

DISERTATIONES GEOLOGICAE
UNIVERSITAS LATVIENSIS
NR. 27



Ilze Ozola

**HOLOCĒNA ORGANOGĒNIE NOGULUMI
UN TO UZKRĀŠANĀS APSTĀKĻU
IZMAIŅAS PURVOS ZIEMEĻVIDZEMĒ**

PROMOCIJAS KOPSAVILKUMS

Doktora grāda iegūšanai ģeoloģijas nozarē
Apakšnozare: kvartārģeoloģija un ģeomorfoloģija

Rīga, 2013

Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes Ģeomorfoloģijas un ģeomātikas katedrā no 2008. gada līdz 2013. gadam.



**LATVIJAS
UNIVERSITĀTE**
ANNO 1919

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

Šis darbs izstrādāts arī ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā "Atbalsts doktora studijām Latvijas Universitātē" Nr. 2009/0138/1DP/1.1.2.1.2./09/IPIA/ VIAA/004.

Darbs sastāv no ievada, 5 nodaļām, secinājumiem, literatūras saraksta.
Darba forma: disertācija ģeoloģijas nozarē, kvartārģeoloģijas apakšnozarē.

Promocijas darba vadītāja:
asociētā profesore *Dr. geogr. Laimdota Kalniņa* (Latvijas Universitātē)

Recenzenti:

Valdis Segliņš, profesors, *Dr. geol.* (Latvijas Universitātē)
Juris Soms, docents, *Dr. geol.* (Daugavpils Universitātē)
Ervins Lukševičs, profesors, *Dr. geol.* (Latvijas Universitātē)

LU Promocijas padomes ģeoloģijā sastāvs:

Vitālijs Zelčs, profesors, *Dr. geol.* – padomes priekšsēdētājs
Aija Dēliņa, docente, *Dr. geol.* – padomes priekšsēdētāja vietniece
Valdis Segliņš, profesors, *Dr. geol.*
Laimdota Kalniņa, asoc. profesore, *Dr. geogr.*
Ģirts Stinkulis, asoc. profesors, *Dr. geol.*

Padomes sekretārs

Ģirts Stinkulis, asoc. profesors, *Dr. geol.*

Promocijas darbs pieņemts aizstāvēšanai ar LU promocijas padomes ģeoloģijā 2013. gada 25. aprīļa sēdes lēmumu Nr. 03/2013.

Promocijas darba aizstāvēšana notiks 2013. gada 28. jūnijā plkst. 12.00 Rīgā, Alberta ielā, 10, Latvijas Universitātes Ģeoloģijas nozares promocijas padomes atklātajā sēdē.

Ar promocijas darbu var iepazīties LU Daudznozaru bibliotēkā: datorika, juridiskās zinātnes, teoloģija (Raiņa bulvāris 19, 203. telpa).

Atsauksmes sūtīt:

Dr. **Ģirts Stinkulis**, Latvijas Universitātes Ģeoloģijas nodaļa, Raiņa bulvāris 19, LV-1586, Rīga. Fakss: +371 67332704, e-pasts: *Girts.Stinkulis@lu.lv*

© Latvijas Universitātē, 2013

© Ilze Ozola, 2013

ISBN 978-9984-45-738-3

ANOTĀCIJA

Ozola I., 2013. „Holocēna organogēnie nogulumu un to uzkrāšanās apstākļu izmaiņas purvos Ziemeļvidzemē”.

Disertācijā analizēti piecu Ziemeļvidzemes purvu nogulumu pētījumu rezultāti, kas iegūti, izmantojot lauka un laboratorijas pētījumu metodes – augu makroskopisko atlieku, sporu un putekšņu, citu mikroskopisko atlieku, kūdras sadalīšanās pakāpes un botāniskā sastāva, nogulumu karsēšanas zudumu analīzi, kā arī nosakot nogulumu absolūto vecumu ar ^{14}C un AMS ^{14}C metodēm.

Pētītajos nogulumos Ziemeļvidzemē atpazītas liecības par būtiskām nogulumu uzkrāšanās apstākļu izmaiņām visā holocēna laikā, kas ietekmējušas nogulumu sastāvu un raksturu, tai skaitā noskaidrota aukstā 8200 notikuma un Mazā ledus laikmeta, kā arī holocēna termālā maksimuma apstākļu ietekme uz nogulumu uzkrāšanos.

Pētīto nogulumu sastāva izmaiņas, augu makroskopisko atlieku, sporu un putekšņu, citu mikroskopisko atlieku, kā arī karsēšanas zudumu analīzes rezultāti ļauj secināt, ka pētīto Puikules purva un Pantenes griezumu nogulumos – kūdrā un gitijā ir atpazīstams 8200 notikums. To apstiprina putekšņu spektrus raksturojošais bērzu un lakstaugu putekšņu līknes straujš un īslaicīgs kāpums vienlaicīgi ar izmaiņām nogulumu sastāvā. Līdzīgi, bet mazāk izteikti, zemā purva diagrammas putekšņu spektros ir konstatējams Mazais ledus laikmets. Tas labāk atpazīstams augsto purvu nogulumu sporu un putekšņu procentuālajās diagrammās, kā arī uz to norāda kūdras uzkrāšanās intensitātes palielināšanās un sadalīšanās pakāpes samazināšanās, kamēr kūdras botāniskajā sastāvā izmaiņas šai laikā nav izteiktas.

Veikto pētījumu rezultātā noskaidrotas iespējas holocēna Ziemeļvidzemes organogēno nogulumu stratificēšanā un definētas robežas starp agro un vidējo, kā arī starp vidējo un vēlo holocēnu.

Raksturvārdi: kūdra, gitija, augu makroskopiskās atliekas, putekšņi, 8200 notikums.

SATURS

Anotācija	3
Ievads	5
1. Holocēna organogēno nogulumu pētījumi	9
2. Pētījumu teritorijas raksturojums	12
3. Materiāls un metodes	14
4. Rezultāti un to interpretācija	17
4.1. Pantenes purvs	17
4.2. Zilais purvs	22
4.3. Kalna purvs	23
4.4. Ķeru purvs	24
4.5. Puikules purvs	24
5. Diskusija	30
5.1. Pētīto purvu attīstība un nogulumu uzkrāšanās apstākļu izmaiņas	30
5.2. Nogulumu uzkrāšanās ātruma izmaiņas holocēnā	31
5.3. Holocēna nogulumu stratifikācija	33
5.3.1. Agrais holocēns	34
5.3.2. Liecības par aukstuma periodu pirms 8200 kal.g.p.m. ..	34
5.3.3. Vidējais holocēns	36
5.3.4. Vēlais holocēns	37
5.4. REVEALS modeļa izmantošana paleoveģētācijas rekonstrukcijās	39
Secinājumi	41
Pateicības	44
Literatūras saraksts	93
Publikāciju saraksts	100

IEVADS

Kvartāra perioda jaunākajā epohā – holocēnā, kas aptver aptuveni pēdējos 11700 gadus (Lowe et al., 2008; Walker et al. 2009; Cohen et al., 2012; Walker et al., 2012), daudzviet pasaulē ir veidojušies organogēnie nogulumu, tai skaitā koraļļu rīfi, diatomīti, saldūdens kaļķi, gitija, kūdra, daļēji arī okers un purva fosfāti. To veidošanās laikā uzkrājušās augu un dzīvnieku atliekas spēj saglabāties gadu tūkstošiem ilgi, tādējādi sniedzot informāciju par nogulumu uzkrāšanās apstākļiem un to izmaiņām. Šis liecības vislabāk saglabājas gitijā un kūdrā, kas ir plaši izplatīti kontinentālos apstākļos veidojušies holocēna organogēnie nogulumu. Tādējādi, purvu un bieži vien zem tiem esošo ezeru nogulumu pētījumu rezultāti ļauj rekonstruēt nogulumu uzkrāšanās vides izmaiņas holocēnā (Aaby, 1986; Barber, Langdon, 2001; Chambers, Charman, 2004; Chambers et al., 2012).

Nemot vērā to, ka purvu un ezeru nogulumu slāņi galvenokārt uzkrājas secīgi, jaunākajam pārklājot vecāko, tie ir sava veida ģeoloģisko notikumu liecību arhīvs. To stratigrāfija un pagātnes notikumu rekonstrukcija ir nozīmīga, lai izprastu nogulumu uzkrāšanās ģeoloģisko procesus holocēnā (Nomals, 1930a; Mauquoy et al., 2002; Chambers, Charman, 2004).

Pētījuma aktualitāte

Vieni no pirmajiem sistemātiskiem purvu nogulumu pētījumiem tika veikti 20. gadsimta sākumā Zviedrijā, kad L. von Posta vadībā tika veikta purvu apsekošana, ģeoloģiskā urbšana, paraugu ņemšana Zviedrijas dienvidu, vidus un austrumdaļas purvos, noteikta kūdras izplatība un īpašības (von Post, Granlund, 1926; Schoning, 2012).

Arī Latvijā purvu nogulumu pētījumi aizsākās 20. gadsimta sākumā, kad 1912. gadā P. Nomals tika iecelts par Krievijas Zemkopības ministrijas pakļautībā esošās Baltijas hidrotehniskās nodaļas Purvu pētīšanas laboratorijas ierīkotāju un vadītāju. Jau pirms Pirmā pasaules kara Latvijas teritorijā kūdra tika iegūta 324 purvos, kas liecina par tās pētījumu nepieciešamību un nozīmību (Šnore, 2004). 1919. gadā Latvijas Universitātes Lauksaimniecības fakultātē tika nodibināta Purvu mācību un purvu izmantošanas katedra, bet sistemātiska purvu izpēte tika uzsākta 1926. gadā, kad Latvijas Universitātes purvu un kūdras pētīšanas laboratorija profesora P. Nomala vadībā ar Zemkopības ministrijas atbalstu sāka sistemātiskas apsekošanas darbus lielākajās kūdras atradnēs (Lācis, 2010). Uzsākot sistemātiskos pētījumus, kūdras paraugiem laboratorijā noteica botānisko sastāvu, sadalīšanās pakāpi, pelnu procentuālo saturu un pH (Nomals, 1930b). Pētījumu rezultāti par 149 purviem tika apkopoti trīs publikācijās pārskatu un kūdras fonda veidā: Kurzemes, Zemgales, kā arī Vidzemes un Latgales purvu apskats (Nomals, 1930b; 1936; 1943). Šo pētījumu rezultāti ir nozīmīgi vēl mūsdienās.

Pilnveidojot purvu nogulumu pētījumu metodiku, gan Ziemeļeiropā, gan arī Baltijas valstīs kopā ar citām kūdras analizēm sāka pielietot arī sporu-putekšņu analīzi. Latvijā pirmos nozīmīgos pētījumus 20. gadsimta pirmajā pusē

veikuši P. Galenieks un M. Galeniece (Liniņa), kas savas zināšanas un prasmes ir papildinājuši, stažējoties pie ievērojamiem paleobotāniķiem Eiropā, arī pie zviedru purvu pētnieka un putekšņu metodes pamatlicēja un attīstītāja L. von Posta. Viņu pētījumi par mežu un purvu attīstības vēsturi (Galenieks, 1931; 1935; Galenieks, 1936) joprojām kalpo par holocēna nogulumu stratificēšanas pamatu Latvijā. Kopš tā laika ir veikti daudzi holocēna nogulumu paleobotāniskie pētījumi, kuru rezultāti visbiežāk izmantoti nogulumu stratificēšanai, to veidošanās apstākļu un vecuma noskaidrošanai, kā arī holocēna veģetācijas attīstības rekonstruēšanai. Kā nozīmīgi pētījumi, kuri balstās uz paleobotānisko pētījumu rezultātiem, minami M. Galenieces (Galenieks, 1931; 1935), P. Nomala (Nomals, 1936; 1937; 1939; 1943), kā arī I. Danilāna (Danilāns, 1955; 1957; 1963; 1973), T. Bartošas (1959; 1976a; 1976b) un V. Segliņa (Segliņš, 1999; 2001a, 2001b, 2001c) darbi. Tai skaitā kā būtiski nozīmīgs minams V. Segliņa darbs „Latvijas holocēna nogulumu sporu un putekšņu diagrammu katalogs” (Segliņš, 2001b), kurā apkopotas līdz 2000. gadam sagatavotās sporu–putekšņu diagrammas, no kurām daļai kaut arī ir tikai vēsturiska nozīme, tomēr tās sniedz ieskatu par nogulumu uzkrāšanās laiku un apstākļiem konkrētā griezuma vietā.

Līdz šim Latvijā holocēna ģeoloģisko notikumu un paleoveģetācijas rekonstruēšanai izmantoja galvenokārt paleobotānisko pētījumu metožu, visbiežāk tieši sporu–putekšņu analīzes rezultātus, kas parāda koku un krūmu putekšņu procentuālās attiecības (Galenieks, 1935; Danilāns, Stelle, 1971; Danilāns, 1995; Segliņš, 1999; Lācis, Kalniņa, 1998; Segliņš et al., 1999; Pakalne, Kalnina, 2005). Mūsdienās pētījumos ļoti plaši tiek veikta nogulumu vecuma noteikšana, izmantojot radioaktīvā oglekļa ^{14}C datēšanu, kas kopā ar dažādu analīžu datiem (putekšņi, augu makroskopiskās atliekas, diatomejas, u.c.) dod iespēju precīzāk noteikt holocēna vides izmaiņu laiku. Ziemeļeiropā pēdējos gadu desmitos veiktie daudzie holocēna purvu un ezeru nogulumu uzkrāšanās apstākļu, sastāva izmaiņu un paleoveģetācijas liecību starpdisciplināri pētījumi (Veski, 1998; Seppä, Poska, 2004; Mayewski et al., 2004; Jackson, 2009; Gaillard et al., 2010; Wanner et al., 2011; Balakauskas, 2012), to rezultātu kopums un dažādās pieejas to interpretācijai sniedz jaunu informāciju stratigrāfiskajos, paleoveģetācijas un paleoklimata pētījumos, ļauj pārvērtēt līdzšinējos priekšstatus par nogulumu uzkrāšanās apstākļiem un veikt korekcijas nogulumu stratificēšanā.

Analizējot Latvijā agrāk veikto nogulumu sporu–putekšņu pētījumu rezultātus, konstatēts, ka daļai no tiem ir tikai vēsturiska vērtība, jo, kā jau to savā darbā minējis V. Segliņš (2001b), ievērojamam skaitam putekšņu diagrammu nav iespējams droši noteikt pētītās vietas ģeogrāfisko piesaisti. Bieži vien šīm diagrammām nav pietiekoši detaļa nogulumu apraksta, ir identificēts neliels putekšņu daudzums vienā paraugā (100–200), nav veikta nogulumu absolūtā vecuma noteikšana, kā arī bieži vien nav izmantotas citas nogulumu bioloģiskā sastāva analīzes. Tādēļ, lai precīzāk rekonstruētu purvu nogulumu uzkrāšanos un to sastāva izmaiņas holocēnā, promocijas darbā tika veikti organogēno

nogulumu pētījumi, izmantojot vairākas paleobioloģiskas metodes (kūdras botāniskā sastāva, sadalīšanās pakāpes, sporu–putekšņu, citu mikroskopisko atlieku analīzes), kurās iegūto rezultātu kopums ļauj ticamāk interpretēt iegūtos rezultātus un atpazīt klimata izmaiņu notikumus holocēnā, kas ietekmējuši organogēno nogulumu daudzveidību un uzkrāšanās apstākļus.

Pētījumam izvēlēta Ziemeļvidzeme, kas šajā darbā ietver Metsepoles līdzenumu, Limbažu viļņoto līdzenumu, Augstrozes paugurvalni, Burtnieka līdzenumu un Ērgemes pauguraini. Minētā teritorija pētījumam izvēlēta tādēļ, ka Ziemeļvidzemes teritorijas reljefs ir veidojies pēdējā apledošanas un tā kušanas ūdeņu dažādas intensitātes darbības rezultātā, kas nosaka to, ka ezeru un purvu iepakojums atrodas dažādā hipsometriskā līmenī. Tas ietekmē organogēno nogulumu veidošanās sākumu un uzkrāšanās ātrumu, kas var būt atšķirīgi. Tādēļ Ziemeļvidzemē pētījuma teritorijas definētajās robežās tika meklētas dažādas pētījuma vietas, lai iegūtu plašāku informāciju par organogēno nogulumu uzkrāšanās apstākļu izmaiņām holocēnā. Pēdējos gadu desmitos holocēna nogulumu pētījumu rezultātā konstatēti pierādījumi straujai, salīdzinoši īslaicīgai (apmēram 200 gadu) epizodei ar temperatūras pazemināšanos saistītām klimata izmaiņām pirms holocēna klimatiskā optimuma sākuma, kas, iespējams, ietekmējusi arī purvu attīstības un kūdras uzkrāšanās procesus. Pierādījumi par šo notikumu, kas tiek dēvēts par 8200 notikumu, konstatēti gan pētot Grenlandes ledus urbumu serdes (Dansgaard et al., 1993; O'Brien et al., 1995), gan arī atpazīti ezeru un purvu nogulumos (Von Grafenstein et al., 1998; Veski et al., 2004; Seppä et al., 2007; Yeloff, et al., 2007).

Plānojot pētījumu, tika ņemts vērā, ka iegūtos datus varēs korelēt ar Igaunijas dienviddaļā un Latvijas austrumdaļā veiktajiem detalizētajiem purvu un ezeru nogulumu pētījumiem (Sarv, Ilves, 1976; Niinemets, Saarse, 2006; Heikkilä, Seppä, 2010; Amon et al., 2012; Veski et al., 2012), kas ļaus precīzāk atpazīt un rekonstruēt organogēno nogulumu sastāva un uzkrāšanās apstākļu izmaiņas ne tikai Ziemeļvidzemes purvos, bet ļaus spriest par to, vai šādas izmaiņas notikušas arī plašākā reģionā.

Promocijas darba mērķis:

Izmantojot paleobioloģisko pētījumu rezultātus, raksturot un stratificēt holocēna organogēnos nogulumus purvos un noskaidrot to uzkrāšanās apstākļu izmaiņas Ziemeļvidzemē.

Mērķa sasniegšanai izvirzītie galvenie darba uzdevumi:

- 1) apzināt, analizēt un izvērtēt publicētos un npublicētos materiālus par holocēna organogēnajiem nogulumiem, to stratigrāfisko iedalījumu, nogulumu sastāva un klimata izmaiņu liecībām purvos, lai izvēlētos pētījuma vietas un darba mērķa sasniegšanai nepieciešamās pētījumu metodes;
- 2) veikt organogēno nogulumu pētījumus izvēlētajos purvos Ziemeļvidzemē, ģeoloģisko un paleobioloģisko pētījumu rezultātu apstrādi;

- 3) pēc iegūtajiem datiem raksturot un stratificēt nogulumus purvos, noskaidrot to sastāva izmaiņas un purvu attīstības gaitu;
- 4) noskaidrot, kādas nogulumu uzkrāšanās apstākļu izmaiņas ir ietekmējušas Ziemeļvidzemes purvu ģeoloģisko attīstību un nogulumu sastāva mainību;
- 5) izanalizēt, kā iegūtie paleobioloģiskie dati pētītajos nogulumos ļauj atpazīt vienlaicīgas nogulumu apstākļu izmaiņas to uzkrāšanās laikā Ziemeļvidzemē;
- 6) veikt holocēna Ziemeļvidzemes organogēno nogulumu stratificēšanu;
- 7) izanalizēt agrākos pētījumos sastādītās putekšņu diagrammas un novērtēt to iespējamo pielietojumu.

Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes

1. Pētīto griezumu nogulumu sastāva izmaiņās un putekšņu spektros ir labi atpazīstams 8200 notikums.
2. Augsto purvu nogulumu sastāva un sporu–putekšņu spektru izmaiņas norāda uz vairākām klimata pavēsināšanās epizodēm vēlajā holocēnā.
3. Citas mikroskopiskās atliekas (rizopodi, oglītes, aļģes, faunas atliekas) var tikt izmantotas kā nogulumu uzkrāšanās apstākļu indikatori, īpaši gadījumos, ja nogulumos nav saglabājušās sporas, putekšņi un augu makroskopiskās atliekas.

Pētījuma novitāte

Promocijas darbā veikti purvos uzkrājušos holocēna organogēno nogulumu detāli pētījumi, kuru rezultātu kopums ļauj raksturot nogulumus un precīzāk noskaidrot, kā holocēna klimata izmaiņas ietekmējušas šo nogulumu raksturu un uzkrāšanās gaitu.

Latvijā pirmoreiz veikti citu mikroskopisko atlieku pētījumi, kuru rezultāti izmantoti holocēna nogulumu uzkrāšanās apstākļu noskaidrošanā, kā arī noteikti un raksturoti nogulumu sastāvu un uzkrāšanās intensitāti ietekmējošie aukstuma un siltuma notikumi holocēnā Ziemeļvidzemē.

Izmantojot REVEALS modeli, iegūts precīzāks priekšstats par mežu un purvu veģetācijas sastāva izmaiņām un izplatību holocēnā Ziemeļvidzemē.

Pētījuma rezultātu aprobācija

Pētījumu rezultāti apkopoti 7 zinātniskās publikācijās, sniegts 21 ziņojums starptautiskās un 14 ziņojumi vietējās konferencēs.

Promocijas darba pētījumi veikti ar Eiropas Savienības fondu projekta „Atbalsts doktora studijām Latvijas Universitātē” finansējumu un LU Pētniecības projekta Nr. 2007.ZP-87 „Skandināvijas ledus vairoga dienvidu malas iekšējās zonas vēla Vislas posma deglaciācijas notikumu hronoloģijas pilnveidošana”, LZP projekta Nr. 09.1438, „Purvu stratigrāfija Latvijā: liecības par leduslaikmeta beigu posma un holocēna klimata izmaiņām un kūdras uzkrāšanos”, NordForsk projekta „LANDCLIM 10 000 The past LAND cover – CLIMate Interactions in Europe over the last 10 000 years” finansiālo atbalstu.

1. HOLOCĒNA ORGANOGĒNO NOGULUMU PĒTĪJUMI

Holocēns ir jaunākā kvartāra perioda epoha, kas aptver pēdējos 11 700 gadus (Lowe et al., 2008; Walker et al. 2009; Cohen et al., 2012). Holocēna organogēnie nogulumu, kas uzkrājas seklos ezeros un purvos, veido ar organiskajām vielām bagātus gitijas un kūdras slāņus. Gitija uzkrājusies kopš holocēna sākuma, tikko klimatiskie apstākļi bija pietiekoši ezeros mītošās floras un faunas intensīvai at-tīstībai, bet kūdras slāņi veidojas apstākļos, kad augu biomasas apjoms ir lielāks par organisko vielu sadalīšanos (Nomals, 1930b; Clymo 1965; Malmer 1986).

Mūsdienās purvu skaits Latvijā pārsniedz 9600 un tie ir izplatīti visā valsts teritorijā, bet to aizņemtās platības dažādos Latvijas dabas apvidos ir atšķirīgas (Lācis, 2010). Lielākie pēc platības ir augstā tipa purvi, kas atrodas Austrumlatvijas zemienē, Piejūras zemienē, Viduslatvijas zemienē un Ziemeļvidzemes zemienē. Daudzi purvi ir veidojušies, aizaugot sekliem ezeriem, vecupju meandrām, bijušajām Litorīnas jūras lagūnām, kurās pēc jūras līmeņa pazemināšanās izveidojās sekli ezeri, kas pakāpeniski aizauga, un to teritorijās izveidojās purvi. Visplašākās pārpurvotās teritorijas ir zemienēs ar viegli viļņotu reljefu, kurās kvartāra nogulumu segu galvenokārt veido mālainie nogulumu morēna vai glaciolimniski māli (Lācis, Kalniņa, 1998).

Senākās ziņas par purvu nogulumu pētījumiem Latvijā ir no 18. gadsimta sākuma, kad tika izdoti pirmie raksti par kūdras ieguvu un tās izmantošanu kurināšanai un lauksaimniecības vajadzībām (Šnore, 2004). Taču šie pētījumi bija fragmentāri. Plašāki purvu nogulumu pētījumi tika uzsākti jau 1912. gadā, kad Latvijā ievērojamākais purvu pētnieks un purvu zinātnes pamatlicējs Pēteris Nomals tika iecelts par Krievijas Zemkopības ministrijas pakļautībā esošās Baltijas hidrotehniskās nodaļas Purvu pētīšanas laboratorijas izveidotāju un vadītāju. Jau pirms Pirmā pasaules kara Latvijas teritorijā kūdra tika iegūta 324 purvos, kas liecina par tās pētījumu nepieciešamību un nozīmību (Šnore, 2004). Taču pats P. Nomals atzīst, ka: „Latvijas purvu pētīšanas darbi ir uzsākti ar 1919. gadu, un purvi ir pētīti visos novados. Līdz 1930. gadam, galvenā kārtā rekognoscēšanas veidā, ir izpētīti 557 lielākie purvi, kas ir apmēram 40% no visas Latvijas purvu platības” (Nomals, 1930b). Uzsākot sistemātiskos pētījumus, kūdras paraugiem laboratorijā noteica botānisko sastāvu, sadalīšanās pakāpi, pelnu procentuālo saturu un pH (Nomals, 1930b). Vēlāk, strādājot Latvijas Universitātē, no 1919. gada līdz 1939. gadam vadot Lauksaimniecība fakultātes Purvu un kūdras izmantošanas katedru, P. Nomals ir pētījis purvu ķīmiju un stratigrāfiju, ūdens režīmu, nosusināšanas iespējas, kūdras sastāvu, kūdras agrotehniskās un tehnoloģiskās īpašības, kā arī purvu un kūdras izmantošanas problēmas vispār, izstrādājis pirmo Latvijas purvu karti. P. Nomals 40 gadus veltīja Latvijas purvu izpētei, kuru laikā iegūta informācija par 1149 purviem. Savā darbā „Skats Latvijas kūdras rūpniecībā” P. Nomals uzsver: „Latvijā gandrīz

nav neviena pagasta, par novadiem ir nerunājot, kurā nebūtu kāds mazāks vai lielāks purvs” (Nomals, 1944). Viņš savu pētījumu rezultātus ir apkopojis daudzās publikācijās, no kurām ievērojamākās publikācijas: Kurzemes purvu apskats (Nomals, 1937), Vidzemes un Latgales purvu apskats (Nomals, 1943), kā arī viņa doktora disertācija „Ūdens, minerālvielu un slāpekļa daudzums un grupējums Latvijas purvos” (Nomals, 1930a) ir būtisks pamats turpmākajiem Latvijas purvu nogulumu pētījumiem. Vēlāk P. Nomals ir bijis Purvu institūta direktors (1940.–1941. g., 1944.–1946. g.) un LPSR Zinātņu akadēmijas Purvu zinību institūta direktors (1946.–1949. g.). Arī šai laikā viņš iesaistījās atsevišķu purvu detālā izpētē, kas sevī iekļauj topogrāfisku uzmērīšanu, kūdras nogulumu zondēšanu un paraugošanu regulārā tīklā, laboratorijas darbus, purva nosusināšanas iespēju izpēti. Darbu rezultātā tika sagatavoti projekti kūdras ieguvei, piemēram, projekti elektrostaciju būvei uz Sedas un Sārnates purvu bāzes (Nomals, 1944). Viņa veiktie un vadītie Latvijas purvu nogulumu pētījumi ir svarīgi vēl mūsdienās un bieži tiek izmantoti ne tikai kā vēsturiska vērtība, bet kā mūsdienām atbilstošs metodisks līdzeklis.

Pēc Otrā pasaules kara pieauga pieprasījums pēc kūdras, ko izmantoja enerģētikā un lauksaimniecībā, kas noteica jaunu purvu izpēti un iepriekšējo izpētes datu apkopošanu. 1946. gada februārī no Zemes bagātību pētīšanas institūta Kūdras nodaļas izveidoja Latvijas PSR ZA Purvu institūtu, kurā tika sagatavots Latvijas PSR Kūdras fonds, kas ietvēra kūdras atradņu aprakstu un karti. 1962. gadā izdots Kūdras fonds ietver informāciju par 5789 atradnēm administratīvajos rajonos, tai skaitā tika izmantota informācija par 844 P. Nomala agrāk pētītajām atradnēm. Kūdras fondā tika ievietota informācija arī par 162 atradnēm no dažādu izpētes un projektēšanas organizāciju arhīviem, norādot to atrašanās vietu, laukumu „nulles” un rūpnieciskā dziļuma (0,9 m) robežās, kūdras dziļumu – lielāko un vidējo, kūdras apjomu (m^3), ziņas par kūdras īpašībām – botānisko sastāvu, sadalīšanās pakāpi (%), pelnu saturu (%), dabisko mitrumu (%), sausnas siltumspēju (kcal/kg), sausnas iznākumu (kg/t), pH, atradnes izmantošanu, noteku, izpētes veidu un gadu (Lācis, 2010). 1980. gadā izdots Kūdras fonds tika papildināts ar Latvijas kūdras atradņu shematisko karti mērogā 1 : 400 000, kā arī kūdras atradņu shematiskām kartēm katram administratīvajam rajonam mērogā 1 : 100 000 (Lācis, 2010). Vēlāk, ņemot vērā izmaiņas kūdras resursu apjomā, 1996. gadā Latvijas Ģeoloģijas dienests apkopoja informāciju un izdeva apskatu „Rietumlatvijas kūdras resursi” (Lācis, 1996), kuram pievienota karte „Rietumlatvijas kūdras atradnes” mērogā 1 : 400 000.

Kopš 1980tajiem gadiem papildus veiktajiem meklēšanas darbiem katra rajona kādā purvā, lai raksturotu kūdras iegulu rašanās apstākļus un attīstību, tika noņemti paraugi sporu–putekšņu analīzēm, kā arī kūdras absolūtā vecuma noteikšanai (Lācis, 2010), tādējādi turpinot Latvijas putekšņu analīzes pamatlīcēju Marijas Liniņas-Galenieks un Paula Galenieka palinoloģiskos pētījumus,

kuri šo metodi apguva stažējoties pie ievērojamiem palinologiem, tai skaitā arī pie putekšņu metodes pamatlicēja un attīstītāja L. von Posta.

Rietumeiropā viens no pirmajiem putekšņu pētniekiem bija zviedru mikropaleobotāniķis G.Lagerheims (*Lagerheim*), kura rezultātus publicēja vairāki pētnieki H. Vite (*Witte*), F. Holsts (*Holst*), J. Samuelsons (*Samuelson*), J. R. Sernanders (*Sernander*) un von Posts (*von Post*). Tieši izmantojot G. Lagerheima rezultātus, zviedru botāniķis un kūdras pētnieks Lenarts von Posts saskatīja mikroskopisko fosiliju analīzes pielietojumu stratigrāfija un 1916. gadā lika pamatus šai kvantitatīvajai putekšņu analīzei Skandināvijas zinātnieku sanāksmē Oslo, iepazīstinot ar pirmo moderno procentuālo (kvantitatīvo) putekšņu analīzi (von Post, 1916). Tās rezultāti ļāva nosacīti datēt un korelēt dažāda sastāva (minerālos, organogēnos) un ģenēzes (ezera, purva, jūras, upju) nogulumus.

Laika gaitā dažādi pētnieki ir centušies iedalīt holocēnu noteiktos posmos, izmantojot dažādus hronostratigrāfiskos terminus. Tā 1974. gadā J. Mangeruds (Mangerud et al., 1974) ieteica Ziemeļvalstu un daļēji arī Ziemeļrietumeiropas kontinentālās teritorijas holocēna hronostratigrāfisko iedalījumu, saglabājot Blitta-Sernandera zonas un noteica radioaktīvā oglekļa gadus katras hronozonas robežai. Tomēr vēlāk J. Birks un H. Seppa (Birks, Seppä, 2010) ir ieteikuši turpmāk Blitta-Sernandera shēmu neizmantojot, tā vietā lietot nogulumu absolūtā vecuma datējumus. Liela daļa Latvijā veikto pētījumu rezultātu interpretēšana ir balstīta uz Posta putekšņu zonu iedalījumu (Danilāns, Stelle, 1971; Danilāns, 1973) un Blitta-Sernandera shēmu (Segliņš, 2000; 2001a,b), tādēļ tā ir izmantojama, tikai analizējot agrāk veiktos pētījumus.

Pašreiz INQUA pētnieku grupa (Walker et al., 2012) piedāvā izmantot holocēna iedalījuma robežas, kas pamatotas ar tās raksturojošiem datiem globālā stratotipa Grenlandes NGRIP1 ledus urbumā:

- agrā – vidējā holocēna robežu noteikt 8200 kal. g.p.m. un
- vidējā – vēlā holocēna robežu 4200 kal.g.p.m. līmenī.

2. PĒTĪJUMU TERITORIJAS RAKSTUROJUMS

Pētījumam izvēlēta Ziemeļvidzeme, kas šajā darbā ietver Metsepoles līdzenumu, Limbažu viļņoto līdzenumu, Augstrozes paugurvalni, Burtnieka līdzenumu un Ērgemes pauguraini. Pētījumu vietas atrodas vienā ģeobotāniskajā rajonā dažādās reljefa formās un dažādos dabas apvidos Ziemeļvidzemē:

- Ziemeļvidzemes zemienē, Burtnieka līdzenuma ziemeļdaļā Rūjas pazeminājumā, senā Burtnieka aizaugušajā ziemeļu līcī – Pantenes purvā.
- Idumejas augstienē – Puikules purvs starp Alojās-Puikules paugurvalni un Metsepoles līdzenumu.
- Baltijas ledus ezera akumulācijas un abrāzijas līdzenumā uz robežas starp Piejūras zemienes ziemeļdaļu un Viduslatvijas ziemeļdaļu – Kalna, Zilais un Ķeru purvs.

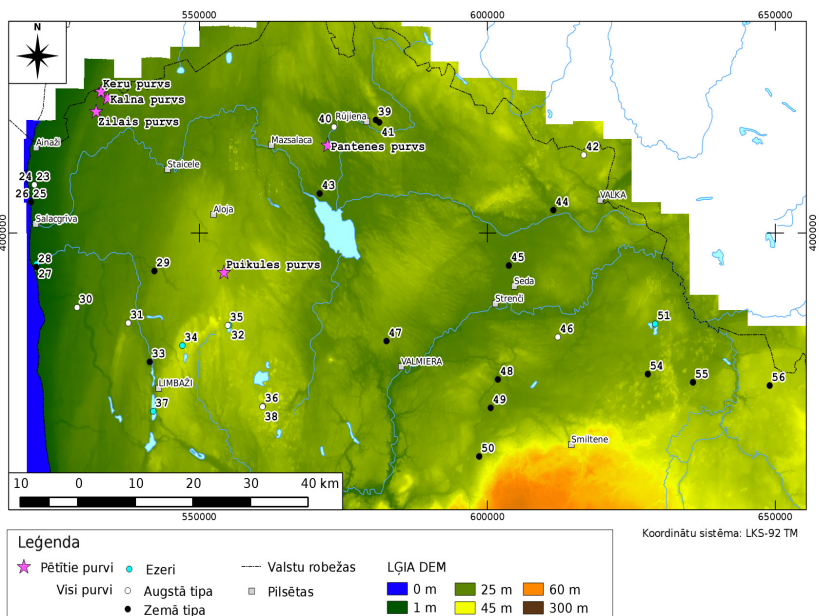
Darbā pētītie Kalna, Ķeru un Zilais purvs atrodas Vidzemes piekrastes teritorijā Baltijas ledus ezera akumulācijas un abrāzijas līdzenumā starp Baltijas ledus ezera Bgl I un Bgl II krasta līnijām. Baltijas ledus ezera Bgl I krasta līnijas augstums mainās no 40 m vjl., pie Kalna purva līdz 32 m vjl., pie Ķirbižiem (Juškevičs et al., 2008). Šie purvi pētījumam izvēlēti tādēļ, ka organogēno nogulumu uzkrāšanās tajos ir sākusies tikai vēlajā holocēnā, apmēram pirms 4000 gadiem. Nogulumu uzkrāšanās ir bijusi salīdzinoši intensīva, tādēļ bija sagaidāms, ka būs labi atpazīstamas veģetācijas izmaiņas un tās ietekmējošie īslaicīgie notikumi, piemēram, Mazais ledus laikmets.

