in Mirror Lake, New Hampshire. *Limnology and Oceanography*, 1982, Vol. 27, 137-150.
- Davis, M. B., Moeller, R. E., Ford, J. 1984. *Lake Sediments and Environmental History*. Leicester, UK: University of Leicester Press, 1984. Chapter 10: Sediment focusing and pollen influx. 261-293.
- Eipurs, I. 1995. Ezeru bioloģija un izmantošana. *Latvijas daba: enciklopēdija, 2. sējums*. Rīga, Latvijas enciklopēdija, 1995.
- Fritz, S.C., Anderson, N.J. 2013. The relative influences of climate and catchment processes on Holocene lake development in glaciated regions. *Journal of Paleolimnology*, 49, 349–363.
- Glazačeva, L., 2004. *Latvijas ezeri un ūdenskrātuves*. Jelgava, Latvijas lauksaimniecības Universitātes Ūdenssaimniecības un Zemes zinātniskais institūts.
- Glen, J. R., Smol, J. P., Last, W. M. 2001. Sediment core collection and extrusion. *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*, 2002. Last, William M., Smol, John P. (Eds.) Vol. 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques, 73 – 105.
- Guščika, E., Stivriņš, N. 2020. Ģeoarheoloģiskie pētījumi Lielā Vipēža un Bricu ezeros 2018. gadā. Urtāns, J., Virse, L. (red.): *Arheologu pētījumi Latvija 2018. – 2019. gadā*. NT Klasika, 2020.
- Håkanson, L., Floderus, S., Wallin, M. 1989. Sediment trap assemblages - a methodological description. *Hydrobiologia*, 1989, Vol. 176/177, 481-490.
- Hughes, A. L. C., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø. S., Mangerud, J., Inge, J. 2016. The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1. *Boreas*. 45, 1–45.
- Johansson, M., Saarni, S., Sorvari, J. 2019. Ultra-High-Resolution Monitoring of the Catchment Response to Changing Weather Conditions Using Online Sediment Trapping. *Quaternary*, 2019, 2(2), 18.
- Kircher, W. B. 1974. An evaluation of sediment trap methodology. *Limnology and Oceanography*, 1975, Vol. 20 (4).
- Strautnieks, I. 2018. IV “Virszemes ūdeņi” Latvijas lielāko ezeru raksturojums. *Latvija Zeme, daba, Tauta, valsts*. Rīga, 2018. Nikodemus, O., Kļaviņš, M., Krišjāne, Z., Zelčs, V. (zin. red.) *Latvija. Zeme. Daba. Tauta. Valsts*. Rīga, Latvija: LU, LVAF un VARAM, 2018.

- Kolthoff, I. M., Sandell, E. B. 1952. *Textbook of quantitative inorganic analysis*. New York, USA: The Macmillan Co., 1952. 759 p.
- Konrad, J. G., Chesters, G., Keeny, D. R. 1970. Determination of organic- and carbonate-carbon in freshwater lake sediments by a microcombustion procedure. *Journal Thermal analysis*, 1970, Vol. 2, 199-208.
- Lampert, W., Sommer, U. 2007. Limnoecology. Second Edition. *The Ecology of Lakes and Streams*. Oxford University Press. Oxford. pp. 335. ISBN 978-0-19-921392.
- Leinerte, M. 1988. *Ezeri deg!* Rīga, Izdevniecība Zinātne, 1994.
- Lūmane, H. 1998. *Latvijas Daba. Enciklopēdija Latvija un Latvieši. 6.sējums*. Rīga, Latvija: Preses nams, 1998. Velnezers, 598. lpp.
- Markots, A. 2011. Plakanvirsas pauguru morfoloģija, uzbūve un veidošanās apstākļi salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs Latvijā: *Promocijas darba kopsavilkums*. Rīga: LU ĢZZF Ģeoloģijas nodaļa, 2011. 35. lpp.
- Meyers, P. A., Treanes, J. L. 2001. Sediment organic matter. *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*, Vol. 2: Physical and Geochemical Methods, 2001, 239-269.
- Meyers, P. A., Leenheer, M. J., Bourboniere, R. A. 1995. Diagenesis of vascular plant organic matter components during burial in lake sediments. *Aqueous Geochemistry*, 1995, Vol. 1, 35-52.
- Naumann, E. 1929. The scope and chief problems of regional limnology. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* Vol. 21, P. 423.
- NYSFOLA, 2009. Lake Ecology: Getting Your Feet Wet. *Diet for a small lake: The Expanded Guide to New York State Lake and Watershed Management*. 2nd edition. New York State Federation of Lake Associations, Inc.1-19.
- Reimer, 2020. Reimer, P. J., Austin, W. E. N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, E. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas, I., Heaton, T. J., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., Manning, S. W., Muscheler, R., Palmer, J. G., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Turney, C. S. M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S. M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A. & Talamo, S. 2020. *The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55 cal kBP)*. *Radiocarbon*, 62, 725-757.
- Rose, N.L., Morley, D., Appleby, P.G., Battarbee, R.W., Alliksaar, T., Guillizzoni, P., Jeppesen, E., Korhola, A., Punning, J.-M. 2011. Sediment accumulation rates in European