Promocijas darbā pētītājām vietām kartē pievienots purva nosaukums, bet agrāk palinoloģiski analizētie griezumī atzīmēti atbilstoši V. Segliņa „Latvijas holocēna nogulumu sporu un putekšņu diagrammu katalogs” (Segliņš, 2001b) dotajiem numuriem: 23. Kuivižu purvs I (Grinbergs, 1957); 24. Kuivižu purvs II (Ceriņa, 1972); 25. Salacgrīva 1, zondējums 858 (Tracevskij et al., 1967); 26. Salacgrīva 2, zondējums 855 (Tracevskij et al., 1967); 27. Ruduškojes ezers (Sergejeva et al., 1987); 28. Svētupe (Drille, 1977); 29. Angas purvs (Medne, 1976); 30. Brinkmaņa purvs (Brikmaņa (Lūru) purvs) (Ceriņa, 1972); 31. Toļļu purvs (Galeniece, Eglītis, 1964); 32. Rāķu ezers (Rāķis) (Braksh, et al., 1967); 33. Dūņezers (Svētupes purvs) (Ilves, Medne, 1979); 34. Katvaru ezers (Braksh et al, 1967); 35. Rāķu purvs (Bamberg, 1962); 36. Madiēšņu purvs (Tracevskij et al., 1965); 37. Līezers (Braksh et al., 1967); 38. Bisenieku purvs (Galeniece, Eglītis, 1964); 39. Rūjienas purvs, zondējums 2599 (Tracevskij et al., 1965); 40. Rūjas purvs, 2604. zondējums (Tracevskij et al., 1965); 41. Rūjienas purvs, 2601. zondējums (Tracevskij et al., 1965); 42. Ķeizaru purvs (Galenieks, 1935); 43. Lielruļļu-Airītes (Aizupītes) purvs, 2839.zondējums (Tracevskij et al., 1965); 44. Rikandas upes ieleja (Brūders, 1977); 45. Sedas purvs (Brūders, 1977); 46. Taures purvs (Buša, 1984); 47. Valmieras purvs (Bamberg, 1962); 48. Mārsnēnu 3 (Purmaļu) purvs (Brūders, 1977); 49. Mārsnēnu purvs 2, 2838.zondējums (Tracevskij et al, 1965); 50. Mārsnēnu purvs 1 (Bamberg, 1956); 51. Salainis

(Salasnis), ezers (Braksh et al., 1967); 54. Muižnieki, 919.zondējums (Tracevskij et al., 1964); 55. Rudaci, zondējums 917 (Tracevskij et al., 1964); 56. Kaulezera purvs (Brüders, 1977).

Pantenes purvs atrodas Burtnieka ezera ziemeļrietumu daļā, Ziemeļvidzemes zemienē, Burtnieka līdzenumā, Burtnieka drumlinu lauka vidusdaļā. Pantenes purvs ir daļa no viena no Burtnieka paleoezera senajiem līčiem un atrodas Rūjas pazeminājumā, Burtnieka līdzenuma ziemeļaustrumu daļā. Urbumi Ceriņi-2007, Ceriņi-2009, Ceriņi-2011, kā arī Pantene-Braukšas I-2006 veikti Brīvpurva rietumu malā pie Pantenes ciemata „Ceriņu” māju tuvumā, no kā arī veidoti urbumu nosaukumi.

Puikules purvs atrodas Limbažu viļņotajā līdzenumā, dienvidos un dienvidaustrumos to norobežo Idumejas augstienes Augstrozes paugurvalnis, kas ir viena no Salacas upes baseina ūdensšķirtnēm, savukārt rietumos purvs robežojas ar Puikules – Alojas valni, aiz kura sākas Viduslatvijas zemienes Metsepoles līdzenums. Uz austrumiem atrodas Burtnieka drumlinu lauks, ko dienvidrietumu malā šķērso Briedes upe. Puikules-Tēvgāršas purva, kura kopējā platība ir 2200 ha, attīstību dažādās tā daļās ir ietekmējuši atšķirīgi apstākļi. Tā rezultātā purva ieplakas austrumdaļā 1591 ha platībā ir izveidojies zemais purvs, bet purva rietumdaļā ir bijuši labvēlīgi apstākļi augstā purva attīstībai, kas mūsdienās aizņem 609 ha (Kūdras fonds, 1980).



2.1. attēls. Promocijas darbā pētīto vietu un agrāk palinoloģiski analizēto griezumu atrašanās vietas Ziemeļvidzemē

3. MATERIĀLS UN METODEDES

Pētījuma sākotnējā posmā tika apzināti un izanalizēti publicētie un nepublicētie materiāli gan par pētījumu teritorijas ģeoloģisko uzbūvi un tās veidošanos, gan arī par dažādām organogēno nogulumu pētišanas metodēm. Iegūtās informācijas analīzes rezultātā tika izvēlētas pētījumu vietas un pētījuma mērķa īstenošanai atbilstošākās metodes.

Ziemeļvidzeme pētījumam izvēlēta vairāku iemeslu dēļ:

- Ziemeļvidzemes teritorijas reljefs ir veidojies pēdējā apledojuma un tā kušanas ūdeņu dažādas intensitātes darbības rezultātā, tādēļ organogēno nogulumu uzkrāšanās sākums un uzkrāšanās ātrums ir atšķirīgi, kas savukārt var sniegt liecības par veģetācijas un līdz ar to arī klimata apstākļu izmaiņām nogulumu uzkrāšanās laikā;
- pētījuma teritorijas definētajās robežās tika meklēti nelieli purvi ar pēc iespējas biežāku kūdras slāni, pieņemot, ka, jo intensīvāka ir kūdras uzkrāšanās, jo lielākas iespējas iegūt plašāku informāciju par nogulumu sastāvu un uzkrāšanās apstākļu izmaiņām;
- tika pieņemts, ka pēc platības nelielu augsto purvu pētījumu rezultāti ļauj korektāk rekonstruēt purvu attīstību un kūdras uzkrāšanās apstākļu izmaiņas vēlajā holocēnā, jo tajos nav veidojušies kupoli, un tādēļ, iespējams, nav notikusi kūdras slāņu plīšana un slidēšana, un tie atrodas „*in situ*”.

Pētījumiem Ziemeļvidzemē tika izvēlētas vietas ar lielāku nogulumu uzkrāšanās intensitāti, jo tas ļauj konstatēt un atpazīt īslaicīgus notikumus. Griezumos, kur nogulumu uzkrāšanās intensitāte ir maza, ir grūti konstatēt tādu īslaicīgu notikumus kā 8200 notikums vai Mazais ledus laikmets. Detalizētākiem pētījumiem tika izvēlēti tieši dažādu purvu un aizaugošu ezeru nogulumu, jo tajos par veģetācijas sastāvu un klimata izmaiņām liecina gan augu makroskopiskās atliekas (sēklas, lapas, zari), kas parasti ir „*in situ*”, gan arī mikroskopiskās atliekas, kas var būt gan vietējas (augu šūnas, lakstaugu putekšņi, sporas), gan arī reģionālas (koku putekšņi) izcelsmes. Turklāt pētījumu vietas tika izvēlētas arī ņemot vērā to, lai būtu pētīti gan augsto purvu nogulumu griezumi, kas veidojušies, pārpurvojoties minerālajiem nogulumiem purva iepakas pamatnē, gan zemo purvu nogulumu, kas veidojušies aizaugot ūdenstīpēm. Augstie purvi izvēlēti, jo to uzkrāšanās ātruma dēļ varētu būt labāk izsekojamas liecības par aukstuma periodiem pēdējo 2000 gadu laikā, kā arī lai būtu pārstāvēti ezeru nogulumu, kuros atrastās augu atliekas sniedz liecības par apstākļiem nogulumu uzkrāšanās laikā.

Lai salīdzinātu autores iegūtos datus ar agrākajiem pētījumiem Ziemeļvidzemē, tika apzinātas un izpētītas 32 Ziemeļvidzemes putekšņu procentuālās diagrammas no Latvijas putekšņu diagrammu kataloga (Segliņš, 2001b, c) (3.1. att.).

Pētījumi veikti četros augstā tipa un vienā zemā tipa purvā (3.1. att.), kur darba mērķa sasniegšanai nepieciešamā informācija tika iegūta, veicot nogulumu zondēšanu, urbšanu un paraugu ņemšanu pētījumiem laboratorijā. Nogulumi pētīti, veicot kūdras botāniskā sastāva un sadalīšanās pakāpes, sporu–putekšņu analīzes, augu makroskopisko atlieku un fosilo mikroorganismu analīzes un karsēšanas zudumu analīzi.

Pētījumā veiktas šādas analīzes:

1. Kūdras sadalīšanās pakāpes noteikšana, kas raksturo attiecības starp humusa saturu un visas kūdras masu (Tjuremnovs, 1976). Sadalīšanās pakāpi nosaka ar mikroskopisko metodi, kad nosaka attiecības starp tumšas masas (humusa) laukumiem un kopējo parauga redzes lauku. Lai noteiktu viena parauga sadalīšanās pakāpi, izdara 10 redzes lauku novērtējumus viena parauga 3 preparātiem. Vidējo sadalīšanās pakāpi rēķina kā vidējo aritmētisko no 30 datiem.
2. Kūdras botāniskā sastāva analīze ir svarīga, lai precīzi noskaidrotu kūdras veidu un purva augu segas attīstības dinamiku (Tjuremnovs, 1976; Maksimov, 1995). Kūdras botāniskā sastāva noteikšana notiek, pamatojoties uz kūdras makroskopiskajām un mikroskopiskajām pazīmēm, noskaidrojot galvenos augus, kas veido kūdras nogulumu parauga sastāvu (Maksimov, 1995). Augi – kūdras veidotāji tiek noteikti, izmantojot dažādus augu makroskopisko atlieku noteicējus (Katz et al., 1977; Istomina, 1938).
3. Putekšņu un sporu analīze tika veikta pēc K. Benneta un K. Vilis metodikas (Bennet, Willis, 2001). Paraugā tika saskaitīti vismaz 400 putekšņi, ņemot vērā ūdensaugu putekšņu skaitu. Veidojot putekšņu procentuālo diagrammu, par pamatsummu (100%) pieņem visu putekšņu summu, izņemot ūdensaugu putekšņus, kā arī sporas, oglišu putekļus (līdz 25 μ) un aļģes (Berglund, Ralska-Jasiewiczowa, 1986). Sporas un putekšņi tika noteikti, izmantojot vairākus putekšņu noteicējus (Erdtman, 1954; Faegri, Iversen 1989; Moore, Webb. 1978; Nilsson et al. 1977; Traverse, 2008; von Beug, 2004). Sporu un putekšņu datu apstrādei tika izmantota datorprogramma TILIA (Grimm, 1990).
4. Citu mikroskopisko atlieku identificēšana. Paralēli sporu un putekšņu noteikšanai tika noteikti arī dažādas citas augu un dzīvnieku mikroskopiskās atliekas, piemēram, rizopodi – saldūdens viensūnas mikroskopiskās atliekas – amēbas, kuriem ir plāns apvalciņš, kas ieslēdz citoplazmu (Hooghiemstra, 2012). Mikroorganismi labi saglabājas sfagnu kūdrā un to jutīgi reaģē uz hidroloģisko apstākļu izmaiņām kūdras uzkrāšanās laikā (Tolonen, 1966). Šie organismi ir bieži izplatīti saldūdens nogulumos ar sikgraudainu granulometrisko sastāvu, bet jo īpaši bieži atrodami kūdrā, un tos var precīzi identificēt (Warner, 1999). Tomēr jāņem vērā, ka sagatavojot paraugu putekšņu analīzei, daļa mikroskopisko atlieku nesaglabājas un

lai veiktu pilnīgu mikroskopisko atlieku analīzi, atkarībā no mērķa atrast konkrētas atliekas (ogļītes, hironomīdas, kladoceras), būtu jāveic nogulumu analīzes pēc atbilstošas metodikas. Citas mikroskopiskās atliekas un to uzkrāšanās apstākļi tika identificēti, izmantojot Tolonen (1966), van Geel (1998), Charman et al. (2000), Clarke (2003), Barthelmes (2006), Mazei, Tsyganov (2006), Booth (2008), Booth et al. (2008), Glime (2012). Alģes tika noteiktas, izmantojot noteicējus (Piterāns, et al., 1957; Katz, et al., 1977; Jankovska, Komarek, 2000).

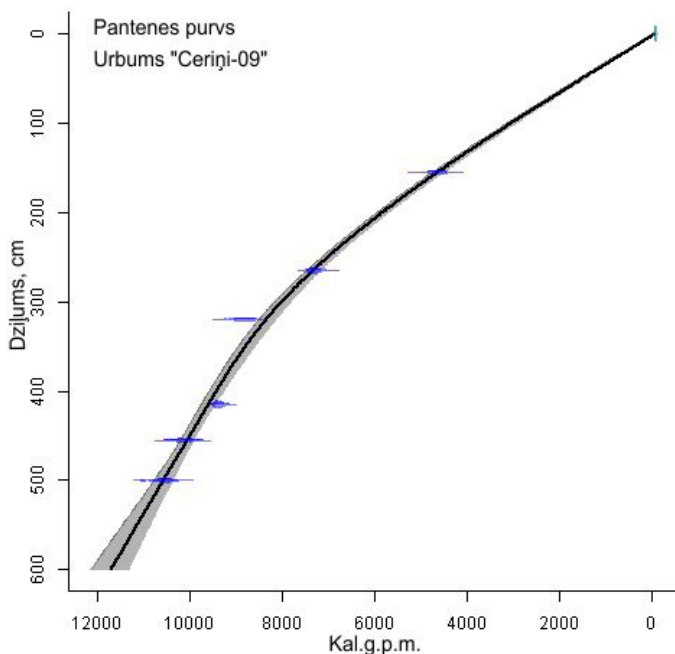
5. Augu makroskopisko atlieku analīze sniedz vērtīgu informāciju par lokālajām paleovides izmaiņām ezerā. Vislielākā vērtība augu makroskopisko atlieku datiem ir, ja urbumu, monolītu vai atsegumu slāņkopu paraugiem tiek veikta arī putekšņu analīze, tādējādi savienojot makroskopisko atlieku datus ar citiem paleoekoloģiskajiem indikatoriem (Warner, 1990). Paraugu skalošana un frakcionēšana tiek veikta pēc H. Birks (Birks, Birks, 1980).
6. Karsēšanas zudumu analīze – organiskās vielas un karbonātiskā saturs procentuālā daudzuma noteikšana ir balstīta uz paraugu secīgu dedzināšanu mufelkrāsnīs. Metode tiek veikta pēc Heiri et al. (2001).
7. Radioaktīvā oglekļa datējumu kalibrācija. Lai holocēna nogulumu radioaktīvā oglekļa datējumus varētu piesaistīt kalendārajiem gadiem, tie ir jākalibrē. Dziļuma-vecuma modeļi tiek veidoti, lai, balstoties uz ierobežotu skaitu datētu dziļumu un pieņēmumiem par to, kā nogulumi uzkrājušies starp šiem dziļumiem, aprēķinātu nogulumu kalendāro vecumu (Blaauw, 2010). Radioaktīvā oglekļa datējumu kalibrācijai tika izmatota programma CLAM (Blaauw, 2010), jo tā ļauj aprēķināt katra centimetra vai katru 5 cm uzkrāšanās laiku.
8. Putekšņu datu izmantošana modelēšanā – REVEALS modelis tika pielietots, jo tas ļauj precīzāk rekonstruēt reģionālās veģetācijas izmaiņas salīdzinājumā ar putekšņu procentuālajām diagrammām. Modeļa parametri ietver putekšņu produktivitāti katrai sugai, krišanas ātrumu katram putekšņu veidam un vēja ātrumu (Sugita, 2007). REVEALS v. 4.1.9 modelis (Sugita, 2007) tika izmantots katrai vietai atsevišķi, ņemot vērā visas pieejamās putekšņu kopas.

4. REZULTĀTI UN TO INTERPRETĀCIJA

4.1. Pantenes purvs

Pantenes purvā un tā apkārtnē urbšanas darbi un paraugu iegūšana tika veikta vairākkārt. 2006. gadā Pantenes purvā pie Braukšu I apmetnes tika veikta ģeoloģiskā urbšana ar mērķi iegūt pilnu holocēna nogulumu griezumumu. Vēlāk tika ņemti paraugi arī ^{14}C datēšanai.

Balstoties uz 6 radioaktīvā oglekļa datējumiem, CLAM programmā (Blaauw, 2010) ir izveidots dziļuma vecuma modelis (4.1.att.), kurā redzams, ka nogulumu uzkrāšanās visā griezumā bijusi ļoti viendabīga, bet visstraujāk uzkrājušies līdz 9500 kal. g. p. m., kad baseinā uzkrājušies māli ar ātrumu 0,50–0,90 mm gadā. Sākot uzkrāties gitijai pirms aptuveni 7000 kal.g.p.m. nogulumu uzkrāšanās intensitāte samazinās 0,30–0,50 mm gadā. Purva veidošanās sākuma stadijā kūdras uzkrāšanās intensitāte ir bijusi lielāka kā mūsdienās. Ja pirms 5000 kal.g.p.m. tā bijusi 0,38 mm gadā, tad mūsdienās tā ir 0,31 mm gadā.



4.1. attēls. Urbuma „Ceriņi-2009” nogulumu dziļuma-vecuma likne

Nosakot nogulumu vecumu, izmantojot augu makroskopiskās atliekas, un, salīdzinot iegūtos rezultātus, tika konstatēts, ka sauszemes augu vecums Burtnieka ezera nogulumu absolūtā vecuma datējumos ar AMS ¹⁴C metodi ir 6600–6800 kal.g.p.m (1,65–1,75 m dziļumā). Savukārt iegremdētie ūdensaugi no šī paša dziļuma ir par 500–1000 gadiem vecāki par sauszemes augiem, kas norāda uz Burtnieka ezera baseina ūdens sastāva ietekmi uz augu atlieku vecuma datējumiem, kas tika ņemts vērā, interpretējot iegūto analīžu rezultātus.

Balstoties uz ģeoloģisko urbumu un zondējumu datiem, tika izveidots Pantenes purva ģeoloģiskais griezumšs, kurā ir novērojama tendence, ka virzienā uz Rūjas upi, kas plūst cauri Pantenes un Brīvpurvam, kūdras slānis kļūst plānāks – ja purva malā tas ir līdz 2,70 m, tad pie Rūjas upes nepārsniedz metru (4.2. att.). Savukārt gitijas slāņa biezums mainās no 0,30 m purva rietumu daļā līdz 1,00 m purva austrumu malā. Gitijas slānis izveidojies laikā, kad pazeminājās ūdens līmenis Senā Burtnieka Ziemeļu licī, kas pakāpeniski aizauga un izveidojās labi sadalījusies zāļu un koku-zāļu kūdra. Senā Burtnieka līča rietumu malā gitija sākusi uzkrāties pirms aptuveni 10 570 kal.g.p.m., ja ņem vērā rezervuāra efektu, tad pirms 9570–10 070 kal.g.p.m., savukārt kūdra sākusi uzkrāties pirms aptuveni 8590–9090 kal.g.p.m. Purva austrumu malā Rūjas upes tuvumā kūdra sākusi uzkrāties aptuveni 2000 gadus vēlāk – pirms 6800 kal.g.p.m. Ūdens līmenis purvā ir bijis ļoti mainīgs, par ko liecina kūdras botāniskais sastāvs, kad zāļu kūdras slāni mijas ar koku-grīšļu vai koku-zāļu kūdru.

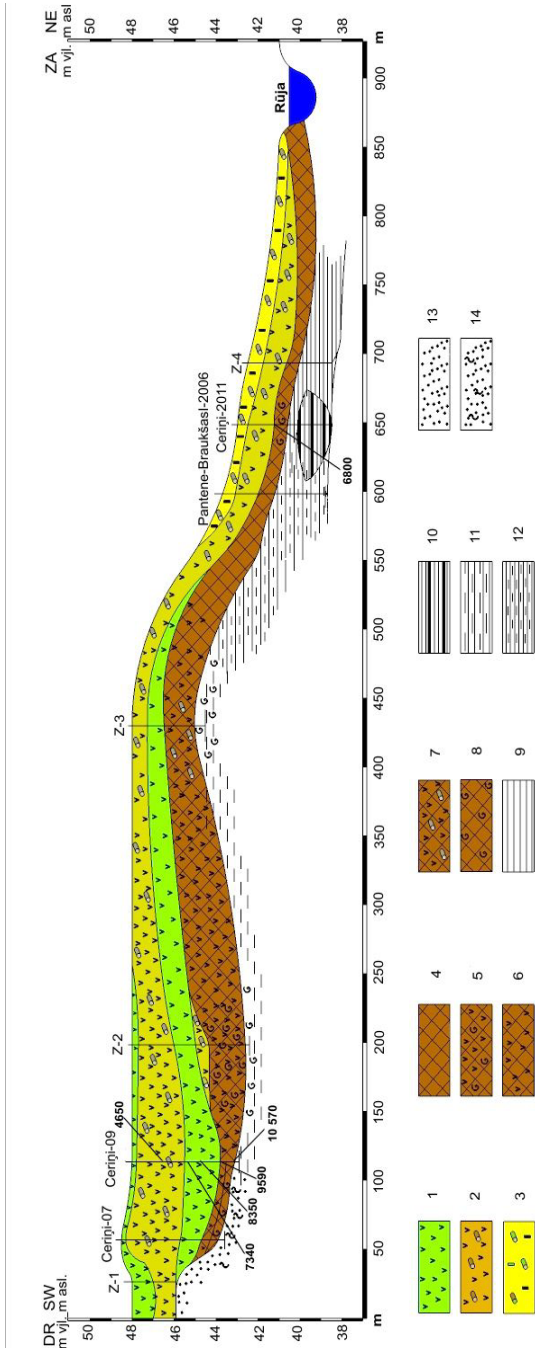
Pantenes purvā veiktie nogulumu pētījumu rezultāti ļauj secināt, ka aptuveni pirms 9400–10 560 kal.g.p.m. nelielā daudzumā atrasti bērza, kārkla, kadiķa un pundurbērza putekšņi, tomēr dominējošie ir graudzāļu un grīšļu putekšņi, liecinot par atklātu ainavu. Šajā dziļumā atrastas ūdensrožu atliekas un dažāda veida aļģes – *Gloeotrichia* zilaļģes parasti atrodamas barības vielām nabadzīgos ūdeņos, savukārt *Pediastrum boryanum*, *Pediastrum simplex*, *Pediastrum angulosum*, liecina par pakāpenisku barības vielu pieaugumu, stāvošiem ūdeņiem un ūdenstilpes aizaugšanu (Jakubovska, 1996). Atrastas arī sfēriskas daļiņas – aptuveni 15–25 mikronus lielas organogēnas vai minerogēnas izcelsmes melnas lodītes, kuru klātbūtne holocēna sākuma nogulumos ir maz pētīta. Holocēna sākumā Pantenes purvā sfērisko daļiņu daudzums ir korelējams ar aļģu izplatību, savukārt 8200 notikuma laikā aļģes nav konstatētas, bet ievērojami pieaug minerālo daļiņu daudzums, tādējādi norādot, ka šī laika sfēriskās daļiņas varētu būt arī minerogēnas izcelsmes.

9400–9800 kal.g.p.m. augu atliekas uzkrājušās seklā un pārpurvotā ezera piekrastē. Konstatēts, ka putekšņu sastāvā šajā nogulumu intervālā dominē priedes putekšņi, ievērojami samazinās graudzāļu putekšņu daudzums. Lielā daudzumā atrastas paparžu sporas, kā arī sastopamas zaļaļģes un brūnaļģes. Ļoti liels ūdens augu – vilkvālišu (*Typhaceae*), ūdensrožu dzimtas (*Nymphaeaceae*) augu putekšņu un aļģu (*Cosmarium*) skaits.

Aptuveni pirms 8900 kal.g.p.m. ļoti strauji palielinās bērzu putekšņu daudzums (līdz 50%), pazūd lazdas putekšņi, un pēc šī bērzu maksimuma sāk pieaugt platlapju daudzums, kas ir tipiskas 8200 notikuma pazīmes. Šo notikumu raksturojošo putekšņu spektra sastāva izmaiņu agrā parādīšanās putekšņu diagrammā iespējams skaidrojama ar rezervuāra efektu, jo nogulumu datēšanai tika ņemti liela apjoma paraugi no karbonātiskas gitijas un kūdras ar molusku un ostrakodu čaulām. Arī karsēšanas zudumu rezultāti urbūmam Ceriņi-2009 šī vecuma nogulumiem uzrāda būtiskas izmaiņas nogulumu sastāvā. Līdz 4,80 m dziļumam (10 000 kal.g.p.m.) uzkrājušies smilšaina gitija, kurā minerālvielu daudzums ir gandrīz 90%. 4,25 m dziļumā (9750 kal.g.p.m.) tas samazinās līdz 20% un ievērojami pieaug organisko vielu daudzums, kas skaidrojams ar labvēlīgākiem apstākļiem augu biomasas daudzuma pieaugumam (kļūst siltāks).

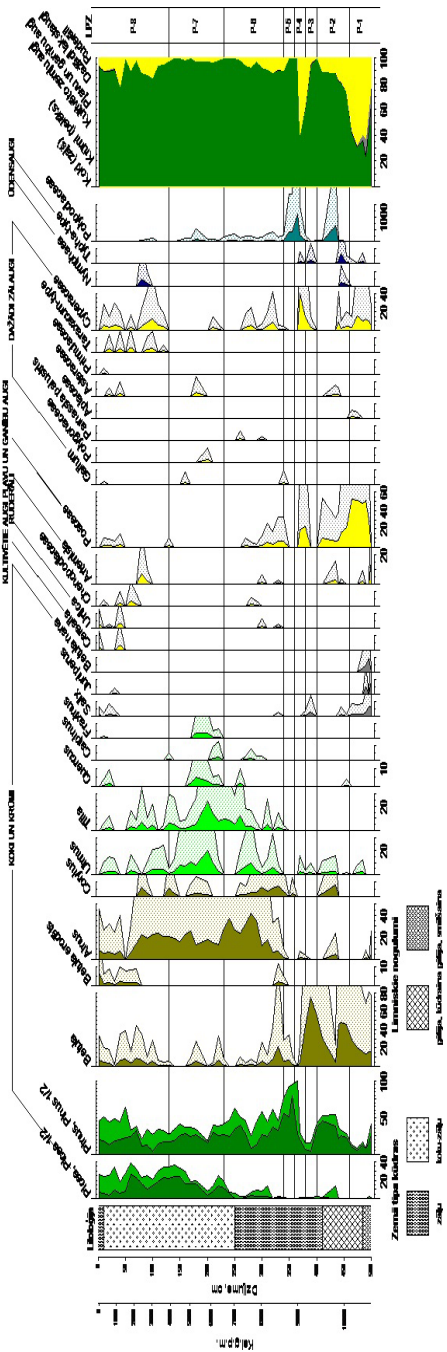
Atkārtoti minerālo daļiņu daudzums palielinās (līdz 45%) pirms 9200 kal.g.p.m. (4,00 m), kas, iespējams, norāda, ka apstākļi vairs nav bijuši piemēroti augu izplatībai, veicinot minerālvielu ieplūdi baseinā no ezera piekrastes. Kopā ar minerālo daļiņu pieaugumu palielinās arī karbonātisko vielu daudzums nogulumos (25%), kas ar gruntsūdeņiem vai upju ūdeņiem ieskalots ezera nogulumos un, mainoties temperatūrai un spiedienam, vēlāk arī ir izgulsnētas. Pirms 8700 kal.g.p.m. organisko vielu daudzums atkal palielinās, norādot uz stabilas veģetācijas segas izveidošanos apkārtējā teritorijā. Interesanta iezīme ir paparžu sporu izžušana 8200 notikuma laikā. Tās ievērojamā skaitā atrastas gan pirms gan pēc šī notikuma.

Lai arī urbūma Pantene/Braukšas I-2006 nogulumu nav datēti, tomēr labi atpazīstamais 8200 notikums nosacīti ļauj datēt šī griezumā nogulumus un, iespējams, norāda, ka gitija šajā senajā Burtnieka līcī sākusi uzkrāties pirms 8000 gadiem. Šis netiešais datējums ļauj domāt, ka daļu no 7,6 m dziļā griezumā (4,00–7,60 m) veido leduslaikmeta beigu posma nogulumu – māli un aleirīti, kuros no makroskopiskajām atliekām atrodami Characeae oogoniji, ostrakodu un molusku čaulas, driādes un pundurbērza makroskopiskās atliekas, kas norāda, ka nogulumu uzkrājušies periglaciāla ezera apstākļos. Aptuveni 4,00 m dziļumā sākuši uzkrāties aleirīti. Ūdensaugu putekšņi un kosas (*Equisetum*) sporas norāda uz sekla ezera apstākļiem mālu sedimentācijas laikā. Arī putekšņu spektrā šajā dziļuma intervālā ir atrasti gan pundurbērza, gan driādu putekšņi. Putekšņu diagrammā šajā periodā dominē priedes un bērza putekšņi. Vēlāk holocēna sākumā dominē priedes un lakstaugu putekšņi. Pēc priedes putekšņu maksimuma, to daudzumam samazinoties un strauji kāpjot bērzu putekšņu liknei, atpazīstams jau pieminētais 8200 notikums (3,50 m dziļumā). Šajā laikā uzkrāties plāns mālaina aleirīta slānis, kurā nav konstatētas ne makroskopiskās atliekas, ne arī mieturaļģes, moluski un ostrakodi, kas lielā daudzumā nogulumos ir sastopami gan pirms šī notikuma, gan pēc tā (Ozola et al., 2010). Pantenes purva rietumu malā (urbūms Ceriņi-2007) šajā laikā jau uzkrājušies zemā tipa koku-grīšļu kūdra.



4.2. attēls. Pantenes purva nogulumu ģeoloģiskais griezumš

Apzīmējumi: 1 – kūdra, zaļu, 2 – kūdra, koku-zaļu, 3 – kūdra, koku-grišļu, 4 – gitiņa, 5 – gitiņa, kūdraina ar molusku un ostrakodu čaulām, 6 – gitiņa, kūdraina, 7 – gitiņa, kūdraina ar koku atliekām, 8 – gitiņa ar molusku un ostrakodu čauliņām, 9 – māls, 10 – māls ar organiskajām vielām bagātiem starpslāņiem, 11 – aleirīts, mālauns, 12 – māls, aleirītisks, 13 – aleirīts, smilšains, 14 – smilts ar organiskajām vielām, Z – 1-zondējumi, Ceriņi-2007 – urbumi; 7340 – kalibrētie ¹⁴C datējumi, kal-g.p.m.



4.3. attēls. Pantenes purva nogulumu sporu-putekšņu procentuālā diagramma

Pēc 8200 notikuma īslaicīgi pieaug grīšļu un zālaugu putekšņu skaits, liecinot par īslaicīgu ūdens līmeņa celšanos. Taču jau drīz pēc tam ļoti strauji krīt putekšņu koncentrācija un ievērojami pieaug erodētu paparžu sporu un sporangiju skaits. Nelielā skaitā atrasti vien priedes putekšņi, no kuriem daudzi ir erodēti. Tas, ka sporas ir erodētas varētu norādīt uz ļoti sausiem apstākļiem un eroziju īsi pirms platlapju likņu kāpumiem (HTM).

Sākot no aptuveni 8800 kal.g.p.m. (ņemot vērā rezervuāra efektu 500–1000 gadi – pirms 7800–8300 kal.g.p.m.) putekšņu diagrammā joprojām dominē priedes, ievērojami palielinās alkšņu, lazdu un platlapju putekšņu daudzums. Šis pazīmes liecina par HTM sākumu. Siltākais HTM posms novērojams pirms 5900 kal.g.p.m., kad platlapji sasniedz savu maksimālo izplatību: goba 20%, liepa 20%, ozols 5%, osis 5%.

Aptuveni pirms 4000 kal.g.p.m. platlapju putekšņu daudzums samazinās, nepārtraukti likni sāk veidot bērzs, ieviešas mitru plaļu augu putekšņi, kā arī kultivētie augi. Pirms 700 kal.g.p.m. novērojams otrs minerālo daļiņu daudzuma palilināšanās periods, kurš turpinās līdz mūsdienām. Ši ipatnība varētu būt skaidrojama ar intensīvu laiksaimniecību uz Pantenes drumlina, kā rezultātā purvā tiek iepūstas minerālās daļiņas.

4.2. Zilais purvs

Zilā purva ziemeļu daļā veikti 3 zondējumi un viens urbums. Veikta arī nogulumu vecuma ¹⁴C datēšana četriem paraugiem. Šie datējumi tika kalibrēti un, balstoties uz tiem, CLAM programmā ir izveidots dziļuma-vecuma sakarības modelis, kurā redzama nogulumu uzkrāšanās intensitāte, kura purva veidošanās sākumā līdz aptuveni 1000 kal.g.p.m., ir bijusi 0,5–1 mm gadā. Straujāka nogulumu uzkrāšanās novērojama pēdējos 1000 gados: 1–2 mm gadā.

Apkopojot un interpretējot Zilajā purvā iegūto analīžu rezultātus, tika rekonstruēti purva veidošanās un nogulumu uzkrāšanās apstākļi (4.1. tab.). Zilais purvs veidojies, kad pirms aptuveni 3100 kal.g.p.m. salīdzinoši siltos klimatiskos apstākļos sāka aizaugt sekla ūdenstilpe un, ūdens līmenim pazeminoties, nosacīti sausos apstākļos sāka uzkrāties labi sadalījusies zemā tipa koku-zāļu kūdra. Klimatiskajiem apstākļiem pasliktinoties, aptuveni pirms 2500 kal.g.p.m. ūdens līmenis ceļās un sāka uzkrāties niedru kūdra ar gītijas starpkārtniņām. Pēc 500 gadiem (pirms 2000 kal.g.p.m.) ūdens līmenis atkal pazeminājās, un sāka uzkrāties grīšļu-koku kūdra un vietām arī sfagnu kūdra. Līdz 1400 kal.g.p.m. turpinās zemā purva pakāpeniska pāreja augstajā purvā. Sākotnēji augstajā purvā dominē fuskuma sfagnu kūdra, un pirms aptuveni 500 kal.g.p.m. kūdras sastāvā sāk parādīties spilves un palielinās kūdras sadalīšanās, kas pirms 300 kal.g.p.m. pieaug līdz 30%, tomēr jau aptuveni pēc 100 gadiem kūdras sastāvā atkal sāk dominēt sfagni. Putekšņu sastāvs, kūdras botāniskais sastāvs

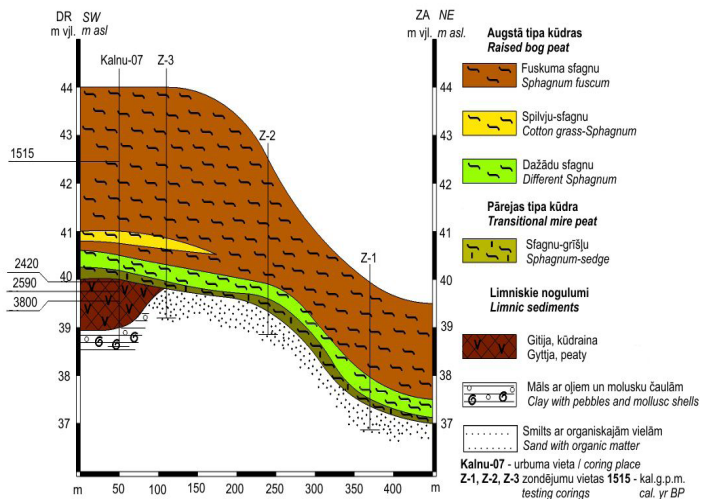
un citas mikroskopiskās atliekas liecina, ka, sākot no 3000 kal.g.p.m., klimats pasliktinās un ir vēss un mitrs.

4.3. Kalna purvs

Purva iepakas pamatne ir nelīdzena, un tā mainās no 37 m līdz 40 m vjl. Iepakas dziļākajā daļā to veido zilganpelēks māls ar saldūdens kaļķiezi, oļiem un maziem gliemežvākiem, bet virzienā uz purva malu to nomaina smalka labi šķīrota smiltis (4.4. att.). Purva centrālajā daļā veiktajā 5,40 m dziļajā urbumā virs zilganpelēkā māla tika konstatēts 0,5 m biezs tumši brūnas kūdrainas gitijas slānis, ko savukārt pārsedza kūdras slāņi.

Pēc datējumu rezultātiem tika sastādīts dziļuma vecuma modelis, kura rezultāti ļauj secināt, ka aptuveni līdz 3500 kal.g.p.m. nogulumu uzkrājušies ar intensitāti 0,8 mm/gadā, pēc šī laika līdz 1800 kal.g.p.m. nogulumu uzkrāšanās intensitāte ievērojami pieaug līdz 1,25–2 mm/gadā. Pēdējos 1000 gados uzkrāšanās intensitāte samazinās līdz 1mm/gadā.

Analizējot urbuma „Kalna-07” nogulumus, tika veiktas botāniskā sastāva, sporu-putekšņu, citu makroskopisko atlieku analīzes. Analīžu rezultāti tika salīdzināti, un rekonstruēta purva veidošanās un attīstības gaita (4.2. tab.).



4.4. attēls. Kalna purva austrumu daļas ģeoloģiskais šķērsgriezums

4.4. Ķeru purvs

Ķeru purvā zondējumi tika veikti 3 vietās ziemeļaustrumu daļā. Neskatoties uz to, ka purvā daudzviet ir nepārejamas lāmas, kas zināmā mērā norāda uz to, ka šajās vietās kūdras slāņi varētu būt plīsuši, tomēr, rūpīgi novērtējot zondējumu iegūtos rezultātus, netika konstatēti slāņu pārrāvumi, un arī robežas starp dažāda botāniskā sastāva slāņiem bija pakāpeniskas, kas liecina, ka šīs izmaiņas notikušas vides apstākļu izmaiņu rezultātā (Kalniņa, et al., 2008a, e).

Konstatēts, ka Ķeru purva iepļakas gultne pētītās teritorijas daļā ir salīdzinoši līdzena, un nogulumu uzkrāšanās ir bijusi līdzīga visā purva iepļakā. Tās dziļākajā daļā 2,75–3,00 m dziļumā pirms aptuveni 1980 kal.g.p.m. uzkrājusies rupja smilts ar organiskajām vielām, virs kuras 2,40–2,75 m dziļumā pirms aptuveni 1750–1430 kal.g.p.m. ir uzkrājusies tumši brūna smilšaina gītija ar augu atliekām un smalkas smilts starpslāņiem (1–0,5 cm), kas liecina par mainīgiem apstākļiem šīs seklās ūdenstilpes hidroloģiskajā režīmā un aizaugšanas sākumu (4.3. tab.).

Aptuveni pirms 1300–1430 kal.g.p.m. dziļuma intervālā 2,25–2,40 m virs gītijas uzkrājusies labi sadalījusies (30–40%) zemā tipa grīšļu-zāļu kūdra ar gītijas starpslāņiem, kas liecina par to, ka ūdenstilpē tās aizaugšanas laikā ir bijuši mainīgi mitruma apstākļi un ūdens līmenis, kā rezultātā aizaugušās ūdenstilpes teritorijā atsevišķos laika posmos ūdens ir pārsedzis zemā tipa kūdras slāni un, mainoties vides apstākļiem, virs kūdras ir uzkrājies plāns (1–2 cm) kūdrains gītijas slānītis. Taču grīšļu-zāļu kūdras salīdzinoši augstā sadalīšanās pakāpe liecina par to, ka pārsvarā ir bijuši sausa klimata apstākļi, kad gruntsūdens līmenis ir bijis zems un atmirušie augi varēja labi sadalīties. Griezumā augstāk 1,90–2,25 m dziļumā pirms 1000–1300 kal.g.p.m. uzkrājusies labi sadalījusies (25–35%) tumši brūna pārejas tipa sfagnu-koku kūdra. Dziļuma intervālā 1,55–1,90 m pirms 770–1000 kal.g.p.m. uzkrājusies augstā tipa sfagnu-spilvju kūdra ar gaišāku un tumšāku brūnu slāņīšu miju. Šis kūdras slānis ir mazāk sadalījies salīdzinājumā ar zem tā iegulošo pārejas tipa kūdru, kuras sadalīšanās pakāpe ir vidēja (15–20%). Ķeru purva augšējo 1,55 m biezo nogulumu slāni veido gaiši brūna sfagnu kūdra. Dziļuma intervālā 0,60–0,80 m laikā pirms 230–330 kal.g.p.m. sfagnu kūdras sastāvā dominē Magelāna sfagna atliekas. Kūdras sadalīšanās pakāpe mainās no 5% līdz 10%. Šis maz sadalījies magelānsfagna kūdras slānis ir veidojies laikā no 290 līdz 300 gadiem, iespējams, Mazā ledus laikmeta apstākļos.

4.5. Puikules purvs

Puikules purvā tika veikti vairāki zondējumi, lai atrastu vietu, kur ir uzkrājusies gan gītija, gan pēc iespējas daudzveidīgāki kūdras slāņi, jo tas ļautu pēc nogulumu sastāva un pēc tajos esošajām paleoekoloģiskajām liecībām spriest par vides izmaiņām nogulumu uzkrāšanās gaitā. Tāpat bija svarīgi, lai urbums

būtu purva kupola augstākajā daļā, kur kūdras slāņi ir mazāk traucēti. Tā kā bija plānots izmantot arī iepriekšējo pētījumu materiālus, tad bija svarīgi urbuma vietu izvēlēties uz jau agrāko pētījumu profila līnijas (Vetreņņikovs, Golubevs, 1989). Piemērota vieta urbumam tika izvēlēta uz kupola, kas atrodas uz profila līnijas rietumos no Puikules ezera, kur zondējumos tika konstatēts, ka nogulumu slāņi nav sajaukti.

Ģeoloģiskā urbuma veikšanas vietā pirms purva izveidošanās, iespējams, agrāk pastāvējusi atklāta, sekla ūdenstilpe, kurā uzkrājušies ūdeņi no apkārtnējām, hipsometriski augstākām teritorijām. Par to, ka ezers pirms aptuveni 8400 kal.g.p.m. bijis oligotrofs (barības vielām nabadzīgs), liecina nogulumu apakšējā slānī atrastās aļģes *Pediastrum kawraiskyi*. Šāds ezers, iespējams, pastāvējis islaicīgi, jo vienlaicīgi nogulumod vērojams strauja citu aļģu daudzuma palielināšanās (*Pediastrum boryanum*, *Pediastrum integrum*), kas ieviesušās, klimatiskajiem apstākļiem uzlabojoties un ezera ūdenim kļūstot bagātākam ar barības vielām. Straujš bērsa putekšņu liknes kāpums pirms 8400 kal.g.p.m. liecina par 8200 notikumu (4.4. tab.). Vēlāk HTM laikam atbilstošajos nogulumos nav atrasti mitruma indikatori – amēbas un aļģes, iespējams, liecinot par sausiem apstākļiem. Sporādiska mitrumu vai sausumu raksturojošu dažādu amēbu sastopamība sākot no 5,50 m dziļuma (pirms 4200 gadiem) nogulumos liecina par periodiskām gruntsūdens līmeņa fluktuācijām purva attīstības laikā.

Kūdras botāniskā sastāva rezultāti parāda, ka virs 5 cm plāna gitijas slāniša jau pirms aptuveni 8000 kal.g.p.m. sākusi uzkrāties zemā tipa zaļu-grīšļu kūdra. Arī zemā tipa purvs ir pastāvējis tikai aptuveni 100 gadus. Pirms aptuveni 7900 kal.g.p.m. virs zemā tipa kūdras sāka uzkrāties pārejas tipa kūdra, ko pēc 1400 gadiem nomaina augstā tipa kūdra, kas liecina par to, ka nogulumu uzkrāšanās apstākļi ir būtiski mainījušies. Pēdējos 7900 gadus purvā turpina uzkrāties dažādas augstā tipa kūdras – spilvju-sfagnu, sfagnu-spilvju, fuskuma sfagnu vai spilvju kūdras.

Augstā tipa kūdras uzkrāšanās visstraujāk notikusi pirms 4500–2500 kal.g.p.m., kad 2000 gadu laikā uzkrājies pat 2,20 m biezs kūdras slānis ar mazāku sadalīšanās pakāpi, kas liecina par vēsākiem un mitrākiem apstākļiem, kad augu atlieku noārdīšanas un sadalīšanās ir aprgrūtināta.

4.1. tabula. Zilā purva attīstība un nogulumu veidošanās apstākļu rekonstrukcija

kal.g. p.m.	Dzīlums, m, kādras tips un botāniskais sastāvs (sadal.pakāpe, %)	Putekšņu zonas un to raksturojums	Citas apzinātas mikroskopiskas atliekas	Zilā purva attīstība un nogulumu veidošanās apstākļu rekonstrukcija
0	0,00-0,50 m Augstā tipa Fuskuma sfagnu kūdra (8%)	(Z-6) Priede - 43%, egle 15%, bērzs 15%, alksnis 10%, nedaudz arī platiplapji, virši 10%, graudzāles (5%).	<i>Empophysetis lohata</i> sēņu atliekas, augu gan mirrā sēncēriju kūdra, gan uz <i>Oxyecena patinisris</i> , <i>Polyporchium</i> spec. un <i>Erica terrata</i> . <i>Gelatinospora</i> spum <i>Type 10</i> sēnes	Vēss un pārsvarā mitrs klimāts, purvā novērojamas idēns līmeņa svārstības.
200		(Z-5) alksnis, bērzs 20-25%, egle 10-15%, priede 15-20%, goba 2-5%, liepa, skābardis un ozols -2%, virši 25%.		Saitēdošos sausni apstākļi.
300	Spilvju-sfagnu kūdra (30%)	(Z-4) Priedes 43%, alkšņa putekšņu līkne perioda vidūliktī (no 20 uz 5%) un tad pakāpeniski pieaug līdz 15-20%. Egles (-20%), Egles (-23%) putekšņu līknes ir svārstīgas; ļoti maz platiplapju putekšņu. Graudzāles -5%, gan gršiļi -5%. Mazāk vīgrīzes, skābenes un idēnsaugi. Joprojām pastāvīgu līkni veido virši un viestenes.	Saus <i>Micropharium</i> spec. (aug uz sēdērijiem vai spilvēm) un <i>Amphitrema flavum</i> , kukaiņu atliekas.	Mitri un vēsi apstākļi.
400	0,60-1,00 m sfagnu-spilvju (15%)			
500	0,60-1,00 m sfagnu-spilvju (15%)	(Z-3) Virāki bērza putekšņu maksimumi: 2800 kal.g.p.m. -35%, 1800 kal.g.p.m.-40% un 1200 kal.g.p.m.-35%. Priedes līkne 20-25%. Egles līkne ir svārstīga-5-20%. Nelielā daudzumā visu platiplapju putekšņi. Pastāvīgu līkni sīk veido Eriku dzimtas augi-virši un viestenes. Graudzāles 5-7%, gršiļi 7-10%.	<i>Type 10</i> sēnes sporas, kuras aug uz višiem, norādā uz nosacīti sausniem apstākļiem. Pirms 1200 kal.g.p.m.-maksimālā ogļsū koncentrācija.	Maiņīgās idēns līmenis purvā. Ogļītes norādā uz intensīvu dabisku vai cilvēku izraisītu mežu deģenerāciju.
600				
700				
800	900	1,00-1,90 m Augstā tipa Fuskuma sfagnu kūdra (10%)		
1000				
1100				
1200				
1300				
1400				
1500	1,90-2,10 m Pārejas tipa koku kūdra (20%)		Palielinās ogļsū putekļu daudzums.	Turpina uzkrāties pārejas tipa kūdra. Cilvēka vai dabas izraisīti ugunsgrēki.
1600				
1700				
1800				
1900	2,10-2,30m Pārejas tipa gršiļu-koku kūdra (30%)		Lielākā daudzumā atrastas <i>Amphitrema flavum</i> un <i>Nehela militaris</i> amēibes, kukaiņu atliekas, <i>Empophysetis lohata</i> sēņu atliekas.	Vēsos un mitros, k klimatiskajos apstākļos sākas pārejas tipa kādras uzkrāšanās. Novērojamas idēns līmeņa fluktuācijas un vietām sausi apstākļi.
2000				
2100				
2200	2,30-2,65 m Zemā tipa nīedru kūdra ar grīvas starpslāņiem		Ievērojamā daudzumā (līdz pat 10%) konstatētas dažādu kukaiņu atliekas, sēņu sporas un putekšņi.	Klimatiskie apstākļi joprojām ir vēsi un maiņīgi, ievērojamas idēns līmeņa fluktuācijas.
2300				
2400				
2500				
2600				
2700				
2800	2,65-2,85 m Zemā tipa koku-gršiļu (35-45%)	(Z-2) sīrauji bērza līknes kāpums līdz 35%, alksnis 10-30%, maksimumu sasniedz kārkls (10%) ievērojami samazinās platiplapju daudzums, lievisas virši un viestenes. Zonas beigās palielinās graudzāļu izplatība, samazinās bērzu putekšņu daudzums un ogļsū putekļi.	2800-2900 kal.g.p.m. konstatētas sēņu sporas, priecū un egļu atvārsaines, idēnsaugu putekšņi. Parādās ogļsū putekļi. Slāņa apakšējā līkņē ir no putekšņiem-egles un priedes ir saplēsti.	Klimatisko apstākļu pasliktināšanās, saplēsti un putekšņi iespējams tiecina par sausniem apstākļiem šī slāņa uzkrāšanās sākumā.
2900				
3000				
3100	2,90-2,95m Zemā tipa kokuzāļu (60%)	(Z-1) Dominē liepas putekšņi sasniedzot savu maksimumu 16%, alkšņu 4-5% un lazdas 12% putekšņi (arī maksimumi). Sabūti līkni veido ozols (6%) un goba (5%), gršiļi -5%, parādās arī kultivētie augi. No sporajiem dominē paparades 80%.	Alģes un erodīti putekšņi.	Aizvānos idēnskrātie, sūk veidoies zemā tipa purvs.
3200				
3300	2,95-3,10 m Ģūtiņa ar augu atliekām		Kukaiņu atliekas. Pirms 3270 kal.g.p.m. 3,05 m dziļumā	Sekh, erofa, tomēr aktīva idēnsūpe, kura sūk aizvāni.
3400	3,10-3,15 m Rūpja smiltis ar organizskājiem vielām		Type 179 arķājevēžu mikrooskopskāts atliekas.	Erodīte putekšņi norādā uz īsātieģiem sausniem apstākļiem. Ainaivā dominē liepu audzes, kuras parasti izplatītas mitrās un sūkšņainās vietās, sūflos klimatiskos apstākļos.
3500				

4.2. tabula. Kalnu purva attīstības un nogulumu uzkrāšanās apstākļu raksturojums

Kat.g. p.m.	Dzīlums, m, kūdras tips un botāniskais sastāvs (sadal. pakāpe, %)	Putekšņu zonas un to raksturojums	Citas apzinātās mikrookopiskas atliekas	Kalnu purva attīstība un nogulumu veidošanās apstākļu rekonstrukcija
0				Mīcīdēnām līdzīgi apstākļi, kur ainavā dominē virš un priedes un sīnas.
100		(K-7) Dominē priedes (35%), sīkkrūmi (25%), bērzs (15-25%) parādā platlapju putekšņi.	Atnastas <i>Entophyctis lobata</i> atliekas.	
300		(K-6) Bērzi, 30%, virši 17%.	<i>Limozetes ononidaga</i> augšenes ērce, kas arī norāda uz tālās līmeņa celšanās un līma kļābītni. <i>Entophyctis lobata</i> .	
400		(K-5) Bērzu līkne strauji lēnī (10%) pieaug viršu putekšņu daudzums (40%).	Atnastas <i>Entophyctis lobata</i> atliekas.	Klimatisko apstākļu pasliktināšanās un, iespējams, Mazaīs tekas ietekmēs.
500		(K-4) Strauji pieaug bērzu putekšņu daudzums 40%, oglišu putekļi.	<i>Canthocampius</i> amēbu spermatosporas, <i>Entophyctis lobata</i> šēnu atliekas <i>Limozetes ononidaga</i> .	
600			<i>Limozetes ononidaga</i> augšenes ērce.	
800			Ne amēbas, ne sīnes nav atnastas.	
900	0,00-3,00 m Augstā tipa fīskana sfāgu kūdra (10%)		<i>Canthocampius</i> spermatosporas, <i>Entophyctis lobata</i> .	
1000		(K-3) Dominē sīkkrūmi (virši un citi ērku deimtas aug) putekšņi, no kokiem priedē 10-40%, bērzs 20-40%, egle 5-30%, joprojām neliela daudzumā sastopami arī platlapju līknes sīk, veidojot viršu un mēnās vist enerģ. erodīte egles un putekšņi. Napātraukti līkni sīk, veidojot erodīte egles un priedes putekšņi.	<i>Amphirema flavum</i> amēbu apvalki līcīna par oligotrofiem un mīriem apstākļiem, <i>Entophyctis lobata</i> šēnu atliekas, mīnerālu graudiņi.	Augstā tipa purvs ar cījiem un līmām un mainīgu ūdens līmeni. Erodīte putekšņi, iespējams, norāda uz šīslācīgiem un ļoti sausiem apstākļiem.
1200			<i>Canthocampius</i> spermatosporas, kuras norāda uz atkūti ūdeņu kļābītni.	
1300			<i>Entophyctis lobata</i> šēnu atliekas visbiežāk sastopamas mīrii šelheiriju (<i>Schrederseria</i>) kūdrā, bet sīne aug arī uz <i>Oxycoceas palustris</i> , <i>Polytrichum spec. un Erica tetralix</i> .	
1400			Erādiķis <i>Type 10</i> sīnes līlamidosporas, kas aug uz viršu sūkņiem.	Sīk, veidojot pārejas tipa purvus. Šēnu atliekas līcīna par lokāli sausiem apstākļiem augstā tipa kūdrā.
1500			<i>Gelastrospora</i> sp. šēnu sporas, kuras visvarāk atrodamas nogulumos ar sausni oglišu sauru.	
1600			Atnastas <i>Gazmannamyces</i> sp., līcīnot par grāļu kļābītni pavā.	Ūdens līmenis pazeminās, sīk, veidojot zemā tipa purvus, kurā uzkrājas nīerū-eršļu kūdra. Konstatēta mīensvāka cilvēka darbība, lūksnamniecība un zemkopības atlieka.
1700				
1800				
1900				
2000	3,00-3,25 m Augstā tipa spīruļstagnu kūdra (15%)			
2100	3,25-3,50 m Augstā tipa rīskana sfāgu kūdra (15%)			
2200		(K-2) Graudzāles 15-20%, egle 15-30%, priede 15-25%, bērzs 15-35%, lazda 5%, nebeidz platlapji, nenoturīgās līknes sīk, veidojot viršu un mēnās vist enerģ. putekšņu līknes, kā arī kultūro augu putekšņu līknes, palielinās oglišu putekļu daudzums.		
2300	3,50-3,75 m Pārģas tipa dažādu sfāgu kūdra (30%)			
2400				
2500				
2600	3,75-4,00 m Zemā tipa mēdrū-eršļu kūdra (45%)			
2700				
2800				
2900				
3000	4,00-4,50 m Ģīģija, kūdraina, ūmši brūna			
3100				
3200				
3300				
3400	4,50-5,25 m Māls ar sūlīdāns kalkšez, oļiem un gļimezvētku atliekām			Aizņūgusi ūdenslīpe, kura sīk, pārpurvoties.
3500				Sīka ūdenslīpe.

4.3. tabula. Ķeru purva attīstības un nogulumu uzkrāšanās apstākļu raksturojums

kaļ.g.p. m.	Dzīļums, m, kūdras tips un botāniskais sastāvs (sadal.pakāpe, %)	Putekšņu zonas un to raksturojums	Ķeru purva attīstība un nogulumu veidošanās apstākļu rekonstrukcija
0	(0,00-0,60 m) Augstā tipa sfāgnu kūdra (5-10%)	(KR-7) Priedes un bērza, graužāļu un viršu putekšņu līknes kāpums un platlapju putekšņu līknes kritums.	Turpina veidoties augstā tipa purvs, viršu putekšņu līknes kāpums liecina par sauskiem apstākļiem purvā jau pirms 200 kaļ.g.p.m.
	(0,60-0,80 m) Augstā tipa Māgelānsfāgna kūdra (5-10%)		
500	(0,80-1,55 m) Augstā tipa fuskuma kūdra (5%)	(KR-6) Pieaug egles putekšņu daudzums, bet samazinās bērza putekšņu daudzums.	Aptuveni pirms 400-550 kaļ.g.p.m. klimats vēl vairāk turpina pasliktināties šī intervālā, ko iespējams, var attiecināt uz Mazā ledus laikmeta pirmo pusi. Išaļcīģu klimata uzlabošanās pirms 350-420 gadiem. To, nomaina vēsāks klimats 250-320 kaļ. g. p. m., kas, iespējams, attiecināms uz Mazā ledus laikmeta otro pusi.
		KR-5 Priedes un bērza, kā arī graužāļu putekšņu līknes kāpums un platlapju putekšņu līknes kritums.	Klimats kļūst vēsāks salīdzinājumā ar iepriekšējā intervāla nogulumu veidošanos apstākļiem.
1000	(1,55-1,90 m) Augstā tipa spilvju-sfāgnu kūdra (15-20%)	KR-4 egles putekšņu maksimums, ozola un grīšļu putekšņu līknes kāpums un sfāgnu sporu daudzuma samazināšanās. Bērzu un alksņu putekšņu līkņu kritums, platlapju – gobas, liepas un ozola putekšņi veldo nepartrauktas līknes. 1,65 m dziļumā maksimālā ogļišu koncentrācija, pēc kuras srauji samazinās egles un platlapju putekšņu daudzums.	Raksturotie putekšņu spektri liecina par klimata uzlabošanos pirms 800 līdz 1000 gadiem, sak veidojoties augstais purvs.
	(1,90 - 2,25 m) Pārejas tipa sfāgnu-koku kūdra (25-35%)		
	(2,25-2,40 m) Zemā tipa grīšļu-zāļu kūdra (35-40%)	KR-3 Pajūleimās sīkrūmu putekšņu daudzums, kā arī srauji pieaug sfāgnu sporu daudzums, ievērojami samazinās paparžu sporu daudzums. Joprojām stabili līkni veldo grīšļu putekšņu līkne. 1,95 m dziļumā priedes putekšņu daudzums sasniedz savu pirmo maksimumu (45%).	Mainīgi mitruma apstākļi, kā rezultātā aizaugušs ūdenstilpes teritorijā atsevišķos laika posmos ūdens ir pārsejis zemā tipa kūdras slāni, un mainoties vides apstākļiem, vairs kūdras ir uzkrāties plāns (1-2 cm) kūdrainas gūlījas slānītis. T acū grīšļu-zāļu kūdras salīdzinot šī augstā sadalīšanās pakāpe liecina par to, ka pārvarā ir bijusi sausā klimata apstākļi, kad gruntsūdens līmenis ir bijis zems un augi varēja labi sadalīties.
1500		KR-2 augsta bērza un lakstaugu putekšņu līkne.	Klimatisko apstākļu pasliktināšanās un, iespējams, aukstuma epizode pirms 1450 līdz 1650 kaļ.g.p.m.
2000	(2,40-2,75 m) grītiņa	KR-1 Augstas vērtības sasniedz bērzu, alksņu un lazdās putekšņi. Lazdās un alksņa putekšņi zonas augšējā daļē pakāpeniski samazinās. Visā izbalītajā intervālā novērojama vienmērīga liepas līkne, kas sasniedz maksimumu visā griezumā. Griezuma apakšējās daļās putekšņu spektrās no sporaugiem sastopamas saldskānīšu sporas, kā arī ūdenisauģu putekšņi.	Silts un mitrs klimats, ūdenstilpe turpina aizaugt.
2500			
	(2,75-3,00 m) smilts		Mainīgi apstākļi ūdenstilpes hidroloģiskajā režīmā un ūdenstilpes aizaugšanas sākums.

4.4. tabula. Puikules purva attīstība un nogulumu uzkrāšanās apstākļi

kal.g. p.m.	Dziļums, m, kūdras tips un botāniskais sastāvs (sadal.pakāpe, %)	Putekšņu zonas un to raksturojums	REVEALS zonas	Citas apzinātas mikroskopiskās atliekas	Puikules purva attīstība un nogulumu veidošanās apst.
0					
500	0,00-1,10 m Augstā tipa fuskuma sfagnu kūdra (15%)	(PKU-8) Dominē bērza putekšņi 30-50%, palielinās alkšņu putekšņu daudzums 15% un graudzāļu putekšņu daudzums līdz 10%, grāšņi 2%, virši 5-15%.	R-PKU-4 Virši 40-50%, bērzi 15-25%, domiņē 10-15%, graudzāļi 10-15%, grāšņi 10%	PKU-N-7 Dažas <i>Arcella artoceva</i> amēbas, mazāk <i>Amphitrema flavum</i> un <i>Assulina muscorum</i> .	Purva pazeminās tālās līnienis, zināvē domiņē virši, priekšs un bērza sfagni.
1000	1,10-1,35 m Augstā tipa spļvju kūdra (35%)	(PKU-7) Zonas apakšdaļē domiņē priekšs putekšņi 30%, augšdaļē-egles, sasniedzot 45%.		PKU-N-6 Domiņē <i>Amphitrema flavum</i> amēbas, mazāk <i>Arcella artoceva</i> un <i>Assulina muscorum</i> .	
1500					
2000	1,35-3,50 Augstā tipa fuskuma sfagnu kūdra (15%)	(PKU-6) Domiņē bērzs 20-40%, priete 10-25%, alkšnis 10-25%, egle 10-25%, lazda 5%, ozols 3%, lepa 2%, virši 7%.	R-PKU-3 Egle 50-60%, bērzs 15-20%, priede 5-10%, goba 5%, lepa 5%, pārgāju palatāju putekšņu loti grāšņi 1%, kativētie augi 5%	PKU-N-5 Domiņē gan <i>Amphitrema flavum</i> , gan <i>Assulina muscorum</i> , nedaudz mazāk izplatītas <i>Arcella artoceva</i> amēbas.	Apstākļi vēsi un ļoti mitri, īpaši pirms 1200 kal.g.p.m.
2500					
3000	3,50-4,40 Augstā tipa sfagnu-spļvju kūdra (15%)	(PKU-5) Strauji pieaug egleš putekšņu daudzums 40%, perioda virši (3100 kal.g.p.m.) egleš fikse strauji arī līdz 10% un tad atkal palielinās līdz 40%. Bērza putekšņu fikse ļoti fluktuē 20-40%, alkšņi 10-25%, priede 4-25%, ozols 2-7%, lepa 2%, osis 1%, karklis 3%, kaadķis 1%, viršu fikse zonas apakšdaļē sasniedz 40%, augstāk 10%.		PKU-N-4 Nav amēbu un alģu.	Udens līm. ievērojami pazemināts.
3500	4,40-4,50 m Augstā tipa spļvju-sfagnu kūdra (5%)				
4000	4,50-5,00 m Augstā tipa fuskuma sfagnu kūdra (15%)				
4500	5,00-5,30 m Augstā tipa sfagnu-spļvju kūdra (45%)				
5000	5,30-6,00 m Augstā tipa spļvju-sfagnu kūdra (40%)				
5500	6,00-6,25 m Augstā tipa spļvju kūdra (50%)	(PKU-4) Maksimumu sasniedz alkšņa 32%, lazdas 29%, kā arī gobas (10% un, liepas (10%) putekšņu fikses. Perioda beigās <i>Gamabisis</i> putekšņu, palielinās ruderalu augu procentuālais daudzums, graudzāles 2-5% robežās, sfagnu sporas pat 85%. Nedaudz ūdensaugu putekšņi.	R-PKU-2 Amavā domiņē zāliņgādņuzes 10-40%, kultivētie augi 10% No kokiem domiņē 20%, liepas 15-20%, platlapji, gobas 15-20%, liepas 15-20%, zonas beigās apvienot pirms 5000 kal.g.p.m. domiņē virši 40%.	PKU-N-3 Domiņē <i>Assulina muscorum</i> , nedaudz mazāk konstatētas <i>Amphitrema flavum</i> , ļoti un mazā skaitā arī <i>Arcella artoceva</i> amēbas.	Iztekot vēsi un mitri apstākļi, purvā turpinā uzkrāties augstā tipa kūdra.
6000	6,25-6,50 m Augstā tipa spļvju-sfagnu kūdra (45%)				
6500	6,50-6,85 m Augstā tipa spļvju kūdra (50%)	(PKU-3) pieaug bērza putekšņu daudz. (no 24%-42%), kriti gobas un lazdas fikses. Palielinās liepas procentuālais daudzums, alkšņu 20%.			Saus un silts klimats, cilvēla lauksaimnieciskās darbības arslūkums. Veidojas augstā tipa purvs. Holocēna termālais maksimums.
7000	6,85-7,20 m Pārgājis tipa kokus-spļvju (50%)				
7500	7,20-7,65 m Zemā tipa kokus-grāšņu (50%)	(PKU-2) strauji pieaug lazdas putekšņu daudzums (20%), ievērojami pieaug un maksimumu sasniedz zāliņu putekšņu daudzums (līdz 25%).			Nosērti strauji (600 grādes) notiek pāreja no zemā uz augsto purvu.
8000	7,65-7,75 m Zemā tipa grāšņu-zāļu (50%)				
8100					
8200	7,75-7,87 m grīja	(PKU-1) Bērza maksimums (65%), arī priedes putekšņu ir daudz (30%), zāliņgi (5%).	R-PKU-1 Domiņē bērzs 50% un priede 18%, pēc tam lazdas 20%	PKU-N-1 Atnastas <i>Psolusorum boyanum</i> , <i>P. parvokas</i> , <i>P. integrum</i> , <i>Boripococis braunii</i> un ūdensbišu (<i>Cladocera</i> , <i>Daphnia</i> sp.) atliekas.	Uzlabojas klimats tikie apstākļi, domiņē samērtā ar vēja ariava. Pazūd alģes, ezers strauji aizaug un veidojas zema purvs.
8300					
8400	7,87-8,00 m smilšmāls				Oligotrofi atkārto ar zemu temperatūru, sīmanu viri. Atkārtais 5200 notikums (<i>Cladocera</i> , <i>Daphnia</i> sp.) atliekas. Klimata uzlabošanās, atkāla, burības vēliem bagāta iedzīstība.

5. DISKUSIJA

Apzinot, izanalizējot un izvērtējot publicētos un nepublicētos materiālus par holocēna organogēno nogulumu sastāva un uzkrāšanās apstākļu izmaiņu liecībām purvos holocēnā Latvijā un Igaunijā, kā arī izvēlētajās pētījumu vietās Ziemeļvidzemē veikto nogulumu paleobioloģisko pētījumu rezultātus iegūti pierādījumi par mainīgiem nogulumu uzkrāšanās apstākļiem holocēnā. Pētījumā iegūtie rezultāti tika salīdzināti ar Dienvidigaunijas purvu pētījumu datiem: Nigulas purvu (Sarv, Ilves, 1976), Parikas purvu (Niinemets et al., 2002), Verijarva ezeru (Niinemets, Saarse 2006), kā arī Hānjas augstienē pētītajiem purviem (Saarse, Rajamae, 1997) un Latvijas centrālajā (Kangur et al., 2009; Terasmaa et al., 2013) un austrumdaļā veiktajiem pētījumiem (Heikkila, 2010).

5.1. Pētīto purvu attīstība un nogulumu uzkrāšanās apstākļu izmaiņas

Pētījumā iegūto datu analīze ļauj secināt, ka pētītie purvi ir sākuši attīstīties dažādā laikā holocēnā. Rūpīgi izanalizējot lauka un laboratorijas pētījumos iegūto informāciju par Kalna, Ķeru un Zilo purvu un veicot atkārtotas detālas nogulumu paleobotāniskās analīzes, tika secināts, ka vistīcāmāk minēto pētīto purvu ieplakas starp Baltijas ledus ezera krasta līnijām pēc Baltijas ledus ezera regresijas ir bijušas sausas un nogulumi nav uzkrājušies. Hipsometriski zemākajās purva ieplakās (Zilā purva ieplaka 34,5 m vjl., Ķeru purva ieplaka 35,4 m vjl.) ezera nogulumi ir uzkrājušies uz rupjas vai vidēji rupjas smilts, bet Kalna purva ieplakā, kas atrodas 39,5 m vjl., tie sākuši veidoties uz gaiši pelēkzilas pārskalotas mālaines karbonātiskas morēnas (Kalniņa et al., 2008a, e; Ozola et al., 2012). Visos trīs minētajos purvos virs minerālajiem nogulumiem ieplaku dziļākajās vietās ir uzkrājies apmēram 0,5 m biezs smilšainas un kūdrainas gitijas slānis. Purva ieplakas malās laikā, kad purvā jau sākusi uzkrāties augstā tipa kūdra un purvs audzis arī horizontāli, kūdrai veidojoties virs minerāliem nogulumiem, kur izveidojušies pārtmitri apstākļi, piemēram, Ķeru purvā.

Salīdzinot pētīto purvu ieplaku hipsometriskā augstumu, konstatēts, ka Zilā un Ķeru purvu ieplakas atrodas apmēram 38 m vjl., bet Kalna 44 m vjl.). Tomēr gitija Zilā un kalna purva ieplakās sākusi uzkrāties gandrīz vienlaicīgi. Visagrāk gitija sākusi veidoties Zilajā purvā (3460 kal.g.p.m.), bet Kalna purvā – pirms 3350 kal.g.p.m. Ķeru purvā gitija sākusi uzkrāties ievērojami vēlāk (2600 kal.g.p.m.), kad Zilā purva un Kalna purva ieplakās seklās ūdenstilpes jau bija aizaugušas un tur uzkrājās pārejas vai augstā tipa kūdra. Minēto purvu zem kūdras iegulošo nogulumu sastāva, sporu-putekšņu un augu makroskopisko atlieku analīzes rezultāti ļauj secināt, ka gitijas uzkrāšanās laikā seklajos baseinos ir auguši ūdensaugi, kā arī atrastas aļģes un vēžveidīgo faunas (Cladocera) atliekas, kas liecina, ka ūdens ieplakā nav bijis tikai sezonāli. Ezeru nogulumu datējumu

rezultāti un vecuma-dziļuma modeļu informācija ļauj secināt, ka sekļie baseini pētīto purvu ieplakās ir eksistējuši apmēram 500 gadus Zilajā un Kalna purvā un apmēram 1200 gadus Ķeru purva ieplakā, un, ka organogēnie nogulumu šo purvu ieplakās ir veidojušies tikai vēlajā holocēnā.