- lakes since AD 1850: trends, reference conditions and exceedance. *Journal of Paleolimnology*, Vol. 45, 2011, 447–468.
- Saarse, L. 1988. Classification of lake basins and lacustrine deposits in Estonia. *Journal of Paleolimnology* 3: 1-12, 1990.
- Sarazin, G., Michard, G., Al Gharib, I., Bernat, M. 1992. Sedimentation rate and early diagenesis of particulate organic nitrogen and carbon in Aydat Lake (Puy de Dôme, France). *Chemical Geology*, 1992, Vol. 98, 307–316.
- Steinberga, D., Stivrins, N. 2021. Fire frequency during the Holocene in central Latvia, northeastern Europe. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 70, 127–139.
- Stivrins, N., Grudzinska, I., Elmi, K., Heinsalu, A., Veski, S. 2018a. Determining reference conditions of hemiboreal lakes in Latvia, NE Europe: a palaeolimnological approach. *Annales de limnologie – International Journal of Limnology*, Vol. 54, 2018, 1–22.
- Stivrins, N., Kołaczek, P., Reitalu, T., Seppä, H., Veski, S. 2015. Phytoplankton response to the environmental and climatic variability in a temperate lake over the last 14,500 years in eastern Latvia. *Journal of Paleolimnology*, 2015, Vol. 54, 103–119.
- Stivrins, N., Liiv, M., Brown, A., Banerjea, R. Y., Heinsalu, A., Veski, S. 2019. Investigating the impact of anthropogenic land use on a hemiboreal lake ecosystem using carbon/nitrogen ratios and coupled-optical emission spectroscopy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* Vol. 518, 15.03.2019., 1-9.
- Stivrins, N., Liiv, M., Heinsalu, A., Gaika, M., Veski, S. 2017. The final meltdown of dead-ice at the Holocene Thermal Maximum (8500-7400 cal. yr BP) in western Latvia, eastern Baltic. *The Holocene* Vol. 27(8), 1146–1157
- Stivriņš, N. 2018b. IV “Ģeoloģiskā vide un resursi” 6.11. nodaļa. “Ezerdobju veidošanās un attīstība” Nikodemus, O., Kļaviņš, M., Krišjāne, Z., Zelčs, V. (zin. red.) *Latvija. Zeme. Daba. Tauta. Valsts*. Rīga, Latvija: LU, LVAf un VARAM, 2018.
- Terasmaa, J. 2011. Lake basin development in the Holocene and its impact on the sedimentation dynamics in a small lake (Southern Estonia). *Estonian Journal of Earth Sciences*, 2011, 60(3), 159-171.
- Urtāns, A. V. (red.) 2017. Aizsargājamo biotopu saglabāšanas vadlīnijas Latvijā. II Upes un ezeri. Dabas aizsardzības pārvalde, Sigulda, 2017. 18.-19. lpp. Yang, H., Andersen, T., Dorsch, P., Tominaga, K., Thrane, J. E., Hessen, D. O., 2015. Greenhouse gas metabolism in Nordic boreal lakes. *Biogeochemistry* 126, 211-225.
- Zawiska, I., Dimante-Deimnatovica, I., Luoto, T.P., Rzdokiewicz, M., Saarni, S., Stivrins, N., Tylmann, W., Lanka, A., Robeznieks, M., Jilbert, T. 2020. Long-term consequences of

water pumping on the ecosystem functioning of Lake Sekšu, Latvia. *Water*, 2020, Vol. 12(5), 1459.

Zelčš, V. 1995. Ezeru ģenēze. G.Kavacs (red.). Latvijas daba: enciklopēdija. 2. sējums. Rīga, Latvijas enciklopēdija, 1995, 65. lpp.