Sporu un putekšņu spektri atspoguļo veģetācijas attīstību vēlajā holocēnā Ziemeļvidzemē, kur iezīmējas vairāki siltāki un aukstāki periodi. Zilā un Kalna purva nogulumu putekšņu diagrammu apakšējā daļā ir vērojama alkšņu un platlapju, it sevišķi liepu putekšņu likņu kāpums, kas liecina par salīdzinoši siltiem un mitriem vides apstākļiem. Nogulumos, kas uzkrājušies pirms 2600–2800 kal.g.p.m., konstatēts lielāks bērzu un lakstaugu putekšņu daudzums un platlapju un citu siltummielošo augu putekšņu daudzuma samazināšanās, kas ļauj atpazīt aukstuma epizodi minētajā laika posmā. Uz līdzīgām izmaiņām veģetācijas sastāvā un vides apstākļos norāda arī paleobioloģiskie dati, kas iegūti, analizējot nogulumus, kas uzkrājušies laika posmā pirms 290–600 kal.g.p.m., kas, savukārt, ļauj secināt, ka šīs izmaiņas veģetācijas sastāvā un līdz ar to arī nogulumu uzkrāšanās apstākļos izraisīja Mazā ledus laikmeta klimats. Ķeru purva spektros šim laika posmam nodalāmas divas aukstuma epizodes, kuru vienu no otras atdala egles maksimums, ko pavada platlapju putekšņu likņu neliels kāpums. Šos notikumus var nosacīti salīdzināt ar Mazā ledus laikmeta fluktuācijām, kur iezīmējas divas aukstuma epizodes, kuru vienu no otras atdala īslaicīga siltāka epizode pirms 380–410 kal.g.p.m. (Bradley et al., 2003).

5.2. Nogulumu uzkrāšanās ātruma izmaiņas holocēnā

Līdz šim ir uzskatīts, ka visintensīvākā kūdras uzkrāšanās norisinājusies atlantiskajā laikā, tātad vissiltākajā un mitrākajā holocēna posmā (Bamberg, 1997; Segliņš, 2001a). Analizējot pētījumā iegūtos rezultātus un aprēķinot kūdras pieauguma ātrumu, izmantojot CLAM modeli, tika konstatēts, ka visintensīvākā kūdras uzkrāšanās ir notikusi pēdējo 2500 gadu laikā (5.1. tabula). Tomēr jāņem vērā, ka aprēķinātās vērtības ir aptuvenas, jo balstās uz nelielu skaitu datējumu un pārsvarā datējumi ir interpolēti, izmantojot CLAM vecuma-dziļuma modeli, kāa rī nav ņemts vērā nogulumu blīvums.

Novērtējot iegūtos rezultātus, redzams, ka Puikules purvā HTM laikā viena gada laikā kūdras slānis pieaudzis par 0,7 mm (5.1.tab.), savukārt visintensīvākā kūdras uzkrāšanās sākusies pēc HTM, kad gada laikā kūdras maksimālā uzkrāšanās intensitāte bijusi 1,4 mm/g, kas konstatēta laika posmā no 1500–2500 kal.g.p.m.

Kalna purvā maksimālais kūdras slāņa palielināšanās ātrums konstatēts pirms 1000–2500 kal.g.p.m., turklāt šajā laika posmā sācis veidoties Ķeru purvs. Ja HTM būtu silts un mitrs, tad šis laiks būtu vispiemērotākais, lai veidotos jauni purvi, tomēr pētījuma rezultāti to neapstiprina. Kalna un Zilais purvs sācis veidoties tieši HTM beigās, kas, iespējams, norāda uz to, ka HTM tomēr ir bijis sausāks klimats un purvi sākuši veidoties, palielinoties nokrišņu daudzumam,

paaugstinoties gruntsūdens līmenim un izveidojoties pārmitriem apstākļiem, kas savukārt veicināja intensīvu kūdras uzkrāšanos.

5.1. tabula. Nogulumu uzkrāšanās intensitātes salīdzinājums pētījuma vietās

	Pantenes purvs	Puikules purvs	Zilais purvs	Kalna purvs	Ķeru purvs
Kal.g.p.m.	mm/g	mm/g	mm/g	mm/g	mm/g
0–100	0,31	1,1	2	1	2
100–500	0,31	1,1	1,4–2	1	2
500–1000	0,31–0,32	1,1–1,25	1–1,4	1–1,25	1,4–2
1000–1500	0,32	1,25–1,4	0,8–1	1,25–2	1,1–1,4
1500–2000	0,32	1,4	0,6–0,8	2	1,1
2000–2500	0,32	1,4	0,6	1,1–2	
2500–3000	0,33	1,25	0,56	0,8–1,1	
3000–3500	0,30–0,33	1,1	0,56	0,8	
3500–4000	0,30	0,9–1,1	0,56	0,8	
4000–4500	0,30–0,36	0,8–0,9			
4500–5000	0,36–0,37	0,7			
5000–5500	0,37–0,38	0,7			
5500–6000	0,38–0,4	0,6			
6000–6500	0,4	0,6			
6500–7000	0,4	0,6			
7000–7500	0,4–0,5	0,6			
7500–8000	0,5	0,6			
8500–9000	0,6–0,7	0,6			
9000–9500	0,7–0,8				
9500–10000	0,8				
10000–10500	0,9				
10500–11000	0,9				
11000–11700	0,9				

Lai noskaidrotu, vai kūdras uzkrāšanās intensitāte ir bijusi lielāka vēlajā holocēnā, nekā HTML, un vai tā ir bijusi lokāla vai reģionāla rakstura, tika analizēti dati no tuvāko un datēto Igaunijas purvu pētījumiem (Sarv, Ilves, 1976; Niinemets, Saarse, 2002). Parikas purvā Igaunijas dienvidaustrumu daļā visintensīvākā kūdras uzkrāšanās 1,5–1,6 mm/gadā notikusi sākot no 1600 kal.g.p.m. līdz mūsdienām, savukārt vislētāk – 0,4 mm/gadā kūdra uzkrājusies laikā aptuveni pirms 5800–7600 kal.g.p.m. Kā iemeslu salīdzinoši nelielai kūdras intensitātei atlantiskajā laikā, kad klimats kopumā bijis silts un mitrs, E.Niinemets (Niinemets, 2002) min gruntsūdens līmeņa pazemināšanos. L.Sāse (Saarse) un S.Harrisons (Harrison) (Saarse, Harrison, 1992), rekonstruējot ezera līmeņa izmaiņas Austrumbaltijas reģionā, konstatējuši, ka pirms 6500–7500 kal.g.p.m. ievērojami

pazeminājiem ūdens līmenis Igaunijas ezeros. Savukārt lielais kūdras pieaugums virsējos slāņos daļēji tiek skaidrots ar nelielu kūdras sablīvēšanos un to, ka klimats vismaz pēdējos 150 gados kļuvis mitrāks (Niinemets, Saarse, 2002). Puikules purvā kūdras uzkrāšanās dinamika ir bijusi līdzīga. Vislēnāk kūdra uzkrājusies no 4500–8000 kal.g.p.m. – 0,6 mm/gadā, bet labvēlīgāki apstākļi, lai straujāk uzkrātos kūdra, iestājušies nedaudz ātrāk kā Parikas purvā – pirms 2500 kal.g.p.m – 1,4 mm/gadā. Tomēr šie aprēķini ir aptuveni, jo nav ņemta vērā nogulumu sablīvēšanās, kas ietekmē dziļākos kūdras slāņus (von Posts, 1924; Nomals, 1930b; Markots et al., 1993).

Pantenes purvs ir zema purvs, un kūdra tajā ir uzkrājusies lēnāk kā augstajos purvos, tomēr arī šajā purvā novērojamas pieauguma ātruma izmaiņas. Atšķirībā no autores pētītajiem augstajiem purviem, Pantenes purvā nedaudz intensīvāka kūdras uzkrāšanās notikusi tieši HTM: 0,3–0,5 mm. Līdzīga kūdras uzkrāšanās intensitāte konstatēta arī dažos citos zemajos purvos, kas veidojušies starppauguru ieplakās, piemēram, Taurenes purvā (Silamiķele, 2010).

Augsto purvu nogulumu pētījumos iegūtie rezultāti un to analīze ļauj secināt, ka HTM laikā kūdras sadalīšanās un aprēķinātā uzkrāšanās intensitāte ir bijusi mazāka nekā vēlajā holocēnā, kas norāda, ka klimats ir bijis sauss un silts.

5.3. Holocēna nogulumu stratifikācija

Latvijā holocēna nogulumu stratifikācija 20. gadsimtā galvenokārt bija pamatota putekšņu analīžu datiem. Kopš M.Galenieces 1935. gadā publicētā darba par Latvijas purvu un mežu attīstību pēcdeduslaikmetā (Galenieks, 1935) tika pieņemts L. von Posta unificēto reģionālo shēmu, kuru viņš bija izstrādājis pamatojoties uz Gotlandes purvu pētījumiem, izmantot arī Latvijā (Segliņš, 2000). Šī shēma balstās uz putekšņu spektru izmaiņu likumsakarībām, kā arī kūdras sastāva un sadalīšanās pakāpes izmaiņām.

20. gadsimta pēdējās desmitgadēs daudz plašāk izmantoja Blitta-Sernandera shēmu, jo tā ļāva pēcdeduslaikmetu iedalīt īsākos hronostratigrāfiskos periodos, tādējādi kalpojot arī kā netiešā vai nosacītā datēšanas metode (Birks, Seppā, 2010). Attīstoties holocēna nogulumu pētījumu metodikai, palielinās iespēja iegūt precīzākus datus, iezīmējas nesakritības starp Blitta-Sernandera shēmu un pēdējās desmitgadēs pieņemtajiem uzskatiem par holocēna klimata izmaiņām un ietekmi uz ģeoloģiskajiem procesiem. Birks un Seppā (Birks, Seppā, 2010) uzsver, ka Blitta-Sernandera shēma vairs neatbilst mūsdienu uzskatiem un tās galvenajiem elementiem – ar siltu un sausu subboreālu, siltu un mitru atlantisko laiku. Šobrīd pētījumos ļoti plaši tiek pielietotas radioaktīvā oglekļa datēšanas metodes, kas kopā ar dažādu analīžu datiem (putekšņi, augu makroskopiskās atliekas, diatomejas, u.c.) dod iespēju precīzi noteikt holocēna vides izmaiņu laiku.

5.3.1. Agrais holocēns

Lai salīdzinātu putekšņu procentuālās vērtības ar blakus teritorijām, tika izmantoti jaunākie pētījumu dati no Igaunijas (Niinemets, Saarse, 2006, 2009) un Latvijas dienvidaustrumos veiktajiem pētījumiem (Heikkilä, 2010, Heikkilä, Seppä, 2010).

Holocēna sākuma organogēnie nogulumu konstatēti tikai Pantenes purvā, un tos pārstāv gitija. Šajā laikā Burtnieka ezera senajā līcī uzkrājās kaļķaina gitija. Burtnieka ezera apkārtnes nogulumu griezumā putekšņu diagrammās agro holocēnu raksturojošie putekšņu spektri, norāda uz plašu priedes, bērza un zālaugu izplatību (Ozola et al., 2010 a, b). Līdzīga rakstura veģetācijas sastāvu atspoguļo arī Kurjanovas ezera nogulumu putekšņu pētījumi (Heikkilä, Seppä, 2010). Nelielas vērtības sasniedz alkšņu (1,7%), kārķļu (2%) un egles (1%) putekšņu skaits. Egles putekšņi un atvārsnītes liecina par to, ka egle Austrumbaltijas reģionā augusi jau kopš augšējā driasa (Heikkilä et al., 2009), tomēr agrajā holocēnā tās putekšņu daudzums ir mazs vai arī to nav vispār. Kurjanovas ezera (Heikkilä et al., 2009), Verijarves ezera (Niinemets, Saarse, 2007) nogulumos, kā arī autores pētītajā Pantenes purva nogulumu griezumā atrasti arī gobas un lazdas, oša putekšņi.

Putekšņu sastāvs nogulumos, kuri Ziemeļvidzemē uzkrājušies laika posmā no 8200–9200 kal.g.p.m., liecina, ka veģetācijā joprojām dominē priede (40–50%) un subdominante ir bērzs (34%), pakāpeniski palielinās arī platlapju daudzums. Kurjanovas ezera nogulumu putekšņu spektru sastāvā bērza putekšņu daudzumam ir lielākas vērtības (45–55%) nekā Ziemeļvidzemē.

5.3.2. Liecības par aukstuma periodu pirms 8200 kal.g.p.m.

8200 notikums (Alley et al. 1997; Overpeck, Cole 2006) ir aukstuma periods pirms 8200 kalendārajiem gadiem (von Grafenstein et al., 1998; Yeloff et al., 2007), kurā strauji pazeminājušās temperatūras īsi pirms klimatiskā optimuma sākuma. Baltijas reģionā pirms 8200 gadiem bija izplatīti alkšņi, lazdas un gobas, priedes, bērzi un egles – šāda veģetācija, kas jūtīgi reaģē uz aukstākām ziemām un vēlākiem pavasariem, iezīmējas arī Baltijas reģiona putekšņu diagrammās (Heikkilä, Seppä, 2010). Arī Ziemeļvidzemes putekšņu diagrammās šis aukstuma periods ir skaidri izteikts ar bērzu procentuālā daudzuma palielināšanos un mēreno koku sugu putekšņu (alkšņu un lazdu) (Veski et al. 2004; Niinemets, Saarse 2007; Seppä et al. 2007) un platlapju (gobu un liepu) putekšņu skaita samazināšanos. Promocijas darbā pētītajos griezumos 8200 notikums konstatēts 3 dziļākajos urbumos.

Lielā daļā V. Segliņa izstrādātajās Latvijas dabas apvidu holocēna vidējo putekšņu diagrammās (Segliņš, 2002) 8200 notikuma pazīmes ir konstatētas preboreālā vai boreālā. Preboreālā bērzu putekšņu līknes pieaugums konstatēts Vidzemes piekrastes, Zemgales līdzenuma, Ziemeļkursas un Austrumkursas augstienē, Piejūras zemienes, Taurkalnes līdzenuma, Latgales augstienes, Alūksnes augstienes un Andzeles pacēluma holocēna vidējās putekšņu diagrammās.

Savukārt boreālā bērzu putekšņu liknes straujš pieaugums konstatēts Metsepoles lidzenuma, Rīgas lidzenuma, Vadakstes lidzenuma, Pieventas lidzenuma, Limbažu viļņotā lidzenuma, Burtnieka lidzenuma, Viduslatvijas nolaidenuma, Vidzemes augstienes, Trapeses lidzenuma, Sēlijas paugurvaļņa, Aknīstes nolaidenuma, Lubāna lidzenuma un Abrenes nolaidenuma holocēna nogulumu vidējā putekšņu diagrammās. Gan vienā, gan otrā gadījumā bērzu putekšņu liknes kāpumam seko straujš platlapju putekšņu likņu kāpums.

Puikules purvā 8200 notikums gitijas nogulumos iezīmējas ar bērza putekšņu daudzuma strauju pieaugumu līdz 60% un nelielu egles putekšņu daudzuma palielināšanos, zālaugu putekšņu daudzums sasniedz 10%. Pēc 8200 notikuma sāk uzkrāties zāļu-sfagnu kūdra un strauji pieaug lazdas putekšņu daudzums, un sāk pieaugt platlapju daudzums. Šis notikums ļauj arī pārbaudīt ¹⁴C datējumu precizitāti: 8,00–7,75 m dziļumā, kur atrodami bērza putekšņi, nogulumi ir datēti 8300–8200 kal.g.p.m, ļaujot secināt, ka šī intervāla nogulumu datējumi ir precīzi. Pretēja situācija ir novērojama Pantenes purva nogulumos, kur 8200 notikuma pazīmes novērojamas 3,70 m dziļumā kā strauja bērza putekšņu daudzuma palielināšanās (no 20% zemāk esošajā intervālā līdz 50%), lazdas liknes pārtraukums, ūdensaugu daudzuma samazināšanās un aļģu daudzuma palielināšanās. Tomēr datējumu rezultāti liecina, ka šis dziļuma intervāls atbilst aptuveni 8900 kal.g.p.m. Ņemot vērā to, ka rezervuāra efekts Burtnieka ezera nogulumiem noteikts kā 500–1000 gadi, tad domājams, šis pazīmes tomēr varētu norādīt uz 8200 notikumu.

Pantenes purvā iegūtajā urbuma Pantene/Braukšas I-2007 nogulumu griezumā arī ir novērojamas 8200 notikuma pazīmes. 3,25 m dziļumā strauji pieaug bērzu putekšņu daudzums (līdz 40%). Šim bērzu maksimumam seko platlapju putekšņu likņu kāpumi. Šī notikuma konstatēšana nogulumos maina iepriekš veikto pētījumu rezultātu interpretāciju (Ozola et al., 2010a, b), kad šim laikam atbilstošais dziļums tika noteikts kā atbilstošs atlantiskā laika vidusdaļai. Savukārt purva rietumu daļā urbumā Ceriņi-2011 4,00 m dziļumā pirms 9200 kal.g.p.m minerālo daļiņu daudzums palielinās (līdz 45%), kas, iespējams, norāda uz augāja samazināšanos un augsnes erozijas intensificēšanos, kas arī veicināja minerālielu ieplūdi baseinā no ezera piekrastes. Tāpat palielinās arī karbonātisko vielu daudzums nogulumos, kas ar gruntsūdeņiem vai upju ūdeņiem ieskalots ezera nogulumos un, mainoties temperatūrai un spiedienam, vēlāk arī ir izgulsnētas. Šim laikam atbilstošajos nogulumos izzūd aļģu izplatība un, līdz ar minerālielu pieplūdi, palielinās sfērisko daļiņu daudzums (4.1. att.). Šis pazīmes varētu liecināt par 8200 notikumu, tomēr tās konstatētas ievērojami agrāk (1000 gadus) par 8200 notikumu. To varētu skaidrot ar rezervuāra efekta radīto novirzi radioaktīvā oglekļa datējumos, jo nogulumi datēšanai tika ņemti no karbonātiskas gitijas slāņa. Rezervuāra efekts Burtnieka ezeram noteikts kā 500–1000 gadi. Iespējams, līdzīgas pazīmes konstatētas arī citos griezumos, piemēram, Parikas un Nigulas purvos. Parikas purva (Igaunijas centrālajā daļā Vortsjarva ezera ziemeļrietumu daļā) nogulumu putekšņu procentuālajā diagrammā (Niinemets et al., 2002) arī

atrodamas 8200 notikuma pazīmes. Līdzīgi kā Ziemeļvidzemes purvos, arī Parikas purvā šīs pazīmes konstatētas daudz vecākos nogulumos – aptuveni pirms 10 200 kal.g.p.m.

Nigulas purva nogulumu putekšņu procentuālajās diagrammās Nigula I un Nigula II 8200 notikuma pazīmes konstatētas pirms aptuveni 9000 kal.g.p.m., kad bērza putekšņu daudzums (no kopējā koku putekšņu daudzuma) sasniedz gandrīz 90%. Aptuveni pirms 8400 kal.g.p.m. strauji pieaug gobas (10%), alkšņa (50%) un lazdas (25%) putekšņu likne, pēc tam kāpj arī pārējo platlapju putekšņu liknes. Vidzemes augstienē Kūžu ezera (Kangur et al., 2009) nogulumos bērza putekšņu straujam kāpumam seko visu platlapju putekšņu daudzuma palielināšanās, tomēr arī šīs iezīmes konstatētas pirms 9500 ¹⁴C gadiem.

Puikules purva nogulumu bērza putekšņu liknes apakšējais maksimums konstatēts aptuveni pirms 8200 kal.g.p.m., kas ļauj domāt, ka arī citur Ziemeļvidzemē šī klimata pasliktināšanās ir notikusi un novirze laikā, kad šis notikums ir konstatēts, varētu būt skaidrojama ar rezervuāra efektu, kas ietekmē datējumu rezultātus.

Lai noskaidrotu, vai 8200 notikums ir novērojams ne tikai autores pētīto nogulumu griezumā diagrammās, bet arī pārējās Ziemeļvidzemes diagrammās, tika apzinātas 32 Ziemeļvidzemes putekšņu diagrammas Latvijas putekšņu diagrammu katalogā (Segliņš, 2001b). Gan autores, gan iepriekš veikto pētījumu vietas, kurās konstatēts 8200 notikums, parādītas kartē.

Tika secināts, ka 19 no 32 agrāk sastādītajām Ziemeļvidzemes diagrammām un 2 autores putekšņu procentuālajās diagrammās, kurās putekšņu spektri raksturo apstākļus kopš holocēna sākuma, ir novērojams holocēna pirmais aukstuma periods jeb 8200 notikums. Taču daļa diagrammu sākās ar platlapju maksimumu, kas nozīmē, ka tās neietver nogulumu uzkrāšanos 8200 notikuma laikā vai arī ietver tikai pašu holocēna sākumu. Diagrammās tika meklēts bērzu liknes maksimums tieši pirms platlapju putekšņu likņu pieauguma (kāpuma).

5.3.3. Vidējais holocēns

Agrā-vidējā holocēna robežu iezīmē 8200 notikums, pēc kura strauji pieaug platlapju putekšņu daudzums, savukārt priežu daudzums samazinās un vidēji ir 20%, kas ir vairāk nekā konstatēts Kurjanovas ezera apkārtnē un ir vairāk līdzīgs situācijai Verijarves ezera apkārtnē, Igaunijas dienvidu daļā (Niinemets, Saarse, 2009).

Savukārt egļu daudzums ir līdzīgs tam, kāds tas bijis Kurjanovas ezera apkārtnē (10–15%) (Heikkilä, Seppä, 2010). Egle bijusi izplatīta visā holocēnā, Ziemeļvidzemē tās daudzums sācis palielināties pirms aptuveni pirms 7700 kal.g.p.m. un vienu no saviem maksimumiem sasniedz pirms 3700–4200 kal.g.p.m., kad teritorijā samazinās platlapju daudzums.

Kurjanovas ezera apkārtnē holocēna vidū bērza un priedes putekšņu vērtības ir ļoti zemas (~10–15%). Līdzīga situācija novērojama Pantenes purvā, kad bērzu likne nepārsniedz 10% atzīmi, tomēr priedes vērtības svārstās 20–30% robežās. Citās Ziemeļvidzemes putekšņu diagrammās, piemēram, no Taures purva

(Segliņš, 2001), Rūjas purva, Pantenes purva bērzu liknes svārstās 20–30% robežās, bet priede 20–25% robežās. Arī Igaunijas (Niinemets, Saarse 2007, 2009) un Lietuvas (Kabailiene, 1998) diagrammās tik zemas vērtības nav novērojamas. Segliņš (2002) norāda, ka kopējā putekšņu spektrā visbiežāk dominē priede, kuras daudzums tikai retos gadījumos samazinās vairāk par 40%, bet bērzu putekšņu daudzums parasti mainās 10–20% robežās. Tomēr ir jāņem vērā atšķirīgā pieeja putekšņu analīzes veikšanā, jo līdz 1980tajiem gadiem bija pieņemts, ka jāskaita tikai 200 koku putekšņu. Kopš tā laika stratigrāfiskajos pētījumos tiek skaitīti vismaz 400 putekšņu. Atšķirīga ir arī procentuālo attiecību aprēķināšana. Ja agrāk 100% sastādīja gan koku, gan lakstaugu, gan arī sporu grupas, tad kopš 1980tajiem gadiem par 100% jeb pamatsummu tiek pieņemta visu putekšņu summa, izņemot ūdensaugu putekšņus, kam ir lokāla nozīme.

Autores pētīto nogulumu griezumū putekšņu diagrammās vidējo holocēnu jeb HTM raksturo šādas pazīmes:

- 1) HTM apakšējo daļu gan Puikules purva, gan arī Pantenes purva nogulumū putekšņu diagrammā pirms aptuveni 6700–7000 kal.g.p.m. raksturo izteikts lazdas putekšņu liknes kāpums un maksimums (20–30%), kas strauji palielinās pēc 8200 notikuma.
- 2) Puikules purva nogulumū putekšņu diagrammā šo maksimumu pārtrauc straujš īslaicīgs bērza putekšņu liknes kāpums (45%) pirms 6200 kal.g.p.m. Līdzīgas izmaiņas putekšņu spektros konstatētas arī Malmutas griezumā Lubāna ezera apkārtnē (Segliņš et al., 1999).
- 3) Autores pētīto nogulumū griezumū diagrammās platlapju liknes sasniedz savus maksimumus HTM beigu daļā. Liepa pētīto griezumū diagrammās kulminē apmēram pirms 5500 kal.g.p.m., bet Verijarves un Kurjanovas ezeru putekšņu diagrammās liepas putekšņu likne ir augsta visu HTM laiku un kulminācija nav izteikta, tomēr viens no maksimumiem arī iezīmējas šajā laikā.

Lai gan Toļļu purva nogulumiem nav noteikts absolūtais vecums, izmantojot putekšņu datus, var tos nosacīti datēt. Putekšņu spektrs, kas atbilst atlantiskajam laikam, ļauj secināt, ka laikā, kad platlapji sasniedza savu maksimālo izplatību (līdz 10%), alkšņu izplatība sasniedza 20%, bērza vidēji 30%, bet egles putekšņu likne sasniedz savu otro maksimumu (48%). Raksturīgi, ka egles vērtības ir neparasti augstas visā griezumā – vidēji 20–50%. Kūdras slāņa biezums atlantiskajā laikā sasniedz tikai 1,3 m, salīdzinājumam – pēc platlapju maksimuma līdz mūsdienām 3,70 m. Nelielā nogulumū uzkrāšanās intensitātē varētu norādīt uz sausu klimatu.

5.3.4. Vēlais holocēns

Vēlā holocēna laikā klimata pārmaiņu rezultātā pētītajos purvos uzkrājusies dažāda tipa kūdra ar mainīgu botānisko sastāvu un kūdras sadalīšanās pakāpi. Purvos, kas veidojušies vēlajā holocēnā, virs gitijas slāņa ir uzkrājušās labi sadalījušās (35–45%) dažādas zemā tipa kūdras. Kalna purvā vēlā holocēna sākuma posmā uzkrājusies zemā tipa niedru-grīšļu, Ķeru purvā grīšļu-zaļu,

Zilajā purvā koku-zāļu un koku-grīšļu kūdra. Kaut arī šie purvi atrodas salīdzinoši tuvu viens otram, tomēr to pāreja no zemā tipa uz augsto ir notikusi atšķirīgos laika intervālos. Visagrāk vāji sadalījusies augstā tipa fuskuma-sfagnu kūdra sākusī uzkrāties Kalna purvā pirms 2100 gadiem, bet Zilajā purvā pirms 1400 kal.g.p.m.. Visvēlāk no apskatītajiem purviem augsta tipa purvs ir izveidojies Ķeru purvā, kur vāji sadalījusies augstā tipa spilvju-sfagnu kūdra pirms 1000 gadiem uzkrājusies uz pārejas tipa sfagnu-koku kūdras.

Vēlā holocēna apakšējā robeža Puikules un Pantenes purva, kā arī Kurjanovas ezera (Heikkilä, Seppä, 2010) un vairākās putekšņu diagrammās Lietuvā (Gaidamavicius, et al., 2011) iezīmējas ar egles putekšņu liknes kāpumu pirms apmēram 4700–4200 kal.g.p.m. un platlapju likņu kritumu, kas atbilst arī Valķera grupas (Walker et al., 2012) piedāvātajai vidējā – vēlā holocēna robežai. Šāds egles putekšņu liknes kāpums (līdz 30%) novērojams arī Parikas purva nogulumu putekšņu procentuālajā diagrammā (Niinemets et al., 2002) pirms aptuveni 4800 kal.g.p.m. Šāda īpatnība novērojama arī Puikules purva putekšņu procentuālajā diagrammā (Ozola, Ratniece, 2013), kad pirms 4500 kal.g.p.m. egles putekšņu daudzums sasniedz 40%. Arī Nigulas purva putekšņu procentuālajā diagrammā (Sarv, Ilves, 1976) egles likne strauji kāpj pirms aptuveni 4800 kal.g.p.m. Egles ievērojamais putekšņu īpatsvars un platlapju putekšņu liknes pakāpeniska samazināšanās, iespējams, liecina par klimatisko apstākļu pasliktināšanos aptuveni pirms 4600 kal.g.p.m., kas iezīmē robežu starp HTM un vēlo holocēnu.

Diagrammās vēlā holocēna laikam atbilstošajā intervālā nodalāmi divi egles putekšņu maksimumi. Izteikts apakšējais egles maksimums ir konstatēts pirms 900–1100 kal. Puikules un Ķeru purva diagrammās, bet augšējais egles maksimums atpazīstams diagrammās intervālā, kas attiecināms uz laiku apmēram pirms 350–400 kal.g.p.m. Gan promocijas darbā pētītajos griezumos, gan arī Verijarves un Kurjanovas ezeru nogulumu putekšņu diagrammās vēlā holocēna laikam atbilstošajā intervālā joprojām, kaut arī nelielā skaitā, ir sastopami platlapju putekšņi, kas veido gandrīz nepārtrauktas liknes, kas liecina par šo koku klātbūtni.

Aptuveni pirms 2700 gadiem palielinās bērzu un egļu putekšņu īpatsvars, kā arī parādās labības putekšņi un pieaug graudzāļu procentuālais daudzums, kas kopumā norāda uz antropogēno ietekmi. Kurjanovas ezera apkārtnē šī ietekme konstatēta pirms 2500 kal.g.p.m. Ķeru purva nogulumos kultivēto zemju augu putekšņu ir maz. Atsevišķi labības un kaņepju putekšņi atrasti Ķeru purva nogulumos, kas veidojušies pirms 500–400 kal.g.p.m., bet Kalna purvā miežu, kviešu un kaņepju putekšņi atrasti nogulumos, kuru veidošanās laiks noteikts pirms 600–400 kal.g.p.m.

Nogulumos, kas uzkrājušies pirms aptuveni 2600–2800 kal.g.p.m., konstatēts lielāks bērzu un lakstaugu putekšņu daudzums un platlapju un citu siltummīlošo augu putekšņu daudzuma samazināšanās, kas ļauj atpazīt klimatisko apstākļu pasliktināšanos minētajā laika posmā. Uz līdzīgām vides apstākļu

izmaiņām norāda arī paleobioloģiskie dati no nogulumiem, kas uzkrājušies laika posmā pirms aptuveni 290–600 kal.g.p.m. Ķeru purva putekšņu spektros šim laika posmam nodalāmas divas aukstuma epizodes, kuru vienu no otras atdala egles putekšņu liknes maksimums, ko pavada priedes un platlapju putekšņu daudzuma palielināšanās. Arī Kalna purva augšējo bērza maksimumu tā vidusdaļā pārtrauc priedes liknes kāpums. Šādas putekšņu sastāva izmaiņas, domājams, ir ietekmējušas Mazā ledus laikmeta klimata fluktuācijas, kur iezīmējas divas aukstuma epizodes, kuru vienu otras atdala īslaicīga siltāka epizode pirms 380–410 kal.g.p.m. (Bradley et al., 2003).

Koku putekšņu summas samazināšanās, sīkrūmu un lakstaugu līkņu kāpumi un oglišu putekļu daudzuma palielināšanās skaidrojama ar klimatisko apstākļu pasliktināšanos, kas, iespējams, norāda uz mazo leduslaikmetu. Šīs pazīmes ir labāk izteiktas augsto nekā zemo purvu nogulumu putekšņu diagrammās, kas ļauj secināt, ka, iespējams, kūdra, strauji uzkrājoties un maz sadaloties, labāk saglabā liecības par veģetāciju un vides apstākļiem.

5.4. REVEALS modeļa izmantošana paleoveģetācijas rekonstrukcijās

Apkopojot un interpretējot piecu purvu nogulumu sporu-putekšņu analīžu datus, tika rekonstruēta Ziemeļvidzemes veģetācijas attīstība holocēnā (Ozola, Ratniece, 2012). Ziemeļvidzemē, tāpat kā visā Baltijas austrumu reģionā, holocēna sākumā bija izplatīti priežu un bērzu meži un pļavas. Putekšņu proporciju rekonstrukcija parāda meža un pļavu izplatību attiecīgi kā 72% un 28%. Meži savu maksimālo izplatību 96% sasniedza pirms 5200–5700 kal.g.p.m., kad dominēja platlapji un pret ēnu izturīgi koki – liepa (*Tilia*) un goba (*Ulmus*), kas šajā laikā sasniedza savu maksimumu. Pēc tam (700–5200 kal.g.p.m.), meži kļuva 85–90% no teritorijas. Putekšņu procentuālās attiecības norāda, ka pēdējos 100 gados meži kļuva 72%, bet pļavas, ganības, aramzemes un purvi tikai 28% no Ziemeļvidzemes (Ozola et al., 2012).

Mūsdienās Puikules purva veģetācijā nozīmīgu daļu aizņem sūnas, virši un purva priedītes. Savukārt tālākās teritorijas aizņem jauktu koku meži un ganības. Putekšņu spektri diagrammā liecina, ka apkārtņē vajadzētu dominēt priedēm (46%), bērziem (23%), viršiem (13%) un alkšņiem (12%), bet graudzālēm būtu jāaizņem tikai 2% no apkārtējās teritorijas. Salīdzinot putekšņu diagrammas datus ar REVEALS modeļa aprēķiniem un mūsdienu veģetācijas segu, jāsecina, ka REVEALS dati tomēr vairāk atbilst reālajai situācijai. Pretēja situācija mūsdienu veģetācijai ir novērojama holocēna sākumā (10 200–9200 kal.g.p.m.). Modelēšanas rezultāti liek secināt, ka 72% teritorijas kļuva pļavas, bet mežos dominēja bērzi un priedes.

Kā liecina putekšņu spektru sastāvs 8700–9200 kal.g.p.m. pļavu augu proporcija samazinās, un sāk izplatīties pret ēnu izturīgie vasarzaļie koki, kā arī skujkoki. Šo procesu var izskaidrot ar klimata pasiltināšanos. Laika posms pirms 8200–8700 kal.g.p.m. iezīmējas ar strauju bērzu pieaugumu, kas kļuva 30% no

teritorijas. Tajā pašā laikā skujkoki sedza 22%, un pļavu izplatība samazinājās līdz 39%. Šajā laikā veģetācijas sastāvā ieviešas arī virši (2%). Šī straujā veģetācijas maiņa ir skaidrojama ar 8200 notikumu, kad visā ziemeļu puslodē notika klimata pasliktināšanās (Alley et al., 1997).

Pirms 7700–8200 kal.g.p.m. bērza izplatība samazinājās līdz 17%, dodot vietu lazdai, kas šajā laikā sasniedza savu maksimālo izplatību un pret ēnu izturīgo koku izplatība turpināja pieaugt. Laikā no 7200–7700 kal.g.p.m. ēnmiņu platlapju koku (liepa, goba, osis) daudzums samazinās, jo pieaug skujkoku un pļavu izplatība. Vēlāk 7200–5700 kal.g.p.m. ēnmiņu koku daudzums palielinājās, un tie sasniedza savu maksimālo izplatību (gandrīz 25%). Pļavas attiecīgi teritorijā aizņēma ļoti mazu daļu (8%), norādot uz slēgtu ainavu. Šīs izmaiņas var skaidrot ar holocēna termālo maksimumu, kad klimats bija silts un sauss (Hammarlund et al., 2002). Latvijas dienvidu daļā šajā laikā temperatūra bija par ~2,5–3,5 °C augstāka kā mūsdienās (Heikkilä, Seppä, 2010). Platlapju izplatības maksimumam sekoja strauja pļavu izplatība.