Zelčš, V., Nartišs, M., Markots, A., Soms, J. 2018. II “Ģeoloģiskā vide un resursi” 5.3. nodaļa. Nikodemus, O., Kļaviņš, M., Krišjāne, Z., Zelčš, V. (zin. red.) *Latvija. Zeme. Daba. Tauta. Valsts*. Rīga, Latvija: LU, LVAF un VARAM, 2018.

Nepublicētie avoti un arhīvu materiāli:

Buzajevs, V., Levina, N., Levins I. 1997. *Pazemes ūdeņu bilance un kvalitāte Baltežera ūdensgūtnēs*. Valsts Ģeoloģijas dienests: Rīga, Latvija, 1997, (56. 11155)

Dručka, A. 2014. *Antropogēnās ietekmes liecības Rīgas Velnezera nogulumos: Bakalaura darbs*. Rīga: LU ĢZZF Vides zinātnes nodaļa, 2014. 69 lpp.

Jansons, E. 1997. *Baltežeru un to Apkaimes Izpēte*. Rīgas Ūdens arhīvs (Rīgas Dzeramais ūdens un tā Resursu Aizsardzība). Rīga, Latvija, 1997; 1–53.

Kuptsch, P. 1927. Die Cladoceren der Umgegend von Riga. Hidrobioloģijas arhīvs (18). Rīga, Latvija, 1927, 273–315.

Robežnieks, M. 2020. Neseno nogulumu uzkrāšanās procesu izvērtējums Sekšu un Velnezērā, Rīgas apkārtnē: kursa darbs. Rīga. LU ĢZZF Ģeoloģijas nodaļa, 2020. 38 lpp.

Tarfimova, A. 2019. *Ezeru nogulumu netiešā datēšana, izmantojot sfērisko daļiņu identificēšanas metodes: bakalaura darbs*. Rīga: LU ĢZZF Ģeoloģijas nodaļa, 2019. 51 lpp.

Zariņa, D. 2014. *Sekšu Ezera, Sudrabezera un Venču Ezera Ekoloģiskais Stāvoklis: maģistra darbs*. Rīga: LU ĢZZF Vides zinātnes nodaļa, 2014. 73 lpp.

Interneta resursi:

Ādažu novada teritorijas plānojuma vides pārskats, 2017. SIA “Reģionālie projeketi. Sk.

23.05.2021. Pieejams:

https://www.adazi.lv/wpcontent/uploads/2016/08/Pilnv_Adazu_TPL_Vides_parskats.pdf

Āraišu ezera apsaimniekošanas plāns, 2019. SIA „Vides Konsultāciju Birojs”, Rīga, 2019. Sk.

17.05.2021. Pieejams: http://www.amatnovads.lv/wp-content/uploads/2019/05/Araisu-ezera-apsaimniekosanas-plans_Apst.pdf

Biedrība “Latvijas ezeri”. S.a. Latvijas ezeru datubāze ezeri.lv. *Āraišu ezers, Bricu ezers, Ķikuru ezers, Lielais Vipēdes ezers, Lilastes ezers, Mazais Baltežers, Pinku ezers, Sekšu ezers, Talsu ezers, Trikātas ezers, Usmas ezers, Velnezers*. Sk. 14.09.2020. Pieejams: <https://www.ezeri.lv/database/2227/>