Pirms 4700 kal.g.p.m. mežu struktūra strauji mainījās, jo pieauga egļu daudzums un samazinājās platlapju daudzums, kuru vērtības tomēr saglabājās pietiekoši augstas (20%). Egles pieaugums atbilst HTM beigu posmam. Egle savu maksimumu sasniedza pirms 3700–4200 kal.g.p.m., kad mežu sastāvā tā aizņēma 85%. Vēlāk mežu izplatība pakāpeniski samazinājās līdz 65–75%. Kad temperatūras kļuva tādas, kā tās ir mūsdienās, mainījās arī mežu sastāvs. Sākot no 700 kal.g.p.m. sāka izplatīties pļavas, kļājot 50% no Ziemeļvidzemes teritorijas.

REVEALS modeļa aprēķini par Ziemeļvidzemi tika salīdzināti ar REVEALS modeļa rezultātiem par Dienvidigauniju (Sugita et al., 2008). REVEALS modelēšanas rezultāti ļauj secināt, ka Ziemeļvidzemē priede putekšņu diagrammās sasniedz krietni lielākas vērtības, piemēram, Ziemeļvidzemes veģetācijas rekonstrukcijā pirms 9200–9700 kal.g.p.m. REVEALS aprēķini norāda, ka priedes daudzums sasniedz 15%, savukārt putekšņu procentuālās vērtības 46%. Arī citās pētījumu vietās Ziemeļu- un Centrāleiropā priedes izplatība ir pārāk augstu novērtēta (Marqer et al., 2011). Ziemeļvidzemē priede savu maksimumu sasniedz 9200–9700 kal.g.p.m. Dienvidigaunijā priedes maksimālās vērtības parādās jau daudz agrāk – pirms 10 500 kal.g.p.m. Minimālās vērtības priedei novērojamas no 7700–2200 kal.g.p.m, kas daļēji sakrīt ar HTM. Gan Igaunijas dienvidu daļā, gan Ziemeļvidzemē priede pašas zemākās vērtības sasniedz HTM maksimuma laikā no 6000–7000 kal.g.p.m.

Autores veiktie detaļie putekšņu dati kopā ar ¹⁴C oglekļa datējumiem un REVEALS modelēšanu sniedz vēl vienu veģetācijas rekonstrukciju, kurā augu savstarpējās procentuālās attiecības ir precīzāk noteiktas. Tomēr jāņem vērā, ka joprojām pētījumos pārsvarā tiek izmantotas procentuālās putekšņu diagrammas, tādēļ turpmāk pētījumos vajadzētu izmantot abus veģetācijas attīstības rekonstrukcijas veidus.

SECINĀJUMI

Promocijas darba ietvaros veikto pētījumu rezultāti ļauj izdarīt vairākus nozīmīgus secinājumus un iegūt padziļinātu priekšstatu par holocēna organogēnajiem nogulumiem, to uzkrāšanās apstākļu izmaiņām purvos un nogulumu stratificēšanu piecos purvos Ziemeļvidzemē.

Agrajā holocēnā Puikules un Pantenes purvu ieplakās, eitroficējoties seklām ūdenstilpēm, veidojās gitija, kuras sastāvā konstatēta liela aļģu dažādība: zaļāļģes *Pediastrum duplex*, *Pediastrum integrum*, *Pediastrum boryanum*, *Pediastrum angulosum*, kā arī brūnāļģes – *Botryococcus* un zilaļģes – *Gloeoetrichia*. To sastāvs un organisko vielu daudzuma palielināšanās nogulumos liecina par klimata uzlabošanos.

Agrā holocēna beigās nogulumos vērojama strauja minerālo daļiņu un karbonātu daudzuma palielināšanās, kas, iespējams, norāda uz augāja samazināšanos, augsnes eroziju, veicinot minerālvielu iepļūdi baseinā no ezera piekrastes. Vienlaicīgi ar minerālo daļiņu daudzuma palielināšanos pieaug arī karbonātisko vielu daudzums nogulumos, kas ar gruntsūdeņiem vai virszemes ūdeņiem ieskalots ezerā un, mainoties temperatūrai un spiedienam, vēlāk arī ir izgulsnēts un uzkrājies nogulumos.

Robežu starp agro un vidējo holocēnu jeb holocēna termālo maksimumu iezīmē 8200 notikums ar izteiktu un īslaicīgu bērza putekšņu daudzuma ievērojamu palielināšanos un bērzu putekšņu liknes kāpumu procentuālajās putekšņu diagrammās, organisko vielu samazināšanos nogulumos un makroskopisko atlieku izžušanu un aukstumu mīlošu aļģu sugu (piemēram, *Pediastrum kawraisky*) ieviešanos.

Pēc 8200 notikuma pētītajās vietās novērojama ūdenstilpju intensīva aizaugšana un zemā tipa kūdras veidošanās, kuras botāniskais sastāvs, augu makroskopisko atlieku un putekšņu analīzes dati norāda uz klimata apstākļu uzlabošanos, kas ļauj novilkt robežu starp agro un vidējo holocēnu.

Aukstais 8200 notikums ir labi atpazīstams Ziemeļvidzemes un Igaunijas purvu nogulumos un putekšņu spektros, tai skaitā arī agrāk pētītajos griezumos, kuru nogulumiem nav absolūto datējumu.

Holocēna termālā maksimuma sākumam atbilstošā intervālā pirms platlapju likņu kāpuma vairākās putekšņu diagrammās iezīmējas straujš īslaicīgs priežu putekšņu un papardes (*Polypodiaceae*) sporu daudzuma pieaugums. Lielākā daļa šo putekšņu un sporu ir saplēstas un erodētas, kas vienlaicīgi ar pārējo putekšņu skaita strauju samazināšanos vai pat izžušanu, iespējams, norāda uz ļoti sausiem apstākļiem, kuru rezultātā putekšņi un sporas ir nokļuvušas tiešā saules ietekmē un pakļautas erozijai.

Holocēna termālā maksimuma laikā Puikules purvā ir uzkrājušies labi sadalījušies augstā tipa, bet Pantenes purvā zemā tipa kūdra, liecinot par sausiem un siltiem apstākļiem, kas veicinājuši intensīvu kūdras veidojošo augu sadalīšanos.

Nogulumos atrasti siltummilošu augu putekšņi un augu makroskopiskās atliekas, kā arī nav konstatētas par vēsiem un mitriem apstākļiem liecinošas citu mikroskopisko fosiliju atliekas.

Neskatoties uz to, ka nogulumu uzkrāšanās apstākļi holocēna termālā maksimuma laikā kopumā ir stabili, tomēr Puikules griezuma putekšņu diagrammā holocēna termālajam maksimumam raksturīgo platlapju un lazdas putekšņu sastāvu pirms 6200–6400 kal.g.p.m. nomaina strauja un īslaicīga bērza un lakstaugu putekšņu daudzuma palielināšanās un to likņu kāpumi, kas norāda uz īslaicīgu klimata pasliktināšanos.

Robeža starp holocēna termālo maksimumu un vēlo holocēnu ir vājāk izteikta nekā starp holocēna termālo maksimumu un agro holocēnu. Tā pētīto griezumu diagrammās noteikta līmenī atbilstoši 4800 kal.g.p.m., kur krit platlapju un kāpj egles putekšņu liknes, parādās uz mitriem apstākļiem norādošas amēbas (*Amphitrema flavum*, *Assulina muscorum* u.c.). Nogulumos tā iezīmējas ar straujāku kūdras uzkrāšanos jau esošajos purvos (Puikules un Pantenes purvi) un jaunu purvu (Kalna, Ķeru, Zilais purvs) veidošanos.

Analizējot pētījumā iegūtos rezultātus un aprēķinot kūdras pieauguma ātrumu, konstatēts, ka dažāda tipa purvos nogulumu uzkrāšanās holocēnā ir dažāda. Augstā tipa purvos visintensīvākā kūdras uzkrāšanās (2 mm gadā) ir notikusi vēlajā holocēnā pēdējo 2500 gadu laikā, bet zemā tipa purvos holocēna termāla maksimuma laikā, uzkrājoties līdz 0,8 mm biežam kūdras slānim.

Izvērtējot noguluma sastāva un paleobotānisko pētījumu rezultātus un tos interpretējot, kā arī ņemot vērā, ka Blitta-Sernandera shēma vairs neatbilst mūsdienu uzskatiem, var secināt, ka holocēnu var iedalīt agrajā, vidējā un vēlajā holocēnā, kā to piedāvā INTIMATE grupa (Walker et al., 2012), tomēr labi atpazīstama un korelējama reģionā ir tikai agrā un vidējā holocēna robeža, kamēr vidējā un vēlā holocēna robeža ir neizteikta.

Izvērtējot agrākos pētījumos sastādītās sporu-putekšņu diagrammas un salīdzinot tās ar promocijas darba pētījumā iegūtajiem rezultātiem, secināts, ka neskatoties uz to, ka lielākajai daļai no tām nav absolūto datējumu, ir atšķirīga datu apstrāde un diagrammu sastādīšanas metodika, tomēr koku putekšņu sastāva izmaiņas, likņu kāpumi un kritumi ir salīdzināmi ar jaunāko diagrammu putekšņu spektriem, piemēram, daudzās diagrammās bērza liknes kulminācija pirms platlapju likņu kāpuma ir atpazīstama kā 8200 notikums. Arī sporu sastāva savstarpējās izmaiņas pietiekoši labi atspoguļo tendences un ir salīdzināmas ar jaunākajām diagrammām, kamēr lakstaugu putekšņu iekšējās attiecības un savstarpējās izmaiņas ir pārspīlētas un var tikt izmantotas tikai atsevišķos gadījumos.

REVEALS modelis ļauj rekonstruēt precīzākas augu savstarpējās procentuālās attiecības, tomēr jāņem vērā, ka joprojām pārsvarā tiek izmantotas procentuālās putekšņu diagrammas, tādēļ turpmāk pētījumos vajadzētu izmantot abus veģetācijas attīstības rekonstrukcijas veidus.

Pētījuma rezultāti ir apstiprinājuši aizstāvēšanai izvirzītās tēzes:

1. Ziemeļvidzemes organogēnajos nogulumos atrodamās veģetācijas liecības norāda uz mainīgiem dabas apstākļiem holocēnā Ziemeļvidzemē, ietverot gan aukstākus un mitrākus, gan arī siltākus un sausākus apstākļus, ko labi parāda nogulumu sastāva paleobioloģiskās analīzes, kas ļauj atpazīt 8200 aukstuma notikumu, Mazo ledus laikmetu un silto holocēna termālo maksimumu.
2. Mazais ledus laikmets un vairāki citi iespējamie aukstuma notikumi ir labi izsekojami augsto purvu nogulumos, kas veidojušies vēlajā holocēnā, kā arī putekšņu diagrammās. Tie ne vienmēr droši nodalāmi zemo purvu nogulumos.
3. Citas mikroskopiskās atliekas sniedz papildus informāciju par ūdens līmeņa svārstībām un dažādu augu klātbūtni. Tās var tikt izmantotas kā viens no nogulumu uzkrāšanās apstākļu indikatoriem, īpaši gadījumos, ja nogulumos nav saglabājušās sporas, putekšņi un augu makroskopiskās atliekas.

Dotajā pētījumā izvirzītie uzdevumi ir izpildīti un darba mērķis ir sasniegts.

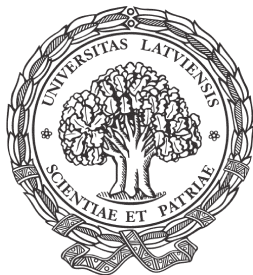
PATEICĪBAS

Vispirms vēlos izteikt pateicību savai darba vadītājai Asociētajai profesorei Dr. geogr. Laimdotai Kalniņai vispirms jau par izešanu purvu pasaulē, bet vislielākais paldies ir par pacietību, par visnotaļ interesanto disertācijas radīšanas procesu un par iedrošināšanu neapstāties pie sasniegtā. Tāpat es vēlos pateikties profesoram Valdim Segliņam par vērtīgajiem ieteikumiem. Izsaku pateicību arī LU Kvartārvides laboratorijas kolēģiem – Aija Ceriņai, Elizai Kuškei, Normundam Stivriņam, Vitai Ratniecei, Ievai Grudzinskai, Agnesei Pujātei un citiem par vērtīgajām diskusijām, tehnisko atbalstu, līdzdalību lauka darbos un draudzīgo atmosfēras radīšanu darba procesā. Ne mazāk svarīgu atbalstu esmu saņēmusi no kolēģiem Igaunijā – Dr. Sīma Veski un Dr. Atko Heinsalu, kas dalījušies savās zināšanās par holocēna pētījumiem un ļāvuši izmantot savu laboratoriju. Tāpat arī liels paldies Mārim Dauskanam, Mārim Nartišam un Anitai Namatēvai par palīdzību lauka darbos un kartogrāfiskā materiāla tapšanā. Vēlos pateikties Marie-Jose Gaillard un Shinya Sugita par iepazīstināšanu ar REVEALS modeļšanu un vērtīgajiem LANDCLIM semināriem. Vēlos pateikties arī kolēģiem Latvijas Kūdras ražotāju asociācijā un īpaši Agrim Lācim par atbalstu un iedvesmošanu.

Visbeidzot vēlos pateikties savam vīram Uldim Ozolam gan par tehnisku palīdzību disertācijas tapšanā, gan par milzīgo pacietību un nenogurstošo optimismu visu šo gadu laikā. Taču tas viss sākās ar Līgas Neļķes ieteikumu studēt ģeoloģiju. Es paklausīju un ne mirkli neesmu to nožēlojusi. Par interesanto studiju procesu izsaku pateicību Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes mācībspēkiem.

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda projekta „Atbalsts doktora studijām Latvijas Universitātē” Nr. 2009/0138/1DP/1.1.2.1.2./09/IPIA/VIAA/004 finansējuma atbalstu. Daļa nogulumu ¹⁴C datējumu veikti ar LU Pētniecības projekta Nr. 2007.ZP-87 „Skandināvijas ledus vairoga dienvidu malas iekšējās zonas vēlā Vislas posma deglaciācijas notikumu hronoloģijas pilnveidošana” projekta atbalstu. Daļa lauka darbu finansēti ar LZP projekta Nr. 09.1438. “Purvu stratigrāfija Latvijā: liecības par leduslaikmeta beigu posma un holocēna klimata izmaiņām un kūdras uzkrāšanos”, kā arī vairāki pētījumam nozīmīgi semināri apmeklēti ar starptautiskā projekta „The NordForsk LANDCLIM 10 000 network “The past LAND cover – CLIMate Interactions in Europe over the last 10 000 years”” atbalstu.

UNIVERSITY OF LATVIA
FACULTY OF GEOGRAPHY AND EARTH SCIENCES



Ilze Ozola

**THE HOLOCENE ORGANOGENIC
DEPOSITS AND CHANGES OF THEIR
FORMATION CONDITIONS IN MIRES
OF NORTH VIDZEME**

SUMMARY OF DOCTORAL THESIS

Submitted for the Doctoral Degree in Geology
Subfield: Quaternary Geology and Geomorphology

Riga, 2013

The doctoral thesis was carried out at the Chair of Geomorphology and Geomatics of the Faculty of Geography and Earth Sciences, University of Latvia from 2008 to 2013.



LATVIJAS
UNIVERSITĀTE
ANNO 1919

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

This work has been supported by the European Social Fund within the project „Support for Doctoral Studies at University of Latvia” No. 2009/0138/1DP/1.1.2.1.2./ 09/IPIA/ VĪAA/004.

The thesis contains the introduction, 5 chapters, conclusions and reference list.
Form of the thesis: dissertation in geology, sub discipline of Quaternary Geology and Geomorphology.

Supervisor: **Laimdota Kalniņa** professor, *Dr. geogr.*, University of Latvia

Rewievers:

Ervīns Lukševičs, professor, *Dr. geol.* (University of Latvia)

Juris Soms, docent, *Dr. geol.* (University of Daugavpils)

Valdis Segliņš, professor, *Dr. geol.* (University of Latvia)

Doctoral committee:

Vitālijs Zelčs, professor, *Dr. geol.* – Chairman

Aija Dēliņa, docent, *Dr. geol.* – Deputy chairman

Valdis Segliņš, professor, *Dr. geol.*

Laimdota Kalniņa, assoc. professor, *Dr. geogr.*

Ģirts Stinkulis, assoc. professor, *Dr. geol.*

Secretary:

Ģirts Stinkulis, assoc. professor, *Dr. geol.* – secretary

This thesis is accepted for the commencement of the degree of Doctor of geology on 25 April 2013, Protocol No. 03/2013, by the Doctoral Committee of Geology, University of Latvia.

This thesis will be defended at the public session of the Doctoral Committee of Geology, University of Latvia, at 12.00 am on 27 June, 2013, Alberta street 10, Riga.

The thesis is available at the Library of the University of Latvia, Riga, Raiņa Blvd.19.

Address for submission of comments:

Dr. **Ģirts Stinkulis**, Department of Geology, University of Latvia,
Raiņa Blvd. 19, LV-1586, Rīga.

Fax: +371 67332704, e-mail: Girts.Stinkulis@lu.lv

© University of Latvia, 2013

© Ilze Ozola, 2013

ISBN 978-9984-45-738-3

ANNOTATION

Ozola I., 2013. "The Holocene organogenic deposits and changes of their formation conditions in mires of Northern Vidzeme"

In this doctoral study, the Holocene vegetation changes have been determined by tracing their evidence in the organogenic deposits in the selected five mires in Northern Vidzeme. Field and laboratory research methods were used, such as plant macroscopic remain, spore and pollen, non-pollen, peat decomposition degree and botanical composition, and loss-on-ignition analyses, as well as determination of the absolute age of the deposits with the ^{14}C conventional and AMS ^{14}C methods.

In the organogenic sediments investigated, vegetation changes during the Holocene have been recognised, which indicate changes in nature conditions in Northern Vidzeme during the Holocene, including colder (the event 8.2 and the Little Ice Age) and warmer (the Holocene Thermal Maximum) conditions.

The changes in deposit composition, as well as the complementary results of pollen and plant macroscopic remain and microscopic remain composition analyses allow to recognise the event 8.2 in the deposits of the investigated sections of Puikule Mire and Pantene Mire. This is confirmed by a rapid short-term rise of the birch and herb pollen curve in the pollen diagram, accompanied by changes in deposit composition. The Little Ice Age is identified similarly – although to a less pronounced extent and not always with a reliable mark – in the pollen spectra from fens. This event is more recognisable in the pollen spectra of raised bog pollen diagrams as well as from the increase in peat accumulation intensity and decrease in decomposition degree, while changes in peat botanical composition are not pronounced.

Possibilities for the Holocene organic deposit stratification at Northern Vidzeme were clarified and boundaries between the Early and Middle, as well as, between the Middle and Late Holocene were defined.

Key words: peat, gyttja, plant macroscopic remains, pollen, event 8.2.

CONTENTS

Annotation	47
Introduction	49
1. Holocene Organogenic deposit studies	54
2. Characterization of study area	57
3. Materials and methods	59
4. Results and interpretation	62
4.1. Pantene Mire	62
4.2. Zilais Mire	67
4.3. Kalna Mire	67
4.4. Çeru Mire	68
4.5. Puikule Mire	69
5. Discussion	75
5.1. Development of mires and changes in deposit formation conditions	75
5.2. Changes in deposit accumulation rate in the Holocene	76
5.3. Stratification of the Holocene deposits	78
5.3.1. The Early Holocene	79
5.3.2. Evidence of cold event before 8200 cal. yr BP	80
5.3.3. The Middle Holocene	82
5.3.4. The Late Holocene	83
5.4. Application of REVEALS model in palaeovegetation reconstructions	85
Conclusions	87
Acknowledgements	90
References	91
List of Publications	98

INTRODUCTION

During the Holocene, which is the latest epoch of the Quaternary period and covers approximately the last 11,700 years (Lowe et al., 2008; Walker et al. 2009; Cohen et al., 2012; Walker et al., 2012), organogenic deposits have formed in many parts of the world. These deposits include coral reefs, diatomaceous earth, freshwater limestone, gyttja, peat, and partly also ochre and bog phosphates. Plant and animal remains accumulated in organogenic deposits during the time of their formation are preserved there for thousands of years, thereby providing information on deposit accumulation conditions and changes in these conditions. These remains are best preserved in gyttja and peat – widespread organogenic deposits that have formed in continental conditions during the Holocene period. Thus, the results of studying mire deposits, as well as lake deposits often found underneath them, allow precise reconstruction of deposit accumulation environment and climate changes in the Holocene (Aaby, 1986; Barber, Langdon, 2001; Chambers, Charman, 2004; Chambers et al., 2012).

Given the fact that mire and lake deposit layers mainly accumulate successively, by later layers covering the older ones, they can be considered as archives of geological events. The stratigraphy of deposit layers and reconstruction of past events is fundamental for understanding the geological processes of deposit accumulation in the Holocene (Mauquoy et al., 2002; Chambers, Charman, 2004).

Relevance of the study

Among the first systematic studies of mires were those conducted in early 20th century Sweden by L. von Post, who was then the leading mire specialist of the Swedish Geological Service. Under these studies, mire surveys and geological drilling and sampling were performed in mires in the southern, central and eastern parts of Sweden, determining peat spread and properties (von Post, Granlund, 1926; Schoning, 2012).

Mire deposit studies in Latvia likewise began in the early 20th century, specifically in 1912, when P. Nomals was commissioned to establish and head the Mire Study Lab of the Baltic Hydrotechnical Department under the Ministry of Agriculture of Russia. Already before the World War I, peat was extracted in 324 mires in the territory of Latvia, and this fact is indicative of the necessity and importance of peat studies (Šnore, 2004). In 1919, the Mire Study and Utilisation Department was founded at the Faculty of Agriculture of the University of Latvia, and systematic studies of mires started in 1926, when the University of Latvia Mire and Peat Research Lab, headed by Professor P. Nomals, with the support from the Ministry of Agriculture began systematic survey (research) work in major peat extraction sites (Lācis, 2010). In these first systematic laboratory studies, such factors as peat botanical composition, decomposition

degree, ash content (%), and pH were investigated (Nomals, 1930b). The study results on 149 mires were compiled in three publications in the form of reviews and the peat found: Survey of mires in Kurzeme, Zemgale, as well as Vidzeme and Latgale (Nomals 1930b, 1936, 1943). The results of these studies are still relevant even today.

Mire deposit research methodology was improved in Northern Europe and the Baltic countries via introduction of the spore-pollen analysis along with other methods of peat analysis. In Latvia in the first half of the 20th century, the first important studies were those of P. Galenieks and M. Galeniece (Liniņa), who have improved their knowledge and skills by doing fieldwork with prominent palaeobotanists in Europe as well as with the Swedish mire researcher and founder and developer of the pollen method – L. von Post. Their studies on forest and mire formation history (Galenieks, 1931; 1935; Galenieks, 1936) are still considered as foundational for Holocene deposit stratification in Latvia. Since then, there have been numerous palaeobotanical studies of Holocene deposits, the results of which have mostly been used for deposit stratification, identification of their formation conditions and age, as well as reconstruction of Holocene vegetation development. Some noteworthy studies based on palaeobotanical research results are those of M. Galeniece (1931; 1935), P. Nomals (1936; 1937; 1939; 1943), as well as I. Danilāns (1955; 1957; 1963; 1973), T. Bartoša (1959; 1976a; 1976b), and V. Segliņš (2000; 2001a, 2001b, 2001c). Of crucial importance among these, one can mention V. Segliņš' work *Latvian Holocene spore and pollen diagram catalogue* (Segliņš, 2001), which compiles the spore-pollen diagrams drawn up in Latvia until 2000. Although part of those diagrams has only a historical significance, they still provide insight into the deposit build-up time and circumstances at the sites where the respective sections have been made.

So far in Latvia, reconstruction of Holocene geological events and palaeovegetation has mainly been performed using palaeobotanical research methods – most often spore-pollen analysis – reflecting tree and shrub pollen percentage ratios (Galenieks, 1935; Danilāns, Stelle, 1971; Danilāns, 1995; Segliņš, 2000; Lācis, Kalniņa, 1998; Segliņš, 2000; Segliņš et al., 1999; Pakalne, Kalnina, 2005). In today's research, radioactive carbon dating techniques are widely used, which, together with various analytical data (pollen, plant macroremains, diatoms, etc.), make it possible to determine the times of Holocene environmental changes with considerable precision. The many interdisciplinary studies of Holocene mire and lake deposit formation conditions, composition changes and palaeovegetation evidence carried out in Northern Europe in recent decades (Veski, 1998; Seppä, Poska, 2004; Mayewski et al., 2004; Jackson, 2009; Gaillard et al., 2010; Wanner et al., 2011; Balakauskas, 2012), their cumulative results and a variety of approaches to the interpretation of these results give important new information with respect to stratigraphy, palaeovegetation and palaeoclimate,

and provide an opportunity to reassess the previous theories of deposit accumulation conditions and to make corrections in deposit stratification.

Analysing the results of past spore-pollen studies of deposits in Latvia, it was concluded that most of these studies are only of a historical value, since, as V. Segliņš (2001) has already conceded, for a great number of pollen diagrams, it is impossible to determine exactly the geographical location of the studied site. Moreover, the diagrams often lack a sufficiently detailed description of deposits, have a rather small amount of pollen identified in a sample (100–200), are short of the absolute age dating of deposits and other analyses of deposit biological composition, etc. Therefore, to accurately reconstruct the formation of mire deposits and changes in their composition during the Holocene period, research of organogenic deposits has been performed in this doctoral thesis, using several palaeobiological methods (peat botanical composition, decomposition degrees, spore-pollen and other microfossil analyses), the cumulative results whereof allow to make a more plausible interpretation of these results and identification of climate change events in the Holocene that have shaped the diversity and accumulation conditions of organogenic deposits.

The region of Northern Vidzeme was selected for the study, in particular Metsopole plain, Limbaži undulating plain, Augstroze interlobate hilly ridge, Burtnieks plain and Ērgeme hilly area. This region was chosen for the study because the topography of the territory of Northern Vidzeme has formed as a result of activities of varying intensity of the last ice cover and its meltwater, due to which the lake and mire low-lying areas are situated at different hypsometric levels. These factors affect the beginning times of organogenic deposit formation and their accumulation rate, which may vary. Therefore, within the study area boundaries in Northern Vidzeme, different study sites were looked for in order to obtain maximally comprehensive information about the organogenic deposit formation and changes in their accumulation conditions in the Holocene. In the recent decades, evidence has been found by the Holocene deposit studies for a rapid, relatively short (about 200 years) episode of climate change related to decrease in temperature before the beginning of the Holocene climatic optimum, which probably also affected the peat formation processes. Evidence of this occurrence, which is called the event 8.2, has been found not only in the Greenland ice drilling cores (Dansgaard et al., 1993; O'Brien et al., 1995) but also in lake and mire deposits (Von Grafenstein et al., 1998; Veski et al., 2004; Seppä et al., 2007; Yeloff, et al., 2007).

Moreover, when planning the study, the possibility of correlating the data obtained with the detailed studies on mire and lake deposits conducted in the southern part of Estonia and eastern part of Latvia was considered (Sarv, Ilves, 1972; Niinemets, Saarse, 2006; Heikkila, Seppä, 2010; Amon et al., 2012; Veski et al., 2012), allowing not only for more precise recognition and reconstruction of organogenic deposit composition and changes in accumulation conditions

in the mires of Northern Vidzeme but also for inferring whether such changes have also occurred in Estonian mires.

The objective of the doctoral thesis:

Using the results of palaeobiological research, to characterise and stratify the Holocene organogenic deposits in mires and ascertain changes in their accumulation conditions in Northern Vidzeme.

The key tasks for achieving the objective:

1. To identify, analyse and evaluate published and unpublished materials on Holocene organogenic deposits, their stratigraphic classification, deposit composition and climate change evidence in Holocene mires for the purpose of selecting the study sites and research methods necessary for achieving the study objective;
2. To conduct organogenic deposit research in the selected mires of Northern Vidzeme; to process the geological and palaeobiological research results;
3. Using the data obtained, to characterise and stratify mire deposits and to reconstruct their composition changes and mire formation process;
4. To find out what kinds of changes in deposit accumulation conditions have affected the geological formation of Northern Vidzeme mires and deposit composition variability;
5. To analyse how the palaeobiological data collected from the studied deposits allow to distinguish simultaneous deposit condition changes during their accumulation in Northern Vidzeme;
6. To carry out stratification of the Holocene deposits in Northern Vidzeme;
7. To analyse pollen diagrams drawn up in earlier studies and to evaluate their possible use.

Theses proposed for defence:

- 1) The event 8.2 can be clearly recognised in the composition changes and pollen spectra in the deposits of the studied cross-sections;
- 2) Changes in raised bog deposit composition and spore-pollen spectra are indicative of several climate cooling episodes in the Late Holocene;
- 3) Other microfossils (rhizopoda, charcoal, algae, fauna remains) can be used as indicators of deposit accumulation conditions, especially if spores, pollen and plant macroremains are not preserved in the deposits.

Novelty of the study

The doctoral thesis reflects detailed studies of Holocene organogenic deposits accumulated in mires, the cumulative results whereof make it possible to characterise the deposits and to define more exactly how the Holocene climate changes have affected the properties and accumulation process of these deposits.

The cold and warm events in Northern Vidzeme during the Holocene that had affected the deposit composition and accumulation intensity are determined and characterised, as well as, analysis of other microscopical remains have been carried out, which research results used in reconstructing the Holocene deposit accumulation conditions for the first time in Latvia.

Using the REVEALS model, a more accurate picture of forest and mire vegetation composition changes and distribution in the Holocene has been obtained.

Approbation of the study results: the results of the study have been summarised in 7 scientific publications; 21 reports have been given at international conferences and 14 reports – at local conferences.

Investigations in the frame of dissertation elaboration have been supported by the European Social Fund within the project “Support for Doctoral Studies at University of Latvia” No. 2009/0138/1DP/1.1.2.1.2./09/IPIA/VIAA/004, as well as, project No 2007/ZP-87 at the University of Latvia „Developing an Improved Event Chronology of the Late Weichselian Deglaciation of the Inner Zone of the Southern Margin of the Scandinavian Ice Sheet”, Project of Latvian Council of Science No. 09.1438. „Stratigraphy of peatlands in Latvia: evidence of Lateglacial and Holocene climatic change and peat accumulation”, NordForsk project LANDCLIM 10 000 „The past LAND cover – CLIMate Interactions in Europe over the last 10 000 years”.

1. HOLOCENE ORGANOGENIC DEPOSIT STUDIES

Holocene is the latest Quaternary epoch covering the past 11,700 years (Lowe et al., 2008; Walker et al. 2009, Cohen et al., 2012). Holocene organogenic sediments that accumulate in shallow lakes and marshes form gyttja and peat layers rich in organic matter. Gyttja has accumulated since the beginning of the Holocene, as soon as the climatic conditions were sufficient for intensive development of flora and fauna dwelling in the lakes, whereas the peat layers are formed under conditions when the volume of plant biomass exceeds the decomposition of organic matter (Nomals, 1930b; Clymo 1965; Malmer 1986).

At present the number of bogs in Latvia exceeds 9600 and they are distributed throughout the country, whereas the areas they occupy in various natural areas of Latvia differ (Bear, 2010). Bogs situated in the eastern part of Coastal Lowland, lowlands of the middle part of Latvia and Northern Vidzeme are the largest in area. Many types of mire are formed by overgrowing of shallow lakes, oxbow meanders, former Littorina Sea lagoons, where after the sea level drop shallow lakes have formed, which gradually became overgrown and bogs formed on their territory. The most extensive mire territories are in lowlands with slightly wavy terrain, in which the quaternary sediment blankets are mainly composed of clayey silt moraine or glaciolimnic clays (Lācis, Kalniņa, 1998).

The earliest information on the bog sediment studies in Latvia is dated from the beginning of the 18th century, when the first articles were published on peat extraction and its use for heating and agricultural purposes (Šnore, 2004). However, these studies were fragmented. More extensive marsh sediment studies were started already in 1912, when the most outstanding researcher of Latvian bogs and marshes and science founder Pēteris Nomals was appointed founder and manager of the Laboratory for Research of Bogs of the Baltic Hydro-Technical Department under the auspices of the Ministry of Agriculture of Russia. Already before World War I peat was extracted from 324 bogs on the territory of Latvia, which confirms the necessity and importance of its study (Šnore, 2004)). However, P. Nomals himself admits that: 'Latvian bog research has started from 1919 and bogs have been studied in all regions. Up to the 1930 mainly in the manner of exploration 557 major bogs have been researched, which is approximately 40% of all the area of the bogs in Latvia' (Nomals, 1930b). When systematic studies were commenced, the botanical composition, the degree of decomposition, the ratio of ash content and pH of peat samples was determined in the laboratory (Nomals, 1930b). Later, when working at the University of Latvia as the Head of the Laboratory for Bog and Peat Utilisation of the Faculty of Agriculture from 1919 to 1939, P.Nomals researched bog stratigraphy and chemistry, water regime, drainage opportunities, peat composition, agrotechnical and technological properties of peat, as well as the problems of utilisation of bogs and peat in general, he developed the first Latvian bog map.

P. Nomals led the research of the bogs of Latvia for 40 years, during which the information was obtained on 1149 bogs. In his work 'The Prospects of Latvian Peat Industry' P. Nomals emphasizes that: 'in Latvia there is almost no rural district, not to mention the regions, where there would not be a smaller or larger bog' (1944). He has summarised the results of his research in numerous publications, of which the most significant ones include: The Survey of Courland Bogs (1937), The Survey of Vidzeme and Latgale Bogs (1943), his doctoral theses on 'The Amount and Grouping of Water, Mineral Substances and Nitrogen in the Bogs of Latvia' (1930a) constitutes an important foundation for future Latvian bog sediment studies as well. Later P. Nomals was the Director of the Institute for Bogs (from 1940 to 1941, from 1944 to 1946) and Latvian SSR Academy of Sciences Institute of Bog Studies (from 1946 to 1949). Also during this time he involved in the detailed research of bogs including topographical survey, peat sediment probing and sampling on regular mesh, laboratory work, and mire drainage feasibility study. As the result of the work peat extraction projects such as the projects for construction of power plants on the basis of Sārņate and Seda bogs were created (1944). Latvian marsh sediment studies under his leadership are still important today and are often used not only as a historical value, but as a methodical aid adequate for the present time.

After the Second World War, the demand for peat, which was used in energy and agriculture, increased, which determined research of new bogs and summarizing of previous research data. In February of 1946 the Peat Institute of the Academy of Science was established from the Department of Peat of the Natural Resource Research Institute of the Latvian SSR, in which Latvian SSR Peat Stock was prepared, which included a description and map of peat deposits. The Peat Stock was published in 1962 and it contains information on 5789 deposits in administrative districts, including the information on 844 deposits earlier studied by P. Nomals. The Peat Stock also contains information on 162 deposits from the archives of different research and design organizations, including their location, indicating their location, area within the limits of 'zero' and industrial depth (0.9 m), the depth of the peat: the largest and the average, peat volume (m^3), peat properties: botanical composition, degree of decomposition (%), ash content (%), natural humidity (%), dry contents calorific value (kcal/kg), dry contents outcome (kg/t), pH, utilisation of the deposit, spillway, research method and year (Bear, 2010). The Peat Stock published in 1980 was supplemented with a schematic map of peat deposits in Latvia with the scale of 1 : 400,000, as well as peat deposit schematic maps for each municipality with the scale of 1 : 100,000 (Lācis, 2010). Later, in the light of changes in the volume of peat resources, in 1996 The Agency of Geology of Latvia summarised the information and issued an overview on 'Western Latvia Peat Resources' (Lācis, 1996), which is supplemented with a map 'Western Latvia Peat Deposits' with the scale of 1 : 400,000.

From the eighties of the last century additionally to the exploration work in a bogs of each district, in order to describe the conditions and development of the emerging of peat deposits, spore-pollen analysis were sampled, as well as in order to determine the absolute age of peat (Lācis, 2010), thus continuing the work of the founders of analyses of pollen in Latvia Marija Liniņa-Galenieks and Pauls Galenieks, who mastered this method in 1920–30 in Sweden, during internship with L. von Post.

In Western Europe, one of the first pollen researchers was a Swedish micropaleobotanist G. Lagerheim, whose results were published by a number of researchers H. Witte, F. Holst, J. Samuelson, J. R. Sernander and von Post. Specifically by using the results obtained by G. Lagerheim, the Swedish botanist and peat researcher Lennart von Post discovered the application of microfossil analysis in stratigraphy and in 1916 laid the foundation for the quantification of pollen analysis at the meeting of Scandinavian scientists in Oslo by introducing the first modern rating (quantitative) analyses of pollen (von Post, 1916). The results allowed relatively dating and correlating different composition (mineral, organogenic) and genesis (lake, marsh, sea, and river) sediments.

Over the years, various researchers have tried to divide the Holocene into specific phases with the help of different chronostratigraphical terms. Thus already in 1974 J. Mangerud (Mangerud et al., 1974) recommended Holocene chronostratigraphical breakdown for the Nordic Countries and part of the North-West European continental territory, retaining Blytt-Sernander zones and established radiocarbon years for the limits of each chronozone. However J. Birks and H. Seppä (Birks, Seppä, 2010) have suggested not to use Blytt Sernander scheme in the future, using instead the absolute age dating of the sediments. The interpretation of results of a major part of the research carried out in Latvia is based on the pollen zone division by Post (Danilāns, Stelle 1971; Danilāns, 1973) and Blytt-Sernander scheme (Segliņš, 2000, 2001a, b); therefore it is applicable only for the analysis of research carried out earlier.

At present the INQUA group of researchers (Walker et al, 2012) are proposing to use the Holocene boundary set, which is based on the data characterizing them in the global stratotype Greenland NGRIP1 ice drill: determining the early to Middle Holocene boundary at 8200 cal. yr BP and mid to Late Holocene boundary at 4200 cal. yr BP level.

2. CHARACTERIZATION OF STUDY AREA

The Latvian territory of Northern Vidzeme was chosen for the study, in particular covering Metsopole Plain, Limbaži Undulating Plain, Augstroze Interlobate Hilly Ridge, Burtnieks Plain and Ērgeme Hilly area. Study sites are located in one geobotanical region in different relief forms and in different nature areas of Northern Vidzeme (Fig. 2.1.):

- Northern Vidzeme lowland; Rūja depression in the northern part of Burtnieks plain; Pantene Bog, by the overgrown northern inlet of old Burtnieks,
- Idumeja highland: Puikule bog between Aloja-Puikule ridge and Metsopole plain;
- Baltic Ice Lake accumulation and abrasion plain on the border between the northern part of coastal lowlands and northern part of middle Latvia – Kalna, Zilais and Ķeru mires.

The studied bogs – Kalna, Ķeru and Zilais – are located in the coastal area of Vidzeme, on Baltic Ice Lake accumulation and abrasion plain between Baltic Ice Lake Bgl I and Bgl II shorelines. The height of the Baltic Ice Lake shoreline Bgl I vary from 40 m above sea level by Kalna Mire to 32 m above sea level by

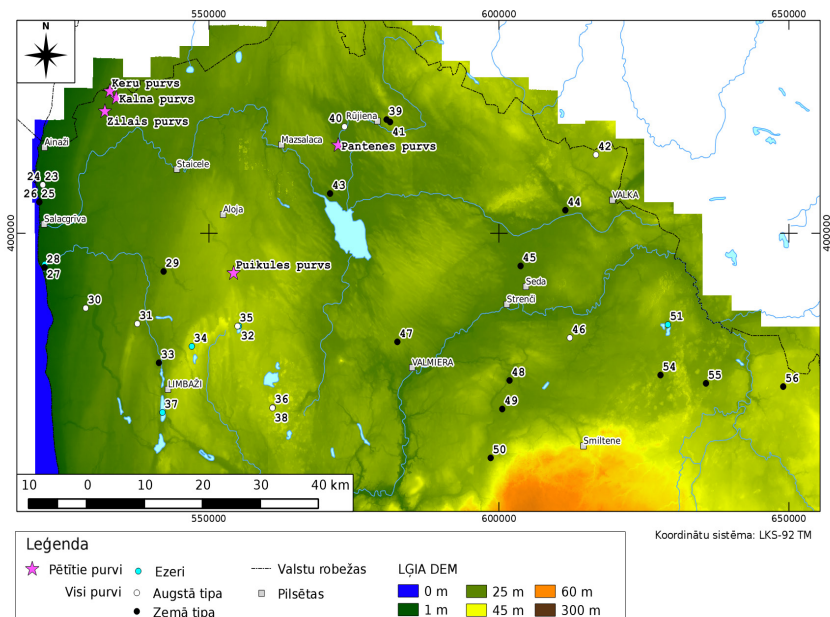


Figure 2.1. Study sites and other palynologically investigated geological cross-sections in Northern Vidzeme

Ķirbiži (Juškevičs et al., 2008). These mires were chosen for study because the accumulation of organogenic sediments there began only in the late Holocene, about 4000 years ago. Deposit accumulation there has been relatively intense, so it was expected that vegetation changes and short-term events, such as the Little Ice Age, would be well recognisable.

Names for studied sites in this work is added on map, but earlier studied palynologically analysed sections are marked by numbers according them in the publication of V. Segliņš „Catalogue of the Holocene spores and pollen diagrams from Latvia” (Segliņš, 2001b): 23. Kuivižu bog I (Grinbergs, 1957); 24. Kuivižu bog II (Ceriņa, 1972); 25. Salacgrīva 1, sounding 858 (Tracevskij et al., 1967); 26. Salacgrīva 2, sounding 855 (Tracevskij et al., 1967); 27. Ruduškojes ezers (Sergejeva et al., 1987); 28. Svētupe river (Drille, 1977); 29. Angas mire (Medne, 1976); 30. Brinkmaņa bog (Brikmaņa (Lūru) purvs) (Ceriņa, 1972); 31. Toļļu bog (Galeniece, Eglitis, 1964); 32. Rāķu lake (Rāķis) (Braksh, et al., 1967); 33. Dūņezers lake (Svētupes purvs) (Ilves, Medne, 1979); 34. Katvaru lake (Braksh et al, 1967); 35. Rāķu bog (Bamberg, 1962); 36. Madiēšenu bog (Tracevskij et al., 1965); 37. Lielezers lake (Braksh et al., 1967); 38. Bisenieku bog (Galeniece, Eglitis, 1964); 39. Rūjienas mire, sounding 2599 (Tracevskij et al., 1965); 40. Rūjas bog, sounding 2604 (Tracevskij et al., 1965); 41. Rūjienas mire, sounding 2601 (Tracevskij et al., 1965); 42. Ņezaru bog (Galenieks, 1935); 43. Lielruļļu-Airītes (Aizupītes) purvs, sounding 2839 (Tracevskij et al., 1965); 44. Rikanda river valley (Brūders, 1977); 45. Seda mire (Brūders, 1977); 46. Tauris purvs (Buša, 1984); 47. Valmieras purvs (Bamberg, 1962); 48. Mārsnēnu 3 (Purmaļu) purvs (Brūders, 1977); 49. Mārsnēnu purvs 2, 2838.zondējums (Tracevskij et al., 1965); 50. Mārsnēnu purvs 1 (Bamberg, 1956); 51. Salainis (Salasnis) lake (Braksh et al., 1967); 54. Muižnieki, 919.zondējums (Tracevskij et al., 1964); 55. Rudaci, zondējums 917 (Tracevskij et al., 1964); 56. Kaulezera bog (Brūders, 1977).

Pantene Mire is located in the north-western part of Burtnieks Lake, in Northern Vidzeme Lowland, Burtnieks Plain, in the middle of Burtnieks drumlin field. Pantene Mire is part of one of the old bay of Burtnieks palaeolake and is situated in Rūja depression, in the north-eastern part of Burtnieks Plain. Boreholes Ceriņi-2007, Ceriņi-2009, Ceriņi-2011, as well as Pantene-Braukšas I-2006 were made in near Pantene settlement, by “Ceriņi” homestead (the boreholes were named accordingly).

Puikule Mire is located in Limbaži Undulated Plain. On the south and southeast sides it borders with Idumeja Highland's Augstroze Interlobate Hilly ridge, which is one of the Salaca River basin watersheds, while on the west side the bog borders with Puikule-Aloja ridge, behind which Metsepole Plain of Middle Latvia Lowland begins. To the east lies Burtnieks Drumlin field, crossed by the Briede River on the southwest side. The total area of Puikule-Tēvgārša Mire is 2200 ha, of which 1591 ha is fen and 609 ha – raised bog.

3. MATERIALS AND METHODS

A variety of published and unpublished materials about the geological structure of the study area and its formation, as well as about various methods of sediment research have been collected and analysed. In view of the information gathered, the study sites and research methods that are most fitting for accomplishing the study objective were chosen.

Northern Vidzeme area was chosen for the study for the following reasons:

- Firstly, the topography of Northern Vidzeme was formed as a result of activities of varying intensity of the last ice-cover and its meltwater. Therefore, the beginnings of organogenic sediment formation and deposition rates are different. This factor, in turn, can give evidence on changes in vegetation and hence also in climatic conditions during the time of sediment deposition.
- It was assumed that the more intensive is the formation of peat, the higher the chance to get more information on sediment composition and deposition conditions, basing on this assumption small bogs with a thick layer of peat were chosen.
- It was assumed that small bogs can provide more appropriate reconstruction of mire development and deposit formation conditions in Late Holocene, because there not developed high bog domes and peat layers have not been breaking and are located „*in situ*”.

Sites with a higher sediment accumulation rate, allowing identification and recognition of short-term events, were chosen for study in Northern Vidzeme. It is difficult to establish such short-term events as, for example, the event 8.2 or the Little Ice Age in sections where sediment accumulation rate is low. For more detailed studies, sediments of various bogs and overgrown lakes were chosen, because there the composition of vegetation and climate changes can be inferred from both plant macro-remains (seeds, leaves, twigs), which are usually found *in situ*, as well as micro-remains, which can be both of local (plant cells, pollen, spores) as well as of regional (pollen) origin. In addition, the study sites were selected with a view of possibility to study both raised bog sediment sections that have formed from bogged-up mineral deposits at bog depression bases and lowland mire sediments that have formed due to overgrowing water bodies. Raised bogs were chosen because deposition rates there would make possible better traceability of cold periods over the last 2000 years as well as because of better representation of lake sediments, containing plant remains that give evidence about climatic conditions during the sediment accumulation time. The study sites are located in a single geobotanical area with different terrain forms and different nature areas in Northern Vidzeme.

In order to compare obtained results with previous study results from Northern Vidzeme 32 pollen percentage diagrams from Latvian pollen diagram

catalogue (Segliņš, 2001b,c) (Fig.2.1.) were selected and analysed. Field works were carried out in 4 raised bogs and in one fen, where sounding, coring and sampling were performed.

Following analyses were applied:

- 1) Peat decomposition degree describes the relationship between humus content and total peat mass. Degree of peat decomposition can be determined both on field and in laboratory using several methods visual, microscopic and centrifugal method (Tjuremnovs, 1976). The microscopic method is also used for determining the decomposition degree, assessing the relationship between the dark mass (humus) areas and the total field of view of the sample. In order to determine the degree of decomposition of a single sample, 10 assessments of the field of view are made for 3 preparations of that sample.
- 2) Peat botanical composition is primarily used to determine the type of peat on the basis of its microscopic and macroscopic properties, identifying the peat-forming plant composition. Determination of the botanical composition of peat is important for studying the development dynamics of bog vegetation cover over certain periods of time and for identifying the composition of peat-forming plants – which, in turn, often affects the peat properties – as well as for reconstructing the palaeoecological conditions during peat accumulation time (Tjuremnovs, 1976; Maksimov, 1995). Peat botanical composition is determined on the basis of its macroscopic and microscopic properties, identifying the main plants forming the peat sediment sample composition. Peat-forming plants are determined using a variety of plant macro-remain determinants (Katz et al, 1977; Istomina, 1938).
- 3) Pollen analysis was performed according to Bennet, Willis (2001). At least 400 pollen grains were counted per sample (without aquatic plant pollen). Basic sum (100%) for pollen percentage calculations is based on sum of all pollen, except aquatic plant pollen, as well as, spores, charcoal dust (up to 25 μ) and algae (Berglund, Ralska – Jasiewiczowa, 1986). Several pollen atlases and identification keys were used for pollen identification Faegri, Iversens (1989), Moore, Webb (1978); Nilsson et al (1977); Traverse (2008), Beug (2004). For spore and pollen data processing computer program TILIA was used (Grimm, 1990).
- 4) Non-pollen palynomorph identification. Parallel to identification of pollen and spores variety of non-pollen palynomorphs were identified, for example, rhizopoda – single-celled freshwater microorganisms or amoeba with a thin membrane enclosing the cytoplasm (Hooghiemstra 2012). Microorganisms are best preserved in sphagnum peat, and their most important function is response to changes in hydrological conditions during peat accumulation,

although they can also serve as indicators of chemical composition changes in bog waters (Tolonen, 1986) These organisms are also prevalent in freshwater sediments with fine-grain size composition, but especially often found in peat and they can be accurately identified (Warner 1999). However, it should be taken into account that during the preparation of samples for pollen analysis some of microscopic residues do not persist, and to obtain a complete microscopic residue (charcoal, chironomids, cladoceras) analysis, appropriate methodology should be applied. Non-pollen palynomorphs were identified according to Charman et al. (2000), Clarke (2003), Mazei, Tsyganov (2006), Tolonen (1966), Booth (2008), Booth et al. (2008), Glime (2012), Barthelmes (2006), van Geel (1998). Algae were identified using determinants (Katz et al, 1977; Piterāns, et al. 1957; Jankovska, Komarek, 2000).

- 5) Analysis of macro-remains provides information on changes in palaeoecological conditions during the lake development process in the direct vicinity of sediment sampling. The plant macrofossil data are most valuable if the samples of drillings, monoliths or outcrop of sediment layers are also subject to pollen analysis, thus linking macrofossil data with other palaeoecological indicators (Warner, 1990). Sediment samples were sieved and fractioned by Birks, Birks (1980).
- 6) Loss on ignition (LOI) analysis is widely applied to calculate the amounts of organic substances, carbonates and mineral particles in sediments. LOI analysis was performed according to Heiri et al. (2001).
- 7) Radioactive carbon dating calibration. To convert Holocene sediment radioactive carbon dating to calendar years they have to be calibrated. Age-depth models are created to calculate the sediment calendar age based on a limited number of dated depths and assumptions regarding the sediment accumulation between these depths (Blaauw, 2010). CLAM software was used for radioactive carbon dating calibration (Blaauw, 2010), because it provides information on every centimetre or every 5 cm of accumulation time.
- 8) Use of pollen data in modelling. The REVEALS model was used because it allows for more precise reconstruction of regional vegetation changes compared to pollen percentage ratio charts. The parameters of the model include pollen productivity for each species, fall rate for each type of pollen and wind speed (Sugita, 2007). The REVEALS v. 4.1.9 model (Sugita, 2007b) was used for each site separately, taking into account all available pollen sets.

4. RESULTS AND INTERPRETATION

4.1. Pantene Mire

Coring and sampling was repeated several times in Pantene Mire and its vicinity. In 2006 coring was done in order to obtain complete Holocene sediment cross section of Pantene Mire. Later coring was done to obtain samples for ^{14}C dating.

Based on six radiocarbon dates, within CLAM program (Blaauw, 2010) an age-depth model has been developed (Fig. 4.1.), which shows that sediment accumulation has been very smooth, whereas the fastest accumulation was taking place until 9500 cal. yr BP when the accumulation rate of clay was 0.50–0.90 mm/yr. Before 7000 cal. yr BP accumulation rate decrease to 0.30–0.50 mm/yr due to the gyttja deposition. At the beginning of mire formation before 5000 cal. yr BP peat increment was 0.38 mm/yr; nowadays it is 0.31 mm/yr.

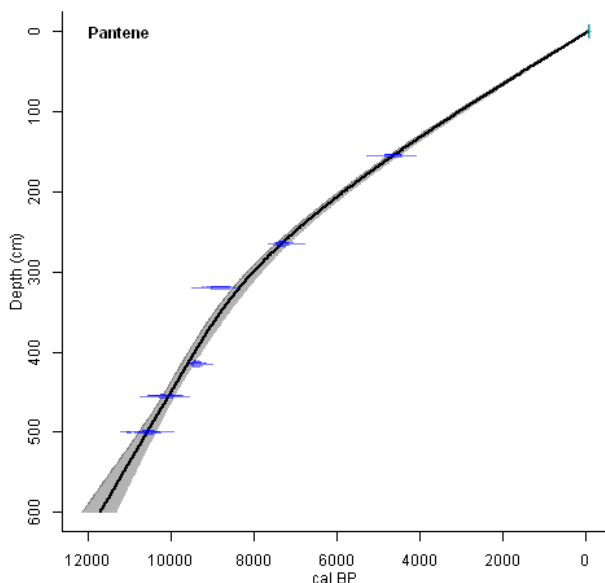


Figure 4.1. Age-depth model for core „Ceriņi-2009” sediments

The dating results of terrestrial plants, namely, the depth interval from 1.60 m to 1.75 m are dated from 6600 to 6800 cal. yr BP. The submerged or aquatic plants in turn are by 500–1000 years older than terrestrial plants from the same depth, which also points to the reservoir effect of Burtnieks Lake

during this period. This fact was taken into account when interpreting results of different analysis.

On the basis of geological coring and test coring results geological cross-section of the Pantene Mire has been created. Towards to the river Rūja that flows through Pantene Mire and Brīvpurs Mire peat layer becomes thinner – at the western edge it is up to 2.70 m but in eastern part it does not exceed 1 m. Gytija layer thickness varies from 0.30 m at the western part of the bog to the 1 m at the eastern part. Gytija layer formed at the time when water level in the northern bay of Ancient Burtnieks Lake failed and lake gradually became overgrown and well decomposed grass and wood-grass peat formed. At the western part of the bay gytija started to deposit before ~ 10 570 cal. yr BP. Taking into account reservoir effect 500–1000 years beginning of gytija formation appear later – before 9570–10 070 cal. yr BP. Peat started to deposit before 8590–9090 cal. yr BP. At the eastern edge peat started to form 2000 years later – before 6800 cal. yr BP. Changes in peat botanical composition (grass peat, wood-grass and wood-sedge peat) indicates changing water level in the mire.

Results from the Pantene Mire sediments suggest that before 9400–10 560 cal. yr BP grass and sedge pollen are dominating, in smaller quantities birch, willow, juniper and dwarf birch pollen has been found indicating an open landscape. Different algae has been found in the sediments – *Gloeotrichia*, *Pediastrum boryanum*, *Pediastrum simplex*, *Pediastrum angulosum* indicating gradual increase in nutrients, standing waters and overgrowth of the lake (Jakubovska, 1996). Also spheroidal fly ash particles – 15–25 microne black spheres has been found. Very little studies exist on presence of these particles in Early Holocene sediments. In particular study these particles can be correlated with the amount of algae. Only difference is observed during 8.2 event when algae disappear but amount of spheroidal particles increase along with minerogenic matter, indicating both organogenic and minerogenic origin of the particles.

Before 9400–9800 cal. yr BP plant macroremains accumulated on the shallow and paludified lake shore. Pine pollen are dominating in pollen spectra, considerably decrease amount of grass pollen. Significant values of fern spores, different type algae and aquatic plant remains.

Approximately 8900 cal. yr BP ago birch pollen amount increased rapidly (up to 50%), hazel pollen disappeared and after the mentioned birch peak, broadleaf amount starts to increase, which are typical features of an 8.2 event. The premature onset of the event in the pollen diagram is explained by the reservoir effect, because for the section dating of the sediment bulk sediment samples were collected from the carbonate gytija and peat with the shells of molluscs and ostracods. Loss-on-ignition results also show significant changes in sediment composition. Up to 4.80 m (10 000 cal. yr BP) sandy gytija formed with mineral particle content 90% and decrease to 20% in depth 4.24 m when rapidly increase content of organic matter due to the more favourable conditions for vegetation development and climate amelioration.

Repeatedly mineral matter content increase (up to 45%) before 9200 cal. yr BP in the depth 4.00 m indicating that conditions were not favourable for plant distribution promoting mineral matter influx from lake shores. Together with mineral matter increase, amount of carbonated matter increase (25%) that more likely were flushed into the lake with surface waters and later due to the changes in the temperature and pressure they were sedimented.

During 8.2 event fern spores disappears, although spores are observed both – before and after 8.2 event. Before 8700 cal. yr BP amount of organic matter increase again indicating that persistent vegetation cover in the vicinity. Starting from about 8800 cal. yr BP (3.50 m) sedge fen formation commenced. During this time in pollen diagram is dominated by broad-leaved trees, with dominance of linden.

Although sediments from core Pantene/Braukšas I-2006 are not dated 8.2 event is recognizable and therefore it can be concluded that gyttja in this ancient inlet of the Burtnieks Lake started to accumulate before 8000 cal. yr BP. It can also be assumed that part (4.00–7.60 m) of the 7.60 m deep sediment sequence consist of Late Glacial sediments – clay and silt that contains Characeae oogoniums, shells of ostracodes and molluscs, macroremains of dwarf birch and dryades indicating that sediments deposited in a oligotrophic lake. Aquatic plant pollen and spores of horsetail (*Equisetum*) indicates shallow lake conditions during the time when clay accumulated. Birch and pine pollen dominates in pollen spectra. At the beginning of the Holocene pine and grass pollen dominants. Then after the pine pollen maxima 8.2 event can be recognized (3.50 m). During the birch pollen maxima thin layer of clayey silt accumulated where any plant macroremains or any fauna remains has been found, but they are present both before and after the 8.2 event (Ozola et al., 2010). At the western edge of the Pantene Mire (Ceriņi-2007) already tree-sedge peat started to form (Fig. 4.2.).

After 8.2 event temporary increase the amount of sedge and grass pollen indicating rise of water level. Then sharply decrease pollen concentration in the sediments and increase amount of eroded fern spores indicating very dry conditions and erosion shortly before rise of broad-leaved tree pollen curves (HTM).

Before 8800 cal. yr BP (taking into account reservoir effect – before 7800–8300 cal. yr BP) pine pollen are dominating in pollen spectra, increase amount of alder, hazel and broad-leaved tree pollen point to warmer climatic conditions – HTM. The warmest period of the HTM was before 5900 cal. yr BP when broad-leaved tree pollen reached their maxima: elm 20%, linden 20%, oak 5%, ash tree 5%.

Aproximately before 4000 cal. yr BP amount of broad-leaved tree pollen decrease, birch pollen start to form constant curve; presence of wet meadow plant pollen and cultivated plant pollen. Before 700 cal. yr BP until present second increase in mineral matter can be observed more likely due to the mineral matter influx into the bog during intensive agriculture activities on the Pantene Drumlin.

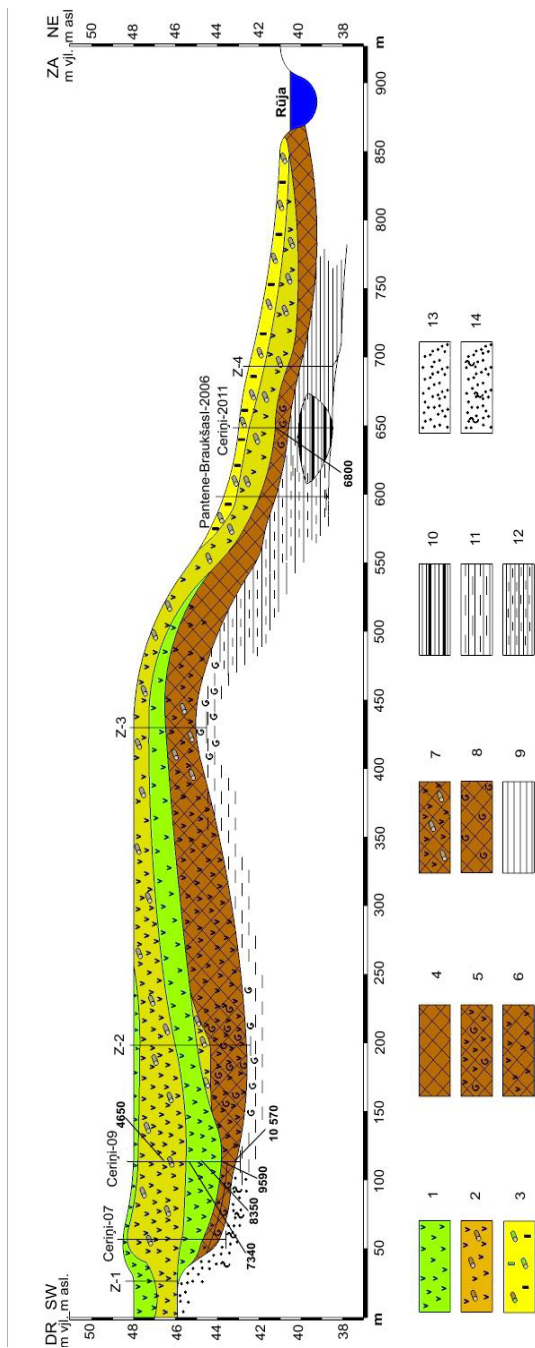


Figure 4.2. Geological cross-section of Pantene Mire sediments

Legend: 1 – peat, grass, 2 – peat, wood-grass, 3 – peat, wood-sedge, 4 – gyttja, 5 – gyttja, peaty, with ostracod and mollusc shells, 6 – gyttja, peaty, 7 – gyttja, peaty with wood remains, 8 – gyttja, peaty with shells of ostracods and molluscs, 9 – clay, 10 – clay with organic matter, 11 – clayey silt, 12 – silty clay, 13 – sandy silt, 14 – sand with organic matter, Z – 1-test corings, Ceriņi-2007-corings; 7340-calibrated ¹⁴C datings, cal. yr BP

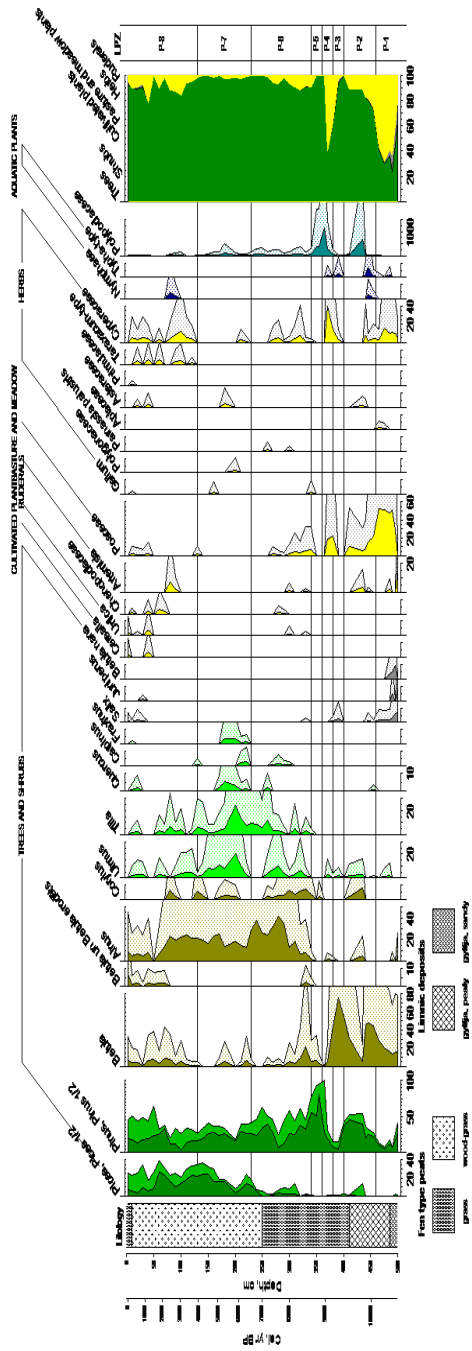


Figure 4.3. Pollen percentage diagram of Pantenes Mire deposits

4.2. Zilais Mire

Three test corings and one coring was made in the central part of the Zilais Bog. To four sediment samples ^{14}C age was determined. On the basis of ^{14}C dating results age-depth model was created using CLAM computer programme. Results of shows that at the beginning of bog formation until 1000 cal. yr BP was 0.5–1 mm/yr. It increased in last 1000 cal. yr BP – 1–2 mm/yr.

After summarizing and interpreting results of analysis implemented to the Zilais mire sediments bog formation and sedimentation conditions were reconstructed (Table 4.1.). Zilais Bog formed approximately before 3100 cal. yr BP under relatively warm climatic conditions when shallow basin was overgrown and due to the low water level and relatively dry climatic conditions well decomposed fen type wood-sedge peat formed. When climatic conditions deteriorated approximately before 2500 cal. yr BP water level increased and reed peat with gyttja lenses formed. After approximately 500 years (before 2000 cal. yr BP) water level decreased and sedge-wood peat formed and in some places already sphagnum peat started to form. Until 1400 cal. yr BP fen transition to rised bog takes place. At first *Sphagnum fuscum* peat dominate, later – before approximately 500 cal. yr BP in peat composition cotton grass appear and peat decomposition degree increase and before 300 cal. yr BP it increase up to 30% but after 100 years in peat composition *Sphagnum fuscum* again dominante and peat decomposition degree decrease. Pollen spectra, botanical composition and other microscopic remains indicate that climate before 3000 cal. yr BP deteriorate and is cool and moist.

4.3. Kalna Mire

Bottom of the mire depression is uneven and varies from 37 m to 40 m a.s.l. and consists of bluish grey clay and freshwater lime, pebbles and small shells, but on the direction to the bog edge from good sorted sand. Coring was carried out in the central part of the bog and results indicates that above the clay layer 0.5 m thick peaty gyttja layer formed and later was covered by different peat layers (Fig. 4.4.).

Age-depth model results indicate that approximately until 3500 cal. yr BP sediments accumulated with the intensity 0.8 mm/yr, later until 1800 cal. yr BP accumulation rate increase up to 1,25–2 mm/yr. In last 1000 years accumulation rate decrease to 1 mm/yr.

Taking into account analysis that were made to core „Kalna-07” sediments – botanical composition, spore-pollen and other microscopic remain analysis, bog formation and development was reconstructed (Table 4.2.).

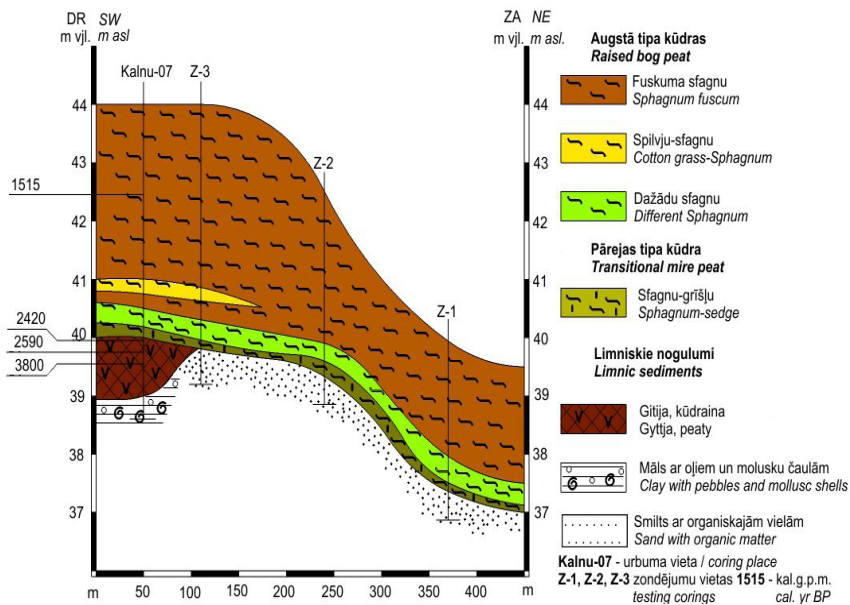


Figure 4.4. Geological cross section of the eastern part of Kalna Mire

4.4. Ķeru Mire

Soundings were made in 3 places in the north-eastern part of Ķeru Mire. Despite the fact that there are many impassable bog pools, that indicates that peat layers may have fractured, results of soundings did not reveal fractures of the peat layers and the boundaries between layers of different botanical composition were gradual (Kalniņa et al., 2008).

Depression of Ķeru Mire and surroundings in the researched area is relatively flat and deposit accumulation has been similar in entire mire area. In the deepest part of the depression above the coarse sand with organic matter dark brown gytija with plant remains and fine sand laminas (1–0.5 cm) accumulated, which indicates changing conditions in the hydrological regime of the shallow basin at the beginning of overgrowing, which according to the age-depth model may be estimated as taking place before approximately 1900 cal. yr BP.

Well decomposed (30–40%) fen type sedge-grass peat with gytija laminas has accumulated above gytija layer in the depth range of 2.25 to 2.4 m. This indicates that approximately 1,200 to 1,500 years ago during the time, when the basin was overgrowing moisture conditions and water levels were fluctuating. As a result of which in the area of the overgrown lake during some periods water has covered the fen peat layer and under alterations in the environmental conditions, a thin (1–2 cm) layer of peaty gytija has accumulated over the peat layer.

However, the relatively high degree of sedge grass peat decomposition indicates that the climate conditions have mostly been dry with low ground water levels and good conditions for plant decomposition (Table 4.3.).

Transition type *Sphagnum*-wood peat with good decomposition (25–40%) is accumulated higher in the section, whereas above it in the depth range of 1.9 m to 1.55 m raised bog type *Sphagnum*-cotton grass peat with alteration of lighter and darker brown laminas accumulated 750–990 years ago. Peat in this interval is less decomposed and (15–20%) in comparison with underlying transition type peat. The upper part of Këru Mire is represented by 1.55 m thick raised bog type *Sphagnum* peat. At the depth interval 0.60–0.80 m remains of *Sphagnum Magellanicum* is dominated in peat botanical composition formed before 230–330 cal. yr BP. Peat decomposition is very low and changes from 5% to 10%. The formation of this low decomposed layer of *Sphagnum Magellanicum* has been established before 290 to 300 years, possibly during the coldest part of the Little Ice Age.

4.5. Puikule Mire

Several corings have been made in Puikule Mire in order to find a place where both gyttja and widest variety of peat has been accumulated in order to track changes in the sediment accumulation conditions. Also it was important that sediment samples are from the highest part of the bog dome where peat layers are less disturbed. Since it was intended to use the results of previous studies (Vetreņņikovs, Golubecs, 1989), it was important to choose the coring place on one of the profile lines from earlier studies. Suitable place was found on the bog dome on the profile line to the west of Purezers Lake.

At the beginning of Puikule Mire development most likely an open, shallow basin may have existed previously, accumulating the surrounding waters, from hypsometrically higher areas. The fact that the lake before 8400 cal. yr BP was oligotrophic (nutrient-poor) is witnessed by the presence of algae *Pediastrum kawraiskyi* found at the bottom of the sediment layer. The lake existed in such condition for a very short time, because a sharp increase in other algae (*Pediastrum boryanum*, *Pediastrum integrum*), which propagate under improved climatic conditions and with lake water becoming richer in nutrients is observed simultaneously.