- Cambridge English Dictionary. S.a. *Meaning of lake in English*. Sk. 28.01.2021. Pieejams: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/lake>
- Ryan, D., 2011. MAR 510 Chemical Oceanography. Sk. 17.05.2021. Pieejams: http://faculty.uml.edu/David_Ryan/84.653/Course%20Material/lecture11/Carbonate%20Equilibria%20part%20A%202011.pdf
- CRAN. *clam: Classical Age-Depth Modelling of Cores from Deposits*. Programmatūras pakotne nogulumu urbūmu seržu vecuma – dziļuma modelēšanai. Sk. 21.01.2021. Pieejams: <https://CRAN.R-project.org/package=clam>.
- Dean, E., 2006. *Characterization of Organic matter in lake sediments from Minnesota and Yellowstone national park*. U.S. Department of the interior & U.S. Geological Survey, 2006. Sk. 17.05.2021. Pieejams: <https://pubs.usgs.gov/of/2006/1053/downloads/pdf/of-2006-1053.pdf>
- Eur-lex. Piekļuve eiropas savienības tiesību aktiem. *Konsolidēts teksts: Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2000/60/EK (2000. gada 23. oktobris)*. Sk. 12.05.2021. Pieejams: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0060-20141120&from=LV>
- Kalniņa, L., 2020 (atjaunots). *Usmas ezers*. Šķirkļis interneta enciklopēdijā “Nacionālā enciklopēdija” Sk. 13.05.2021. Pieejams: <https://enciklopedija.lv/skirklis/32422-Usmas-ezers>
- LAWA (Land air water Aotearoa). *Factsheet: lake trophic level index*. Sk. 12.05.2021. Pieejams: [https://www.lawa.org.nz/learn/factsheets/lake-trophic-level-index/#:~:text=The%20Trophic%20Level%20Index%20\(TLI,the%20condition%20of%20the%20lake](https://www.lawa.org.nz/learn/factsheets/lake-trophic-level-index/#:~:text=The%20Trophic%20Level%20Index%20(TLI,the%20condition%20of%20the%20lake)
- LVĢD Dabas apvidi. Valsts Ģeoloģijas Dienesta Dabas apvidu karšu mozaīka mērogā 1:500 000. Valsts Ģeoloģijas dienests, nezināms gads. Sk. 14.02.2021. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv/karte/>
- LVĢD Kwartārģeoloģija. Valsts Ģeoloģijas Dienesta Kwartāra nogulumu karšu mozaīka mērogā 1:200 000. Valsts Ģeoloģijas dienests, nezināms gads. Sk. 03.04.2021. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv/karte/>
- MacLeod, N., 2005. Principles of stratigraphy. Encyclopedia of geology. Sk. 21.05.2021. Pieejams: file:///C:/Users/User/Downloads/Principles_of_stratigraphy.pdf
- NALMS (North american lake management society). *Trophic state equations*. Sk. 14.05.2021. Pieejams: <https://www.nalms.org/secchidipin/monitoring-methods/trophic-state-equations/>

- Novadu karte. Karšu izdevniecība “Jāņa Sēta”. Latvijas Republikas administratīvais iedalījums mērogā 1:400 000. Jāņa sēta, 2009. LU ĢZZF WMS. Sk. 14.02.2021. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv/karte/>
- Nowak, D., Jakubczyk, E., 2020. The Freeze-Drying of Foods – The Characteristic of the process Course and the Effect of its Parameters on the physical properties of food materials. *Foods*. 2020 Oct; 9(10): 1488. Sk. 23.05.2021. Pieejams: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7603155/#:~:text=Freeze%2Ddrying%2C%20also%20known%20as,high%20quality%20food%20and%20pharmaceuticals.>
- Izraksts no starptautiskās standartizācijas organizācijas Latvijas standarta metodikas. *LVS ISO 5667-4 - Ūdens kvalitāte - Paraugu ņemšana - Norādījumi paraugu ņemšanai ezeros un ūdenstilpnēs, 4.1. Ūdens caurredzamības mērīšana ar Seki disku*. Sk. 15.05.2020. Pieejams: <https://www.ezeri.lv/blog/DownloadAttachment?id=367>
- TOPO 10 K PSRS. Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1:10 000. LU ĢZZF WMS. Sk. 23.04.2021. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv/>
- TOPO 50 K 2. Kārta. Latvijas Topogrāfiskā karte mērogā 1:50 000, 2. izlaidums. Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra, nezināms gads. LU ĢZZF WMS. Sk. 03.04.2021. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv/karte/>
- Zemkopības ministrija, 2017. *Nolikums par licencēto makšķerēšanu Lielajā Vipēda ezerā* Sk. 10.05.2021. Pieejams: https://www.zm.gov.lv/public/ck/files/LMN_Lielais%20Vipe%CC%84da%20ezers_2017_GALA-1.pdf

Bakalaura darbs „20.-21. gadsimta nogulumu uzkrāšanās procesu izvērtējums dažādas ģenēzes un trofijas ezeros Latvijas teritorijā” izstrādāts LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: Mārtiņš Robežnieks

_____ 25./05./2021.
paraksts datums

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Zinātniskais vadītājs: Prof. PhD Earth Sci. (Dr. Ģeol.) Normunds Stivriņš

_____ 25./05./2021.
paraksts datums

Recenzents: amats, zinātn. grāds Vārds Uzvārds

Darbs iesniegts Ģeoloģijas nodaļas lietvedībā

Nodaļas lietvede *Indra Baltmane*

_____ __./__./2021.
paraksts datums

Noslēguma darba aizstāvēšanas rezultāti:

Bakalaura darbs aizstāvēts Ģeoloģijas bakalaura akadēmisko studiju gala pārbaudījumu komisijas sēdē

2021./__./__. protokola nr. vērtējums
gads, datums, mēnesis

Sekretārs
paraksts

_____ __./__./2021.
datums