Lake overgrowth possibly progressed very rapidly. The results of the botanical composition indicate that grass-sedge peat formed on the thin gyttja layer already before 8400 cal. yr BP. Also fen existed very short time period – approximately 100 years. Transitional mire peat started to accumulate before approximately 7900 cal. yr BP, which after 140 years was covered with raised bog peat. Mostly from 6500 cal. yr BP up to the present day different raised bog type peats (cotton grass-Sphagnum, Sphagnum-cotton-grass, Sphagnum fuscum or cotton grass peat) continue to accumulate (Table 4.4.).

Bog type peat accumulation was fastest in the period starting from 4500–2500 cal. yr BP, when during 2000 years thick peat layer with a lower degree of decomposition in cool and wet conditions accumulated even up to the thickness of 2.20 m, because under cool and wet conditions the decomposition of plants occurred more slowly, resulting in relatively quick accumulation of poorly decomposed bog peat.

Birch pollen curve before 8400 cal. yr BP reaches its maximum, indicating 8.2 event. Later during HTM any moist condition indicators – testing amoebae or algae have not been found indicating dry conditions. Sporadic moisture and drought indicator amoeba presence in the sediments starting from 4200 cal. yr BP tells of periodic groundwater level fluctuations during the development of the bog.

Table 4.1. Reconstruction of Zilais Mire development and sediment formation conditions

Cal. yr BP	Depth, m, peat type, botanical composition (decomp.degree, %)	Description of pollen zones	Non-pollen remains	Development of Zilais Mire and deposit formation conditions
0	0.00-0.50 m Raised bog type <i>Sphagnum fuscum</i> peat (8%)	(Z-6) Pine dominate ~ 43%, spruce 15%, birch 15%, alder 10%, small amount of broad-leaved tree pollen, heather 10%, grass (5%).	<i>Empophyscis lobata</i> fungi remains that grows in wet Scheuchzeria peat, also on <i>Oxycooccus palustris</i> , <i>Polytrichum</i> spec. and <i>Erica tetralix</i> . <i>Gelasinospora</i> sp. and <i>Type 10</i> fungi.	Cool and humid climate, fluctuating water level in the bog.
100	0.50-0.60 m Raised bog cotton-grass- <i>Sphagnum</i> peat (30%)	(Z-5) alder, birch 20-25%, spruce 10-15%, pine 15-20%, elm 2-5%, linden, hornbeam and oak ~2%, heather 25%.		Relatively dry conditions.
200	0.60-1.00 m <i>Sphagnum</i> -cotton-grass (15%)	(Z-4) Pine 43%, alder pollen curve falls in the middle part (from 20 to 5%) and then gradually rise up to 20%. Spruce (~20%) and birch (~25%) pollen curves fluctuate, small amount of broad-leaved tree pollen. Grasses ~5%, sedge ~5%. Small amounts of <i>Filipendula</i> , <i>Rumex</i> and aquatic plant pollen. Heather and crowberry forms constant pollen curves.	Fungi <i>Microtrichium</i> spec. (grows on aug.uz Scheuchzeria or cotton-grass); <i>Amphitrema flavum</i> ; insect remains.	Humid and cool conditions.
300	1.00-1.90 m Raised bog type <i>Sphagnum fuscum</i> peat (10%)	(Z-3) Several maxima of birch pollen curves: 2800 cal. yr BP - 35%, 1800 cal. yr BP - 40% and 1200 cal. yr BP - 35%. Pine pollen curve 20-25%; spruce 5%-20%. Small amount of all broad-leaved tree pollen. Constant curve forms heather and crowberry pollen. Grasses 5-7%, sedge 7-10%.	<i>Type 10</i> fungi spores that grows on heather and indicates relatively dry conditions. Before 1200 cal. yr BP - maximal concentration of charcoal dust.	Fluctuating water level in the bog. Charcoal dust indicate intensive natural or human-induced fires.
400	1.90-2.10 m Transitional mire type wood peat (20%)		Increase concentration of charcoal dust.	Transitional stage from fen to bog take place in cool and moist climate conditions.
500	2.10-2.30 m Transitional mire type sedge-wood peat (30%)		<i>Amphitrema flavum</i> and <i>Nehela mitlaris</i> amoeba; insect remains; <i>Empophyscis lobata</i> fungi remains.	Fluctuating water level; in some places appears dry conditions. Also appear natural or human-induced fires.
600	2.30-2.65 m Fen type reed peat with gyttja interlayers		Insect remains (up to 10%); fungi spores and pollen.	Significant fluctuations in water level lead to formation of small gyttja interlayers.
700	2.65-2.85 m Fen type wood-sedge peat (35-45%)	(Z-2) Sharp increase of birch pollen curve up to 35%, alder 10-30%, maxima of willow (10%). Considerably decrease amount of broad-leaved tree pollen. Appear heather and crowberry pollen. At the end of the zone increase amount of grass pollen, amount of birch pollen and charcoal dust decreases.	Before 2800-2900 cal. yr BP fungi spores, pine and spruce <i>priza</i> stomata, pollen of aquatic plants. Appears charcoal dust. Eroded pollen (spruce and pine) appears at the bottom of the peat layer.	Deterioration of climate conditions, broken pollen indicates very dry conditions or erosion at the beginning of this layer formation.
800	2.90-2.95m Fen type wood-grass (60%)	(Z-1) Maximum is reached by Linden tree 16%, alder 45% and hazel 12% pollen. Oak pollen (5%) and elm (5%), sedge ~5% appears cultivated plants form stable continuous curve. Among spore-bearing plants fern spores dominate reaching 80%.	Algae and eroded pollen.	An overgrown water basin, fen starts to form.
900	2.95-3.10 m Gyttja with plant remains		Insect remains; before 3270 cal. yr BP (3.05m); <i>Type 179</i> copepod microscopic remains.	Shallow, eutrophic and open water basin that gradually start to overgrow. Eroded pollen indicates temporary dry conditions. Linden tree stands dominate in landscape. Linden prefers moist and warm climate conditions.
1000	3.10-3.15 m Coarse sand with organic matter			
1100				
1200				
1300				
1400				
1500				
1600				
1700				
1800				
1900				
2000				
2100				
2200				
2300				
2400				
2500				
2600				
2700				
2800				
2900				
3000				
3100				
3200				
3300				
3400				
3500				

Table 4.2. Characteristics of Kalnu Mire development and deposit accumulation conditions

cal.yr BP	Depth, m, peat type, botanical composition (decomp.degree, %)	Pollen zones	Non pollen remains	Development of Kalnu Mire and reconstruction of deposit formation conditions
0	Depth, m, peat type, botanical composition (decomp.degree, %)	(K-7) Pollen of pine dominates (35%), dwarf shrubs (25%), birch (15-2.5%), disappear pollen of broadleaved trees.	Remains of <i>Entophycitis lobata</i> found.	Conditions similar to the present day, where in the landscape is pine, heather and moss are dominated.
100		(K-6) Birch 30%, heather 17%.	<i>Limnizetes onnidaga</i> soil mite, which also points to the rising water levels and the presence of pools. <i>Entophycitis lobata</i> .	Climate deterioration, and possibly Little Ice Age conditions
200		(K-5) birch pollen curve sharply decrease (10%) increase number of heather pollen (40%).	Remains of <i>Entophycitis lobata</i> found.	
300		(K-4) sharply increase amount of birch pollen 40% charcoal dust.	<i>Canthocamptus</i> spermatosporas amoeba, <i>Entophycitis lobata</i> fungi remains, <i>Limnizetes onnidaga</i> .	
400			<i>Limnizetes onnidaga</i> soil mite.	
500	Not amoeba or fungi are not found.			
600	0.00-3.00 m Raised bog Sphagnum fuscum peat (10%)	(K-3) Dwarf shrub (heather and other Ericales plant) pollen dominate, trees are represented by pine 10-40%, birch 20-40%, spruce 5-30%, still small number of broadleaved pollen are found. Continuous curve form values of eroded spruce and pine pollen.	<i>Canthocamptus</i> spermatosporas, <i>Entophycitis lobata</i> .	The raised bog with hummocks and pools and changing water levels. Erosion of pollen may be an indication of short-lived and very dry conditions.
700				
800				
900				
1000				
1100				
1200				
1300				
1400				
1500				
1600	3.25-3.50 m Raised bog Sphagnum fuscum peat (15%)	(K-2) Grasses 15-20%, spruce 15-30%, pine 15-25%, birch 15-35%, hazel 5%, small amount of broadleaved pollen, fragmentar curves formed by heather and crowberry pollen curves, as well as cultivated plant pollen curve, increase number of charcoal dust.	<i>Amphinema flavum</i> amoebic covers show oligotrophic and wet, Entophycitis lobata fungi remains, mineral grains.	Begins to form transitional mire, Fungi remains indicate dry conditions locally during raised bog type peat formation.
1700				
1800				
1900				
2000				
2100	3.50-3.75 m Transitional mire type different sphagnum peat (30%)	(K-1) Birch pollen dominates in the lower part of zone and reaches 45%, alder 50%, elm, oak, hornbeam, linden tree 1-5%, hazel 5%, spruce 5%, pine 10-15%, grasses ~10%, fern spores	<i>Canthocamptus</i> spermatosporas which indicate the presence of open water.	The water level to drop, start to develop fen, where reed-sedge peat were formed. An an intense human agricultural activities have been recognised and start of agricultural development.
2200				
2300				
2400				
2500				
2600				
2700				
2800				
2900				
3000			4.00-4.50 m Gyt(j)a, peaty, dark brown	
3100				
3200				
3300				
3400				
3500	4.50-5.25 m Clay with freshwater lime, pebbles and shell fragments			Shallow waterbasin.

Table 4.3. Reconstruction of Keru Bog development and deposit accumulation conditions

cal.yr BP	Lithology (decomposition degree %)	Pollen zones	Development of Keru mire and reconstruction of deposit formation conditions
0	(0.00-0.60 m) Raised bog type <i>Sphagnum fuscum</i> peat (5-10%)	(KR-7) Pine, birch and grass pollen amount increase and broadleaved tree pollen amount decrease.	Cool climate.
	(0.60-0.80 m) Raised bog type <i>Sphagnum Magellanicum</i> peat (5-10%)		
500	(0.80-1.55 m) Raised bog <i>Sphagnum fuscum</i> peat (5%)	(KR-6) Spruce pollen amount increase and birch pollen amount decrease.	Approximately before 400-550 cal. yr BP climate continues to deteriorate that can be possibly linked to first part of Little Ice Age. Then before 350-420 cal. yr BP climate ameliorate and again deteriorate before 250-320 cal. yr BP, possibly indicating the second part of the Little Ice Age.
		KR-5 Pine, birch and grass pollen curve rise and fall of the broadleaved tree pollen curve	Cooler conditions in comparison with deposit formation conditions in previous interval
	(1.55-1.90 m) Raised bog type <i>Sphagnum fuscum</i> peat (15-20%)	KR-4 Spruce pollen curve maxima, oak and sedge pollen curve rise, decrease of <i>Sphagnum</i> spores. Birch and alder pollen curves fall, broadleaved tree pollen has uninterrupted curves. At the depth interval 1.65 m maximum of charcoal dust, afterwards sharply decrease spruce and broadleaved pollen curves.	Pollen spectra indicates climate amelioration before 800 to 1000 cal. yr BP. Intensive human activities.
1000	(1.90 - 2.25 m) Transitional mire type <i>Sphagnum</i> - wood peat (25-35%)		
	(2.25-2.40 m) Fen type sedge-grass peat (35-40%)	KR-3 Dwarf shrub pollen and <i>Sphagnum</i> spores curves increase; Polyodiaceae spore curve decrease. Sedge pollen curve also in this zone is stable. At the depth 1,95 m pine pollen curve reaches first maxima (45%).	Changing moisture conditions that resulted in high water level and thin (1-2cm) gyttja layer accumulation above the peat layer. High decomposition degree of the peat layers indicates that mostly climate conditions were dry and water level was low forming favorable conditions for plant decomposition.
		KR-2 Birch and grass pollen curves dominate.	Deterioration of the climate conditions and probable cold event before 1450 to 1650 cal. yr BP
1500			
2000	(2.40-2.75 m) Gytija		Relatively warm and moist climate, continuation of basin overgrowing
2500			
	(2.75-3.00 m) Sand		Changing conditions at the basin hydrological regime and beginning of overgrowing.

Table 4.4. Puikule mire development and sediment accumulation conditions

Cal. yr BP	Depth, m, peat type, botanical composition (decomplectere, %)	Description of pollen zones	Description of REVEALS zones	Non pollen remains	Development of Peatrate Mire and deposit formation conditions
0					
500	0.00-1.10 m Raised bog, <i>Sphagnum fuscum</i> peat (15%)	(PKU-8) Birch pollen dominate 30-50%, increase amount of alder pollen up to 15%, grass pollen up to 10% and heather 5-15%. Sedge decrease to 2%.	R-PKU-4 Heather 40-50%, birch 15-25%, pine 20%, grasses 10-15%, sedge 10%.	(PKU-N-7) Several <i>Arcella arctica</i> <i>Amphitrema flavum</i> an <i>Asutina muscorum</i> amoeba.	Low water level in the bog, in landscape dominate heather, pine, birch and sphagnum.
1000	1.10-1.35 m Raised bog, cotton-grass peat (35%)	(PKU-7) In the lower part of the zone pine pollen dominate 30%, upper part - spruce 45%.	R-PKU-3 Spruce 50-60%, birch 15-20%, pine 5-10%, elm 5%, linden 5%, grasses 5%, sedge 1%, cultivated plants 5%.	(PKU-N-6) <i>Amphitrema flavum</i> amoeba dominate, smaller amounts of <i>Arcella arctica</i> and <i>Asutina muscorum</i> amoeba.	Cool and humid conditions, especially before 1200 ka.g.p.m.
1500					
2000	1.35-5.50 Raised bog <i>Sphagnum fuscum</i> peat (15%)	(PKU-6) Birch pollen dominate 20-40%, pine 10-25%, alder 10-25%, spruce 10-25%, hazel 5%, oak 3%, linden 2%, heather 7%.		(PKU-N-5) Dominant gen <i>Amphitrema flavum</i> , gen <i>Asutina muscorum</i> , medium sized <i>Arcella arctica</i> and <i>Asutina muscorum</i> amoeba.	
2500					
3000	3.50-4.40 Raised bog <i>Sphagnum fuscum</i> -cotton grass peat (15%)	(PKU-5) Sharply increase amount of spruce pollen 40% at the middle part of the zone (3100 cal. yr BP) spruce curve rapidly falls to 10% and then again increases to 40%. Birch pollen curve fluctuate from 20-40%, alder 10-25%, pine 5-25%, oak 2-7%, linden tree 2%, ash tree 1%, willow 3%, juniper 1%, hazel pollen curve reach 40% at the beginning of the zone and 10% at the end of the zone.		(PKU-N-4) No amoeba and algae.	Water level significantly decrease.
3500	4.40-4.50 m Raised bog cotton-grass- <i>Sphagnum fuscum</i> peat (15%)			(PKU-N-3) <i>Asutina muscorum</i> dominates, smaller amounts of <i>Amphitrema flavum</i> , just some <i>Arcella arctica</i> amoeba.	Cool and humid conditions, raised bog type peat continue to accumulate.
4000	4.50-5.00 m Raised bog <i>Sphagnum fuscum</i> peat (15%)				
4500	5.00-5.30 m Raised bog <i>Sphagnum fuscum</i> -cotton grass peat (45%)				
5000	5.30-6.00 m Raised bog cotton-grass- <i>Sphagnum fuscum</i> peat (40%)				
5500	6.00-6.25 m Raised bog cotton-grass peat (50%)	(PKU-4) Alder 32%, hazel 29%, elm 10% and linden tree 10% pollen curves reaches their maximum. At the end of the zone <i>Cornus</i> pollen appears, increase amount of ruderal pollen, grasses 2-5%; amount of <i>Sphagnum</i> species reach up to 85%; small amount of aquatic plants pollen.	R-PKU-2 In landscape grasses dominate 10-40%, cultivated plants reaches maximum 10% distribution. In tree composition broad leaved tree dominate: elm 15-20%, linden 15-20%, hazel 15-25% at the end of the zone (-5000 cal. yr BP) heather dominate - 40%.	(PKU-N-2) No amoeba and algae has been found.	Dry and warm climate, beginning of agricultural activities at the ending part. Well decomposed raised bog peat layers accumulated. Holocene Thermal Maximum with maximal distribution of forest-level trees and grasses.
6000	6.50-6.85 m Raised bog cotton-grass peat (50%)	(PKU-3) increase amount of birch pollen (24%+2%), elm and hazel pollen curves falls, increase linden pollen amount, alder 20%.			Relatively rapidly (in 600 years) fen turns into a raised bog.
6500	6.85-7.20 m Transitional type wood-cotton-grass peat (50%)	(PKU-2) Sharply increase hazel pollen amount (20%), significantly increase and reach its maximum amount of grass pollen (up to 25%).			Climate amelioration; open landscape; rapid overgrowing of the lake and fen start to develop.
7000	7.20-7.65 m Fen type wood-sedge peat (50%)				
8000	7.65-7.75 m Fen type sedge-grass peat (50%)	(PKU-1) Birch pollen maximum 65%, pine subdominate 30%, grasses 5%.	R-PKU-1 Birch dominate 50%, pine just 18%, significant amount of hazel 20%	(PKU-N-1) <i>Pediastrum boryanum</i> , <i>P. laanwijkii</i> , <i>Phragmites</i> , <i>Boryoceros</i> <i>Iranium</i> and <i>Chaetocera</i> (<i>Dopatina</i> sp.) remains.	Oligotrophic water with low temperature and alkaline environment. Cold 6.2 event.
8100					Climate amelioration, open and rich in nutrients water basin.
8200	7.75-7.87 m Peaty gavia				
8300	7.87-8.00 m Sandy till				
8400					

5. DISCUSSION

Identifying, analysing and evaluating published and unpublished information on the composition of the Holocene organic sediments and records on changes in deposition conditions in the bogs of Latvia and Estonia, as well as the results obtained from palaeobiological studies at the selected investigation sites in Northern Vidzeme, provide evidence of changing Holocene sediment accumulation conditions. The results of this study were compared with the results of studies carried out in mires in Southern Estonia: Nigula Bog (Sarv, Ilves, 1976), Parika Mire (Niinemets et al., 2002), Verijarv Lake (Niinemets, Saarse 2006), as well as bogs in the Hanja Upland (Saarse, Rajamae 1997) and the central (Kangur et al., 2009; Terasmaa et al., 2013) and eastern parts of Latvia (Heikkilä, 2010; Losan, 2004).

5.1. Development of mires and changes in deposit formation conditions

The mires studied in the doctoral thesis began to develop at different times in the Holocene. Careful analysis of the data of field and laboratory studies and information obtained by repeated palaeobotanical analyses allow to conclude that the depressions of the studied mires located between the Baltic Ice Lake shorelines after the Baltic Ice Lake regression most likely were dry, and deposits were not accumulated there. In the hypsometrically lower mire depressions (Zilais Mire – 34.5 m above the sea level, Ķeru Mire – 35.4 m above the sea level), peat was accumulated on lake sediments, represented by coarse to medium-grained sand. In the Kalna Mire depression, located 39.5 meters above the sea level, peat formation started on light grey-blue, washed-out, clayey calcareous till (Kalnina et al., 2008; Ozola et al., 2012). In all three mires, an about 0.5 m thick sandy and peaty gyttja layer has formed over mineral deposits in the deeper parts of the depressions. When raised bog peat started to form and the mire started to grow horizontally as well, peat started to form also on sand, as seen, for example, in Ķeru Mire.

The depressions of Zilais Mire and Kalna Mire are located at different elevations above the sea level. However, gyttja in both depressions started to accumulate almost simultaneously. In Zilais Mire, gyttja started to form earlier, i.e. around 3460 cal. yr BP in Kalna Mire – before 3350 cal. yr BP, whereas in Ķeru Mire it started to accumulate significantly later, i.e., about 2600 cal. yr BP, when the shallow basins in the depressions of Zilais Mire and Kalna Mire had already been completely overgrown and the transition type or raised bog peat had already been forming. The results of the spore-pollen and plant macroscopic remain analysis allow to conclude that aquatic plants and algae grew in the shallow basins during the accumulation; in addition, remains of the crustacean

fauna (Cladocera) were found. This suggests that water filled the depression not only seasonally. The results of sediment dating and the depth-age model data suggest that the shallow pools of the studied bog depressions have been there for about 500 years in Zilais Mire and Kalna Mire, whereas the shallow basin in the depression of Ķeru Mire – for about 1,200 years. The results of the study indicate that the organogenic deposits in these mire depressions have formed only during the Late Holocene.

The spore and pollen spectra reflect the development of the Late Holocene vegetation in Northern Vidzeme, allowing to recognise a number of warmer and cooler periods. In the lower part of the pollen diagrams from Zilais Mire and Kalna Mire, the deposits reflect a rise in alder and broad-leaved tree (linden in particular) pollen curves, suggesting a relatively warm and humid environmental conditions. In the sediments that have accumulated before the 2600–2800 cal. yr BP, in turn, a larger quantity of birch, and herb pollen was detected, while broad-leaved and other warm-loving plant pollen decreased in quantity, allowing the identification of a cooling episode during that period.

Similar changes in the vegetation composition and environmental conditions are also evidenced by the palaeobiological data obtained by analysing the deposits accumulated during the period of the 290–600 cal. yr BP, which can be identified as records reflecting changes in vegetation caused by the Little Ice Age events. In the pollen spectra of this time from the deposits of Ķeru Mire, two cold episodes can be distinguished that are separated from each other by a spruce peak, accompanied by rising broad-leaved pollen curves in the diagram. These events are relatively comparable with the climate fluctuations of the Little Ice Age, which is marked by two cold episodes that are separated from one another by a brief warmer episode before cal. yr BP 380–410 (Bradley et al., 2003).

5.2. Changes in deposit accumulation rate in the Holocene

Until now, it was considered that the most intense peat accumulation took place during the Atlantic Time, which was the warmest and most humid Holocene time span (Bamberg, 1997; Segliņš, 2001a). Analysis of the study results and the calculation of peat growth rate using the CLAM model in R program indicate that the most intense peat accumulation took place over the last 2500 years (Table 5.1). However, it should be noted that the calculated values are approximate, because they are based on a small number of dating that are for the most part interpolated using the CLAM age depth model.

The assessment of the results show that the peat layer at Puikule Mire (Table 4.1) had been increasing by 0.7 mm per year during the HTM, while the most intense peat accumulation began after the HTM, the maximum peat accumulation rate reaching 1.4 mm / y in the period of 1500–2500 cal. yr BP.

Table 5.1. Comparison of deposit accumulation intensity from calculated data of study sites

	Pantene Mire	Puikule Mire	Zilais Mire	Kalna Mire	Çeru Mire
Cal. yr BP	mm/yr	mm/yr	mm/yr	mm/yr	mm/yr
0–100	0,31	1,1	2	1	2
100–500	0,31	1,1	1,4–2	1	2
500–1000	0,31–0,32	1,1–1,25	1–1,4	1–1,25	1,4–2
1000–1500	0,32	1,25–1,4	0,8–1	1,25–2	1,1–1,4
1500–2000	0,32	1,4	0,6–0,8	2	1,1
2000–2500	0,32	1,4	0,6	1,1–2	
2500–3000	0,33	1,25	0,56	0,8–1,1	
3000–3500	0,30–0,33	1,1	0,56	0,8	
3500–4000	0,30	0,9–1,1	0,56	0,8	
4000–4500	0,30–0,36	0,8–0,9			
4500–5000	0,36–0,37	0,7			
5000–5500	0,37–0,38	0,7			
5500–6000	0,38–0,4	0,6			
6000–6500	0,4	0,6			
6500–7000	0,4	0,6			
7000–7500	0,4–0,5	0,6			
7500–8000	0,5	0,6			
8500–9000	0,6–0,7	0,6			
9000–9500	0,7–0,8				
9500–10000	0,8				
10000–10500	0,9				
10500–11000	0,9				
11000–11700	0,9				

The highest detected rate of peat growth in Kalna Mire took place in 1000–2500 cal. yr BP. During this period, Çeru Mire also started to develop. If the HTM were warm and humid, that would be the best time for new mires to form; albeit, the study does not confirm this. Zilais Mire and Kalna Mire began to form right in the end of the HTM, which is a possible indication that the HTM climate was drier after all, and mires began to develop owing to increasing rainfalls, rising of the groundwater level and formation of rather wet conditions that promote intense peat accumulation and mire formation.

In order to determine whether the peat accumulation rate was significantly higher during the Late Holocene compared to the HTM and whether this accumulation was of a local or regional nature, analysis of the data from the studies of closest Estonian mires with deposit dating was performed (Sarv, Ilves 1976;

Niinemets, Saarse, 2002). Data from the Parika Mire in the south-eastern part of Estonia show that the most intense peat accumulation (1.5 to 1.6 mm / year) has occurred from 1600 cal. yr BP until nowadays and the slowest (0.4 mm / year) – from about 5800 to 7600 cal. yr BP. The reason for relatively low peat accumulation intensity during the Atlantic Time, when the climate was generally warm and humid, according to E. Niinemets (2002), is the lowering of groundwater level. L. Saarse and S. Harrison (Saarse, Harrison, 1992) have reconstructed the lake level changes in the Eastern Baltic region and found that the water level in the lakes in Estonia significantly lowered before 6500–7500 cal. yr BP. The noticeable increase of peat growth rate in the upper layers of mires, in turn, can be partly explained by a minor peat compaction and the fact that the climate for at least the last 150 years has become wetter (Niinemets, Saarse, 2002).

The peat accumulation dynamics in Puikule Mire was similar. The slowest peat accumulation rate was from 4500–8000 cal. yr BP – 0.6 mm / year, but favourable conditions for rapid accumulation of peat occurred there slightly earlier than in Parika Mire, i.e. before 2500 cal. yr BP, with the rate of 1.4 mm / year. However, these calculations are approximate as they do not take into account the deposit compaction, which affects the deeper layers of peat (von Posts, 1924, Nomals, 1930b; Markots et al., 1993).

Pantene Mire is a fen, and peat had been accumulating there slower than in raised bogs. Nevertheless, peat growth rate changes can be observed also in this mire. In comparison with the studied raised bogs, in Pantene Mire, more intense peat accumulation occurred during the HTM and reached 0.3–0.5 mm per year. Similar peat accumulation rates were observed in some other fens that formed in the depressions of the morainic relief, like Taurene Mire (Silamiķele, 2010).

The investigation results from the raised bog deposits and their analysis suggest that the peat decomposition and estimated accumulation rate during the HTM was lower than in the late Holocene, indicating that the climate was dry and warm.

5.3. Stratification of the Holocene deposits

Holocene sediment stratification in Latvia during the 20th century was mainly based on the pollen analysis data. Since the work of M. Galeniece about Latvian bog and forest development in the Post-glacial age published in 1935 (Galenieks 1935), the unified regional scheme developed by L. von Post, which he had drawn up on the basis of mire studies in Gotland, was also used in Latvia (Segliņš, 2000). This scheme relies on pollen spectrum changes, as well as on peat botanical composition and decomposition level changes.

In the last decades of the 20th century, the Blytt-Sernander scheme was widely used, because it allowed for subdividing the Post-glacial age into more detailed hronostratigraphical zones, thus serving as an indirect or relative dating

method (Birks, Seppä, 2010). The development of the Holocene sediment investigation methodology increased the possibility to obtain more precise data, and a discrepancy emerged between the Blytt-Sernander scheme and the modern views of Holocene climate changes and their impact on geological processes. Seppä and Birks (Birks, Seppä, 2010) emphasise that the Blytt-Sernander scheme does not correspond with the current knowledge of the climatic condition of the relevant period – warm and dry Subboreal period and warm and humid Atlantic Time.

At present, radiocarbon dating techniques are widely used in research, which, together with various analytical data (pollen, plant macroremains, diatoms, etc.), make it possible to define the Holocene environmental change timeline with considerable precision. Comparison of the Holocene stratigraphic division proposed by various scientists, taking into account the time scale and its subdivision in ^{14}C years and calendar years before the present, is shown in Table 4.2.

5.3.1. The Early Holocene

In order to compare the pollen data of this study with the data obtained in adjacent areas, the latest research data from studies in Estonia (Niinemets, Saarse 2006, 2009) and south-eastern part of Latvia (Heikkilä, 2010, Heikkilä, Seppä, 2010) were used.

Organic sediments accumulated in Pantene Mire in the beginning of the Holocene are represented by gyttja. In the old shallow bay of Burtnieks Lake, in turn, calcareous gyttja was formed during that time. The pollen spectra characterising the Early Holocene in the pollen diagrams of the sediment transects from the vicinity of Lake Burtnieks indicate a wide distribution of pine, birch and grass (Ozola et al., 2009; Ozola et al., 2010 a, b). A vegetation composition of a similar character is also reflected in the Lake Kurjanova sediment pollen composition (Heikkilä, Seppä, 2010). Low values are represented by alder (1.7%), willow (2%) and spruce (1%) pollen. Spruce pollen and stomata indicate that spruce has grown in the Eastern Baltics region since the Upper Dryas (Heikkilä et al, 2009); however, these pollen values are low or non-existent for the period of the Early Holocene. Elm, hazel and ash pollen was found in the sediments from Kurjanova Lake (Heikkilä et al, 2009) and Verijarv Lake (Niinemets, Saarse, 2007), as well as in those from the transects of Pantene bog researched by this author. Admittedly, there is no clear evidence of the presence of elm and ash in the forest composition of that period.

The pollen content in the sediments that had accumulated in Northern Vidzeme during the period from 8200 to 9200 cal. yr BP indicates that vegetation then was still dominated by pine (40–50%) and subdominated by birch (34%); in addition, broad-leaved trees were gradually increasing as well. Birch pollen has higher values (45%–55%) in the composition of Kurjanova Lake sediment spectra than in those from Northern Vidzeme.

5.3.2. Evidence of cold event before 8200 cal. yr BP

An 8.2 event (Alley et al. 1997, Overpeck, Cole 2006) is a cold period 8200 calendar years ago (von Grafenstein, et al., 1998; Yeloff, et al., 2007), during which the temperature rapidly decreased just before the start of the climatic optimum. In the Baltic region 8200 years ago, alder, hazel and elm, pine, birch and spruce were widespread. This kind of vegetation is sensitive to colder winters and later onsets of spring, and it is present also in the pollen diagrams of the Baltic region (Heikkilä, Seppä, 2010). Also in the pollen diagrams of Northern Vidzeme, this cold spell is clearly expressed by the increase in the pollen percentage for birch and temperate tree (alder and hazel) species (Veski et al. 2004; Niinemets, Saarse 2007; Seppä et al. 2007) and the reduction in broad-leaved tree (elm and lime) pollen. In the transects researched in the dissertation, the 8.2 event was detected in three boreholes. It was not detected in the other three boreholes, because the sediments there are not that old.

Features of the 8.2 cold event related to the Preboreal or Boreal periods have been identified in a great deal of the Holocene mean pollen diagrams developed by V. Segliņš for *Nature Areas of Latvia* (Segliņš 2002). Rise of the birch pollen curve for this interval appears in the mean pollen diagrams from the Vidzeme coastal area, Zemgale Plain, Northern Kursa and Eastern Kursa Uplands, Coastal Lowland, Taurkalne Plain, Latgale Upland, Alūksne Upland and Andzele Rise. Furthermore, a sharp increase in the birch pollen curves for the Boreal period was found in the Holocene mean pollen diagrams of the Metsepole Plain, Rigava Plain, Vadakste Plain, Pieventa Plain, Limbaži Undulating Plain, Burtnieks Plain, Middle Latvia gentleness, Vidzeme Upland, Trapene Plain, Selia interlobate hilly ridge, Aknīstes gentleness, Lubāns Plain and Abrene gentleness. In both of the latter cases, the rise of birch pollen curves is followed by a sharp rise in broad-leaved tree pollen curves.

In Puikule Mire, the 8.2 event is marked by a rapid increase of birch in gyttja sediments – up to 60%, and a small rise in the spruce pollen quantity, whereas the amount of grass pollen reaches 10%. After the 8.2 event, grass-sphagnum peat started to accumulate, and the amount of hazel pollen in the diagrams accordingly increases rapidly, and the amount of broad-leaved tree pollen also starts to increase. This event also provides for an opportunity to verify the accuracy of ¹⁴C dating in the depth of 8.00 m to 7.75 m, where birch pollen is present. The sediments are dated from 8300 to 8200 cal. yr BP, suggesting that the dating of the sediments of this interval are accurate. The opposite situation is observed in the Pantene Mire sediments, where the 8.2 event features are observed at the depth of 3.70 m in the form of a rapid increase in birch pollen (from 20% in the lower interval to 50%), hazel curve discontinuation, reduction in the amount of aquatic plants and increase in the amount of algae. However, the dating results show that this depth interval corresponds to approximately 8900 cal. yr BP. Given the fact that the reservoir effect of Burtnieks

Lake sedimentation is defined at 500 to 1000 years, these features, however, may still indicate the 8.2 event.

In the coring Pantene/Braukšas I-2007 done in Pantene Mire close to Stone Age settlement Braukšas I, records of the 8.2 event were observed in the depth of 3.25 m, where the birch pollen quantity rapidly increased (up to 40%). This birch peak is followed by the rise of broad-leaved birch pollen curves. This event changes the interpretation of the previous sediment research results (Ozola et al., 2010a, b), where this corresponding depth was identified with the middle Atlantic Time. Furthermore, in the west part of the mire, the borehole Ceriņi-2011, at the depth 4.00 m dated before 9200 cal. yr BP, shows an increase in mineral particles of up to 45%, which possibly indicates a decrease in vegetation and intensification of soil erosion, which also contributed to the leaching of minerals into the basin from the lake coastal area.

Similarly, there was an increase in the volume of carbonatic matter in the sediment composition, washed into the lake with groundwater or river water activities and then accumulated due to changes in temperature and pressure. In the sediments corresponding to this time, algae disappear and the amount of spherical particles increases with the supply of minerals. These records could indicate the 8.2 event; however, they are dated significantly before (1000 years) the 8.2 event. This could be explained by a radiocarbon dating deviation due to the reservoir effect, as the sediment samples were taken from the carbonatic gyttja layer. According to the results of the study, the Burtnieks Lake reservoir effect was defined as 500–1000 years. Similar features have been found in other sections, for example, in those from Parika Mire (the central part of Estonia, the north-western part of Lake Võrtsjärv) and Nigula Mire. In the pollen percentage diagram from the Parika Mire deposits (Niinemets et al., 2002), the features of the 8200 cold event also have been found. Similarly to the Northern Vidzeme mires, these features in Parika Mire have been found in much older sediments – about 10,200 cal. yr BP.

The features of cold 8.2 event in Nigula Mire pollen percentage diagrams Nigula I and Nigula II (Sarv, Ilves, 1976) have been recognized approximately before 9000 cal. yr BP, when amount of birch pollen reaches almost 90% from the total number of tree pollen. Approximately before 8400 cal. yr BP sharp increase in elm (10%), alder (50%) and hazel (25%) pollen volume, followed by rise in curves of other broadleaved pollen was established. Sharp birch pollen curve rise followed by increase in number of broadleaved pollen was established in pollen percentage diagram from Kūži Lake deposits at Vidzeme Upland (Kangur et al., 2009), however these features are also found before 9500 ¹⁴C yr BP.

The lowest maximum of birch pollen curve in Puikule Mire diagram has been stated approximately before 8200 cal. yr BP, what allow to consider, that this climate deterioration took place also in elsewhere in Northern Vidzeme

and decline in time of this event could be explained by reservoir effect, what influenced results of deposit dating.

There were analysed 32 pollen diagrams from Catalogue of Pollen diagrams from Latvia compiled by V. Segliņš (Segliņš, 2001) with aim to clarify whether 8.2 event is recognised not only in diagrams from sections investigated by author, but also in other diagrams from Northern Vidzeme. It was found that 8.2 event was established 2 pollen diagrams from studied sections by author and in 19 diagrams from earlier studies from Northern Vidzeme, where pollen spectra reflect vegetation since the beginning of the Holocene. Although, part of studied diagrams are started just with maximum of broadleaved pollen and they do not reflect conditions during the 8.2 event or diagrams include just very beginning of the Holocene. The birch curve maximum exactly before rise of broadleaved pollen curve rise in diagrams was reached in this survey.

5.3.3. The Middle Holocene

The boundary between the Early and Middle Holocene in studied is marked by cold 8.2 event, after which expressed increase in amount of broadleaved pollen is observed, while number of pine pollen decrease. These changes are less pronounced in Lake Kurjanova pollen diagram. Such changes in pollen amount are more similar to pollen diagram from Lake Verijarv from the southern part of Estonia (Niinemets, Saarse, 2009).

Whereas amount of spruce is similar those from Lake Kurjanova pollen diagram (10–15%) (Heikkilä, Seppä, 2010). Presence of spruce pollen suggest it distribution entire the Holocene, but in Northern Vidzeme pollen data show increase of it approximately before 7700 cal. yr BP. The maximum distribution according pollen data spruce pollen reaches during 3700–4200 cal. yr BP, along the decrease of broadleaved amount.

According pollen data from the Lake Kurjanova studies values of birch and pine pollen is very low (~10–15%) during the middle of the Holocene. Similar situation is observed also in Pantene Mire pollen diagrams, where birch pollen curve do not exceed 10%, while pine pollen values are in boundaries 20–30%. In other Northern Vidzeme pollen diagrams (Segliņš, 2001), for example from Taure Mire, Rūja Mire and Pantene Mire birch pollen curves varies 20–30%, but pine 20–25%. In Estonian (Niinemets, Saarse 2007, 2009) and Lithuanian (Kabailiene, 1998) pollen diagrams so low values are not observed. Segliņš (2002) point to that in total pollen spectra pine pollen is dominated most often. Only in rare cases number of pine pollen decrease below 40%, while values of birch pollen usually are in boundaries of 10–20%. Although, it should be taken in account diverse approach to pollen analysis, because until 1980ties it was stated to count 200 tree pollen per sample. Since that time at least 400 pollen have been counted for sample. Different approach is also used for calculation of pollen percentages. In earlier studies 100% was based on pollen sum of each group,

both 100 % for tree and shrub pollen, 100% for herb pollen and 100% for spores. Since 1980ties basic sum or 100% is assumed sum of all pollen, exclude aquatic plant pollen, which are of local significance.

In pollen diagrams deposit sections studied by author the Middle Holocene is characterised by such features:

- 1) The lowest part of HTM both Puikule Mire and Pantene Mire pollen diagrams during 6700–7000 cal. yr BP is characterised by expressed rise of hazel pollen curve rise and maximum (20–30%), which increase after 8.2 event.
- 2) In pollen diagram of Puikule Mire deposits maximums of hazel has been interrupted by sharp birch pollen curve raise (45%) during 6200 cal. yr BP. Similar changes in pollen spectra have been found also in pollen diagram of Malmuta section at the Lake Lubans (Segliņš et al., 1999).
- 3) The highest values of broadleaved pollen in diagrams from sections studied by author are characteristic for last part of HTM. Linden is culminating approximately before 5500 cal. yr BP, but in pollen diagrams from Verijarv and Kurjanova Lake sediments linden tree pollen curve is high during the entire HTM and culmination is not expressed, however one of maximum can be observed at this time.

Although for deposits from Tolli Mire are not dated, pollen data can be used for estimating of their relative age. Pollen spectra, which can be correlated to the Atlantic Time, allow to conclude, that during the time when broadleaved tree pollen reaches their highest values (to 10%), alder pollen reaches 20%, birch pollen mean values 30%, but spruce pollen curve reaches its second maximum (48%). High spruce pollen values are characteristic for whole section varies 20–50%. Peat During that time only 1.3 m thick peat layer was accumulated in comparison 3.7 m since after broadleaved maximum until present. Low peat accumulation intensity probably can point on dry climate.

5.3.4. The Late Holocene

Peat of changing botanical composition and decomposition degree of different types has been accumulated in the studied mires during the Late Holocene in the results of climatic changes. In mires formatted during the Late Holocene usually well decomposed (35–45%) fen type peat is accumulated on the gyttja layer. Fen type reed-sedge peat has been formatted in Kalna Mire, sedge-grass peat in Ķeru Mire and wood-grass and wood-sedge peat in Zilais Mire during the earlier stage of the Late Holocene. These mires are located close to each other, although their changes from fen type to raised bog stage occur during different time intervals. Earliest low decomposed raised bog *Fuscum-Sphagnum* type peat started to accumulate before 2100 years in Kalna Mire, but in Zilais Mire before 1400 years. The most latest raised bog formation among the studied

mires took place in Ҷеру Mire, where low decomposed raised bog type cotton grass-sphagnum peat was accumulated on transition mire type *Sphagnum observed um*-wood peat before 1000 years.

The lower boundary of the Late Holocene in pollen diagrams of Puikule and Pantene Mire, as well as, that of Kurjanova Lake (Heikkilä, Seppä, 2010) and in several diagrams of Lithuanian sites (Gaidamavicius, et al., 2011) is marked by spruce pollen curve rise and fall in broadleaved pollen curves before approximately 4700–4200 cal. yr BP, what conforms with boundary of the middle – Late Holocene proposed by scientists of Walker group (Walker et al., 2012). Such spruce pollen curve raise (up to 30%) has been observed also in Parika mire deposit pollen percentage diagram (Niinemets et al., 2002) before approximately before 4800 cal. yr BP. Such peculiarity has been recognised also in pollen percentage diagram of Puikule Mire deposits (Ozola, Ratniece, 2013), where at the level of 4500 cal. yr BP value of spruce pollen reaches 40%. Also in Nigula Mire pollen percentage diagram spruce pollen curve sharply rise before approximately 4800 cal. yr BP (Sarv, Ilves, 1976). Significant proportion of spruce pollen and gradual decrease of broadleaved pollen probably indicate of some climatic deterioration approximately before 4600 cal. yr BP and mark boundary between HTM and the Late Holocene.

Two spruce pollen maxima can be dividend in the intervals of pollen diagrams corresponding to the Late Holocene of investigated sites. Expressed lower spruce maximum has been established at level of 900–100 cal. yr BP in Puikule and Ҷеру Mire deposit pollen diagrams, but upper spruce maximum is recognised in the diagrams in the interval related to time approximately before 350–400 cal. yr BP. Both studied deposit section in this work and pollen diagrams from the Verijarv and Kurjanova Lake deposit in the Late Holocene interval broadleaved pollen still present, however in small numbers, which in diagrams form low, but still almost interrupted pollen curves give proof of presence of these trees.

Proportion of birch and spruce pollen increase approximately before 2700 years. During this time pollen of Cereals appear, as well as an increase of grass pollen proportion, which probably point on anthropogenic impact. In the sediments from Kurjanova lake this impact can be recognised in pollen spectra showing conditions before 2500 cal. yr BP. In Ҷеру Mire deposits number of cultivated plant pollen is low. Only several *Cereal* and hemp (*Cannabis*) pollen were found deposits of Ҷеру Mire which have been formed during 500–400 cal. yr BP, while in Kalna Mire deposits barley (*Hordeum*), wheat (*Triticum*) and hemp pollen were found in peat accumulated before 600–400 cal. yr BP. Large amount of birch and grass pollen and decrease in broadleaved and other warm demanding plant pollen number have been found. Such changes in pollen composition and values allow to recognize deterioration of climate during that time. On similar changes in environmental conditions point also data of palaeobiological

analyses of sediments formed during 290–600 cal. yr BP. In Ķeru Mire deposit section pollen spectra in diagram for this time allow to subdivide to cold event episodes, which one from other has been separated by spruce pollen maximum along to increase in values of pine and broadleaved pollen. In Kalna Mire the upper birch pollen maximum in its' middle part has been disturbed by rise of pine pollen curve. Such changes in pollen composition probably is caused by climate fluctuations during Little Ice age, where two cold phases are marked separated by short-term warm episode before 380–410 cal. yr BP (Bradley et al., 2003).

Decrease of tree pollen total sum, rise of dwarf shrub and herb pollen curves and increase in charcoal dust volume probably can be explained with climate deterioration, which possibly point on Little Ice Age. These features are better expressed in investigated raised bog pollen diagrams than in fen pollen diagrams.

5.4. Application of REVEALS model in palaeovegetation reconstructions

Reconstruction of vegetation development during the Holocene at Northern Vidzeme has been done according survey and interpretation of spore-pollen data from sediment sequences from five investigated mires (Ozola, Ratniece, 2012).

In Northern Vidzeme, like in the entire eastern Baltic region pine (*Pinus*), birch (*Betula*) forests and grasslands were distributed in the Early Holocene. Reconstruction from pollen proportions shows the distribution of forest and grasslands as ~72% and ~28% respectively. Forests reached their maximal expansion (~96%) before 5200–5700 cal. yr BP, when broadleaved trees dominated and shade-tolerant trees *Tilia* and *Ulmus* reached their maximum. Before 700–5200 cal. yr BP, forests covered 85–90% of the territory. Pollen percentage diagrams suggest that, in the last 100 years, forests covered 72% of North Vidzeme and meadows, pastures, crop fields and mires – just 28% (Ozola et al., 2012).

For the beginning of the Holocene (10,200–9200 cal. yr BP), the model shows a completely opposite situation to what is observed nowadays – for grassland distribution than in the vegetation reconstruction from pollen percentages: they covered 72% of the territory. Pine and birch dominated in the forests.

Before 8700–9200 cal. yr BP, the grassland proportion decreased, and shade-tolerant summer green trees as well as conifers spread out. This process can be explained by climate amelioration. Due to the 8.2 event – cooling in the Northern Hemisphere (Alley et al., 1997) during the next five hundred years (8200–8700 cal. yr BP) – there was a sharp increase in the distribution of *Betula*, covering almost 30% of the territory that can be explained with 8.2 event (Alley et al., 2005). At the same time, conifers covered 22% and grasslands

decreased to 39%. *Calluna vulgaris* appear in territory covering ~2% of area. Before 7700–8200 cal. yr BP, the distribution of *Betula* decreased to 17%, giving space to *Corylus* that reached its maximum density of 13%, and shade-tolerant summer green trees in general became increasingly prevalent in the landscape. Before 7200–7700 cal. yr BP, the distribution of shade-intolerant broadleaved trees declined – at the expense of conifer and grassland expansion. During the period 7200–5700 cal. yr BP, shade-tolerant trees continued to increase, reaching their maximum (almost 25%) in the time window 5200–5700. Consequently, grassland values in this period were strikingly low (~8%), pointing to a more closed landscape. These changes in vegetation proportions can be explained by the Holocene Thermal Maximum (HTM), when climate was warm and dry and temperatures in the southern Latvia rose ~2.5–3.5°C higher than present-day temperatures (Heikkilä and Seppä, 2010). Following that, broadleaved spreading sharply decreased and grasslands expanded.

Before 4700 cal. yr BP, the forest structure started to change due to the increase of *Picea* and decrease of broadleaved trees, although the values of the latter still remained high (~20%). Increase of *Picea* corresponds to the end of HTM. *Picea* reached its maximum (65%) in the next time window of 3700–4200 cal. yr BP, when forest distribution had its maximum of 85%. Then, the forest distribution gradually decreased to 65–75%. When temperatures began to approach those of today, forests changed correspondingly. Starting from 700 cal. yr BP, grasslands expanded, covering 50% of Northern Vidzeme.

The estimates of the REVEALS model from Northern Vidzeme have been compared with results from Southern Estonia (Sugita et al., 2008). The results of allow to conclude that in in pollen percentage diagrams from Northern Vidzeme pine pollen values are overestimated, for example, in palaeovegetation reconstruction of Northern Vidzeme before 9200–9700 cal. yr BP REVEALS show that pine value reaches 15%, whereas, pollen percentage values in diagram reaches 46%. It was find that pine distribution and values are overestimated also in other study sites in Northern and Central Europe (Marqer et al., 2011). Pine its' maximum in Northern Vidzeme reaches during 9200–9700 cal. yr BP. In Southern Estonia maximal values of pine pollen appear significantly earlier – before 10 500 cal. yr BP. Usually low values of pine pollen have been find during 7700–2200 cal. yr BP, which partly coincide with HTM. Both in Southern Estonia and Northern Vidzeme the lowest values of pine have been reached during the maximum of HTM before 6000–7000 cal. yr BP.

Detailed pollen data together with ¹⁴C datings and REVEALS modelling allow to reconstruct more correct vegetation composition and distribution patterns in comparison with the results obtained from pollen percentages, however it should be taken in account that percentage diagrams is still used in many investigations, therefore both types of pollen data interpretations should be used for vegetation development reconstruction.

CONCLUSIONS

The results of the studies undertaken in the frame of the thesis permit several important conclusions, and provide a deeper understanding of Holocene organogenic deposits and the changes of depositional conditions in wetlands, facilitating the stratification of deposits in five bogs of Northern Vidzeme.

In the depressions of Puikule and Pantene Bogs, gyttja formed during the Early Holocene as a result of the eutrophication of shallow water-bodies. The composition of the gyttja shows a great diversity of faunal and floral remains, including a range of algae: the green algae *Pediastrum duplex*, *Pediastrum integrum*, *Pediastrum boryanum*, *Pediastrum angulosum*, as well as the brown algae *Botryococcus* and the blue-green algae *Gloeotrichia*. An increase in organic matter in the deposits is also observable, indicating climatic amelioration.

The deposits from the end of the Early Holocene show a rapid increase in mineral matter and carbonates, possibly reflecting a reduction in the vegetation cover and soil erosion, leading to the influx of mineral matter into the basin from the lakeshore. Along with the increase in mineral matter, there is also an increasing quantity of carbonaceous matter in the deposits, washed into the lake by groundwater or surface waters and subsequently deposited as a result of a change in temperature and pressure.

The boundary between the Early and Middle Holocene, or Holocene Thermal Maximum, is marked by the event 8.2, with a pronounced, short-lived significant increase in the quantity of birch pollen and a rise in the birch pollen curve in percentage pollen diagrams, a fall in the organic matter in deposits and the disappearance of macroscopic remains, along with the appearance of cold-loving algae species (such as *Pediastrum kawraisky*).

After the event 8.2, intensive overgrowing of water-bodies is observed at the study sites, with the development of fen peat. The botanical composition, plant macrofossil analysis and pollen data indicate climatic amelioration, permitting a boundary to be drawn between the Early and Middle Holocene.

The 8200 cold event has been recognised in the bog deposits and pollen spectra of Northern Vidzeme and Estonia, including sequences studied earlier, in cases where there are no absolute dates for the deposits.

In the interval corresponding to the initial part of the Holocene Thermal Maximum, before the rise in the curves for broadleaved trees, a rapid, short-lived increase in pine pollen and fern (*Polypodiaceae*) spore is observable in several pollen diagrams. Most of the pollen grains and fern spores are broken and eroded, which, along with the rapid reduction or even disappearance of the rest of the pollen, may indicate very dry conditions, as a result of which the pollen and spores were directly exposed to sunlight and subjected to erosion.

At the time of the Holocene Thermal Maximum, well-decomposed mire peat accumulated in Puikule Bog, whereas fen peat accumulated in Pantene

Bog, indicating dry and warm conditions that promoted intensive decomposition of the plants forming the peat. Pollen and macro-remains of warmth-loving plants are present in the deposits, whereas microscopic fossil remains of plants indicating cool and wet conditions have not been found. This is the Holocene Thermal Maximum.

Even though the conditions of deposition are generally stable during the Holocene Thermal Maximum, nevertheless in the Puikule pollen sequence at 6200–6400 cal. BC, in place of the broadleaved and hazel pollen characteristic of the Holocene Thermal Maximum, there is a rapid and short-lived increase in birch and herb pollen and a rise in these curves, indicating brief climatic deterioration.

The boundary between the Holocene Thermal Maximum and the Late Holocene is less pronounced than the boundary between the Holocene Thermal Maximum and the Early Holocene. The former has been identified in the pollen diagrams examined in this study at the level corresponding to 4800 cal. BC, when the curve of broadleaved pollen falls and the curve of spruce pollen rises, along with the appearance of amoebae (*Amphitrema flavum*, *Assulina muscorum* etc.) indicative of wet conditions. This change is expressed in more rapid peat deposition in the already-existing mires (Puikule and Pantene Mires) and the development of new bogs (Kalna, Ķeru and Zilais Mires).

Analysis of the results obtained in the study and calculation of the rate of peat accumulation shows that the rate of peat accumulation varies in different types of bogs during the Holocene. In raised bogs the most intensive peat accumulation (2 mm per annum) has occurred in the Late Holocene, during the last 2500 years, whereas in fens peat accumulation was up to 0.8 mm per annum during the Holocene Thermal Maximum.

Assessing and interpreting the results of the study of peat composition and palaeobotanical study, and taking into account that the Blytt-Sernander scheme no longer corresponds to current thinking, we may conclude that the Holocene can be divided into the Early, Middle and Late Holocene, as proposed by the INTIMATE group (Walker et al., 2012), although only the Early/Middle Holocene boundary is clearly recognisable and may be regionally correlated, while the Middle/Late Holocene boundary is poorly expressed.

Evaluation of the spore-pollen diagrams compiled in earlier studies and comparison of these with the results obtained in the doctoral study leads to the conclusion that the majority have no absolute dates, and there is variation in the methods of data processing and diagram compilation. Nevertheless, the changes in tree pollen composition, and the rises and falls in the curves are comparable with the pollen spectra of the latest diagrams. For example, in many diagrams the culmination of the birch curve before the rise in broadleaved tree pollen is recognisable as the event 8.2. The changes in spore composition also reflect these trends quite well and are comparable with those observed in the latest

pollen diagrams, while the internal relationships and changes observable within the herb pollen have been exaggerated and can only be utilised in particular cases.

The results of the study have confirmed the ideas that were to be defended:

- 1) The vegetation evidence from organogenic deposits in northern Vidzeme indicates changing natural conditions during the Holocene in this region, including colder and wetter, as well as warmer and dryer conditions, seen clearly in palaeobiological analysis of the composition of deposits, permitting identification of the 8200 cold event, the Little Ice Age and the warm Holocene Thermal Maximum.
- 2) The Little Ice Age and several other possible cold events can be traced clearly in the raised bog deposits deposited in the Late Holocene, as well as in the pollen diagrams. These events are not always clearly distinguishable in the fen deposits.
- 3) Fossil micro-organisms provide additional information concerning water-level fluctuations and the presence of various plants. They can serve as one of the indicators of the conditions of deposition, especially in cases where spores, pollen or plant macro-remains are not preserved.

The tasks set out in the study have been accomplished and the aim of the work has been achieved.

ACKNOWLEDGEMENTS

I am most grateful to my main supervisor Professor Dr. geogr. Laimdota Kalniņa for introducing me with mire world, for patience, interesting dissertation creation process and for encouragement. I am also very grateful to Professor Valdis Segliņš for valuable suggestions that greatly improved this thesis. I also wish to express my sincere gratitude to all my colleagues at Quaternary Laboratory, especially to Aija Ceriņa, Elīza Kušķe, Normunds Stivrīņš, Vita Ratniece, Ieva Grudzinska, Agnese Pujāte for fruitful discussions, for technical help in field works and in laboratory works and for providing a friendly working environment. Great acknowledgement I express to Estonian colleagues Dr. Siim Veski and Dr. Atko Heinsalu for sharing experience and knowledge about the Holocene studies and letting me to use their laboratory. I thank to Māris Dauškans, Māris Nartišs and Anita Namatēva for help with maps and for assistance in field works. I also express my gratitude to Marie-Jose Gaillard and Shinya Sugita for introducing with REVEALS model and for valuable LANDCLIM workshops. I am grateful to my colleagues in Latvian Peat Producers Association especially to Agris Lācis for providing constant support and inspiration.

A special thank is addressed to my husband for technical help, for enormous patience and tireless optimism throughout these years. But it all started with Līga Neļķe suggestion to study geology. I obeyed and have not regretted it and for that I am grateful to lecturers of Faculty of Geography and Earth Sciences.

The thesis has been developed with a financial support of the ESF project "Support of Doctoral Studies at the University of Latvia, No.2009/0138/1DP/1.1.2.1.2./09/IPIA/VIAA/004. Part of of the sediment ¹⁴C datings was carried out with a support of the project No 2007/ZP-87 at the University of Latvia 'Developing an Improved Event Chronology of the Late Weichselian Deglaciation of the Inner Zone of the Southern Margin of the Scandinavian Ice Sheet'. Part of the field works were carried out with support of Project of Latvian Council of Science No. 09.1438. „Stratigraphy of peatlands in Latvia: evidence of Lateglacial and Holocene climatic change and peat accumulation". Participation in several very valuable workshops was financed with support of international project „The NordForsk LANDCLIM 10 000 network "The past LAND cover – CLIMate Interactions in Europe over the last 10 000 years"”.

LITERATŪRAS SARAKSTS / REFERENCES

- Aaby, B., 1986. Palaeoecological studies of mires. In Berglund, B.E. (ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. John Wiley & Sons, Brisbane Inc., pp. 145–164.
- Alley, R. B., Mayewski, P. A., Sowers, T., Stuiver, M., Taylor, K. C., Clark, P. U., 1997. Holocene climatic instability: A prominent, widespread 8.2 event yr ago. *Geology*, 25, pp. 483–486.
- Amon, L., Veski, S., Heinsalu, A., Saarse, L., 2012. Timing of Lateglacial vegetation dynamics and respective palaeoenvironmental conditions in southern Estonia: evidence from the sediment record of Lake Nakri. *Journal of Quaternary Science*, 27, pp. 169–180.
- Balaukas, L., 2012. Development of the Late Glacial and Holocene forest vegetation in Lithuania according to LRA (Landscape Reconstruction Algorithm) modelling data. Summary of doctoral dissertation. Vilnius University, Vilnius, pp. 1–53.
- Bambergis K., 1997. Purvu izcelšanās holocēnā. *Latvijas Ģeoloģijas vēstis* (3), pp. 25–30.
- Barber, K. E. and Langdon, P. G., 2001. Peat stratigraphy and climate change. In Brothwell, D. R., Pollard, A. M., (eds.), *Handbook of Archaeological Sciences*. Wiley, Chichester, pp. 155–166.
- Barthelmes, A., Prager, A., Joosten, H., 2006. Palaeoecological analysis of *Alnus* wood peats with special attention to non-pollen palynomorphs. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 141(2006), pp. 33–51.
- Bartosh, T. D., 1959. O stratigrafičeskoj priuročennosti i paleogeografičeskih uslovijach nakoplenija golocenovich izvestkovich otloženij. *Materiali po izucheniju presnovodnich izvestkovich otloženij*, I, s. 57–78.
- Bartosh, T. D., 1976a. *Geologia i resursi presnovodnich izvestkovich otlozhenij golocena. Srednija polosa evropeskoj časti SSR*. Riga, Zinatne, 258 s.
- Bartosh, T. D., 1976b. Palinologičeskije issledovanija v izuchenii kontinentalnih I donnih otloženij Pribaltiki i Baltijskogo morja In: *Palinologija v kontinentalnih I morskih geologičeskih issledovanijash*. Riga, s. 188–200.
- Bennett, K. D., Willis, K. J., 2001. Pollen. In Smol, J. P., Birks, H. J. B., Last, W. M. (eds.), *Tracking Environmental Change using Lake Sediments. Vol. 3. Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators*. Kluwer Academic Publishers, London, pp. 5–33.
- Berglund B. E., Ralska – Jasiewiczowa, M., 1986. Pollen analysis and pollen diagrams. In Berglund, B. E., (ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. John Wiley & Sons, Brisbane Inc., pp. 455–484.
- Birks, H. J. B., Birks, H. H., 1980. *Quaternary Paleoecology*. Caldwell, New Jersey, pp. 95–98.
- Birks, H. H., Birks, H. J. B., 2000. Future uses of pollen analysis must include plant macrofossils. *Journal of Biogeography*, 27, pp. 31–35.
- Birks, H. J. B., Seppä, H., 2010. Late-Quaternary paleoclimatic research in Fennoscandia – A historical review. *Boreas*, 39(4), pp. 655–673.
- Blaauw, M., 2010. Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences, *Quaternary Geochronology*, 5, pp. 512–518.
- Booth, R. K., 2008. Testate amoebae as proxies for mean annual water-table depth in *Sphagnum*-dominated peatlands of North America. *Journal of Quaternary Science*, 23, pp. 43–57.
- Booth, R. K., Sullivan, M. E., Sousa, V. A., 2008. Ecology of testate amoebae in a North Carolina pocosin and their potential use as environmental and paleoenvironmental indicators. *Ecoscience*, 15, pp. 277–289.
- Bradley, R. S., Hughes, M. K., Diaz, H. F., 2003. Climate in medieval time. *Science*, 302, pp. 404–405.

- Brakšs, N., 1961. Purvi un kūdra. Rīga: LPSR ZA izdevniecība, 90 lpp.
- Chambers, F. M., Charman, D. J., 2004. Holocene environmental change: contributions from the peatland archive. *The Holocene*, 14(1), pp. 1–6.
- Chambers, F. M., Booth, R. K., de Vleeschouwer, F., Lamentowicz, M., Le Roux, G., Mauquoy, G., Nichols, J. N., van Geel, B., 2012. Development and refinement of proxy-climate indicators from peats. *Quaternary International*, 268, pp. 21–33.
- Charman, D. J., Hendon, D., Woodland, W., 2000. The Identification of testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) in peats. *Quaternary Research Association, Technical Guide*, 9, 148 pp.
- Clarke, K. J., 2003. *Guide to the identification of Soil Protozoa – Testate Amoebae*. Freshwater Biological Association, Special Publication, 12, 40 pp.
- Clymo, R. S., 1965. Experiments on breakdown of *Sphagnum* in two bogs. *Journal of Ecology*, 53, pp. 747–758.
- Cohen, J. L., Furtado J. C., Barlow M., Alexeev, V. A., Cherry, J. E., 2012. Symmetric seasonal temperature trends. *Geophysical Research Letters*, 39(4), pp. 1–7.
- Danilans, I. J., 1955. O geoloģiskom vozraste otlozenij presnovodnoj izvesti Latvijas SSR. *Izvestija AN Latv. SSR*, 9, s. 65–69 (In Russian).
- Danilans, I.J., 1957. *Golocenovije presnovodnije izvestkovije otlozenija Latvii*. AN LSSR, Rīga, 151 s. (In Russian).
- Danilans, I. J., 1963. Podsapropelevij torf v oz. Babelite i visota urovna Ancilovogo ozera v vershine Rizskogo zaliva. *Voprosi četverticnoj geologii*, AN LSSR, Rīga, II, s. 135–139 (In Russian).
- Danilāns, I., 1973. *Četvertičnīje otlozenija Latviji*. Zinatne, Rīga, 312 s. (In Russian).
- Danilāns, I., 1995. Holocēna stratigrāfiskais iedalījums un šā laikposma paleoģeogrāfiskās īpatnības Latvijas teritorijā. *Grām. Kavacs, G. (red.). Latvijas Dabas Enciklopēdija. 2. sēj.* Preses nams, Rīga, 156.–157. lpp.
- Danilāns, I. J., Stelle, V. J., 1971. O piljcevih zonah golocena i nekotarih regionalnih ih ocobennostjah na teritorii Latvii. *Paljinogicheskije isledovanija v Pribaltiki*. Zinatne, Rīga, s. 92–108 (In Russian).
- Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N. S., Hammer, C. U., Hvidberg, C. S., Steffensen, J. P., Sveinbjornsdottir, A. E., Jouzel, J., 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364(6434), pp. 218–220.
- Erdtman, G., 1954. *An introduction to pollen analysis*. Waltham, Mass, USA, 239 p.
- Fægri, K., Iversen, J., 1989. *Textbook of pollen analysis*. John Wiley & Sons Inc., Chichester, 328 p.
- Gaidamavicius, A., Stancikaite, M., Kisieliene, D., Mažeika, J., Gryguc, G., 2011. Post-glacial vegetation and environment of the Labanoras Region, East Lithuania: implications for regional history. *Geology Quarterly*, 55(3), pp. 269–284.
- Galenieks, M., 1931. Pollen Analysis from some Bogs in Eastern Latvia. Peat Research laboratory. *Acta Universitatis Latviensis*, 35.–42. lpp.
- Galenieks, M., 1935. Latvijas purvu un mežu attīstība pēdēdus laikmetā. *Latvijas Universitātes raksti*, Lauksaimniecības fakultātes sērija, II, 581.–646. lpp.
- Galenieks, P., 1936. Latvijas floras vēsture. *Grām. Malta, N., Galenieks, P. (red.), Latvijas zeme, daba un tauta II*. Valters un Rapa, Rīga, 22.–23. lpp.
- Galeniece, M. P., Eglitis, U. A., 1964. Stratigrafija i genezis verhovih bolot severo-zapadnoj Latvii. *Rastitelnostj Latvijas SSR*, Rīga, IV, s. 79–85 (In Russian).
- Gaillard, M. J., Sugita, S., Mazier, F., Trondman, A. K., Broström, A., Hickler, T., Kaplan, J. O., Kjellström, E., Kokfelt, U., Kuneš, P., Lemmen, C., Miller, P., Olofsson, J., Poska, A.,

- Rundgren, M., Smith, B., Strandberg, G., Fyfe, R., Nielsen, A. B., Alenius, T., Balakauskas, L., Barnekow, L., Birks, H. J. B., Bjune, A., Björkman, L., Giesecke, T., Hjelle, K., Kalnina, L., Kangur, M., van der Knaap, W. O., Koff, T., Lagerås, P., Latałowa, M., Leydet, M., Lechterbeck, J., Lindbladh, M., Odgaard, B., Peglar, S., Segerström, U., von Stedingk, H., Seppä, H., 2010. Holocene land-cover reconstructions for studies on land cover-climate feedbacks. *Climate of the Past*, 6, pp. 483–499.
- Glime, J. M., 2012. Protozoa: Peatland Rhizopods. Chapter 2–5. In Glime, J. M. (ed.), *Bryophyte Ecology. Vol. 2, Bryological Interaction*, 251 p.
- Grimm, E. C., 1990. TILIA and TILIA*GRAPH. PC spreadsheet and graphics software for pollen data. *INQUA Working Group on Data-Handling Methods*, 4, pp. 5–7.
- Hammarlund, D., Barnekow, L., Birks, H. J. B., Buchardt, B., Edwards, T. W. D., 2002. Holocene changes in atmospheric circulation recorded in the oxygen-isotope stratigraphy of lacustrine carbonates from northern Sweden. *The Holocene*, 12, pp. 339–351.
- Heikkilä, M., 2010. *Postglacial climate changes and vegetation responses in northern Europe*. Helsinki University Press, Helsinki, 55 p.
- Heikkilä, M., Seppä, H., 2010. Holocene climate dynamics in Latvia, eastern Baltic region: a pollen-based summer temperature reconstruction and regional comparison. *Boreas*, 39(4), pp. 705–719.
- Heiri, O., Lotter, A. F., Lemcke, G., 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: Reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 25, pp. 101–110.
- Hooghiemstra, H., 2012. Non-pollen palynomorphs: From unknown curiosities to informative fossils. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 186, pp. 2–4.
- Istomina, E. S., Koreņeva, M. M., Tjuremnovs, S. N., 1938. *Atlas rastitelnih ostatkov, vstrechaevih v torfe*. Izdatelystvo Akademiji Nauk SSSR, Moskva, s.1–67 (In Russian).
- Jackson, S. T., 2009. Peatland archives of Holocene climate variability. *PAGES news*, 17(3), p. 127.
- Jankovská, V., Komárek, J., 2000. Indicative Value of Pediastrum and Other Coccal Green Algae in Paleoecology. *Folia Geobotanica*, 35, pp. 59–82.
- Kalnina, L., Gorovņeva, I., Kušķe, E., 2008a. Purvu veidošanās un attīstība Baltijas ledus ezera Vidzemes piekrastes austrumu malā. LU 66. zinātniskās konference. *Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne*. Referātu tēzes. LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, 198.–199. lpp.
- Kangur, M., Koff, T., Punning, J.-M., Vainu, M., Vandel, E., 2009. Lithology and biostratigraphy of the Holocene succession of Lake Kūži, Vidzeme Heights (Central Latvia). *Geological Quarterly*, 53, pp. 199–208.
- Katz, N., Ya, Katz, S. V., Skobeeva, E. I., 1977. *Atlas rastitelnykh ostatkov v torfakh*. Nedra, Moscow, 371 s. (In Russian).
- Lācis, A., 1996. Rietumlatvijas kūdras resursi. Valsts ģeoloģijas dienests. Rīga, 43 lpp.
- Lācis, A., 2010. Purvu apzināšana un izpēte Latvijā, pielietotās metodes un sasniegtie rezultāti. *Latvijas Universitātes raksti, Zemes un vides zinātnes. 752. sējums*. LU, Rīga, 106.–115. lpp.
- Lācis, A., Kalniņa, L., 1998. Purvu uzbūve un attīstība Teiču valsts rezervātā. Latvijas purvu veģetācijas klasifikācija un dinamika. *LU zinātniskie raksti, 613 sējums*. Rīga, 39.–55. lpp.
- Lowe, J. J., Rasmussen, S.O., Björck, S., Hoek, W. Z., Steffensen, J. P., Walker, M. J. C., Yu, Z. C., the INTIMATE group, 2008. Synchronisation of paleoenvironmental events in the North Atlantic region during the last Termination: a revised protocol recommended by the INTIMATE group. *Quaternary Science Reviews*, 27, pp. 6–17.
- Maksimov, A., 1995. The use of peat botanical composition for reconstruction of ecological conditions of mire plant communities. *Helsinki, Finnish-karelian symposium on mire conservation and classification*. National board of waters and the environment. pp. 29–35.

- Malmer, N., 1986. Vegetational gradients in relation to environmental conditions in northwestern European mires. *Canadian Journal of Botany*, 64, pp. 375–383.
- Mangerud, J., Andersen, S. T., Berglund, B. E., Dorner, J. J. 1974. Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. *Boreas*, 3, pp. 109–128.
- Markots, A., Zelča, L., Zelčs, V., 1993. Dinamiskie sūneklī. *Latvijas Daba*, 2, 20.–21. lpp.
- Mauquoy, D., Engelkes, T., Groot, M. H. M., Markesteijn, F., Oudejans, M. G., van der Plicht, J., van Geel, B., 2002. High-resolution records of late-Holocene climate change and carbon accumulation in two north-west European ombrotrophic peat bogs. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 186, pp. 275–310.
- Mayewski, P. A., Rohling, E. E., Stager, J. C., Karlen, W., Maasch, K. A., Meeker, L. D., Meyerson, E. A., Gasse, F., van Kreveld, S., Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist, G., Rack, F., Staubwasser, M., Schneider, R. R., Steig, E. J., 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62, pp. 243–255.
- Mazei, Y. A., Tsyganov, A. N., 2006. Presnovodnyje Rakovinnye Ameby. Tovarishstshestvo nautchnyh izdanij KMK, Moscow, 304 s. (In Russian).
- Moore, P. D., Webb, J. A., 1978. *An Illustrated Guide to Pollen Analysis*. Blackwell, Oxford, 133 p.
- Nilsson, S., Praglowski, J., Nilsson, L., 1977. *Atlas of Airborne Pollen Grains and Spores in Northern Europe*. Ljungföretagen, Stockholm, 159 pp.
- Niinemets, E., Saarse, L., 2006. Holocene forest dynamics and human impact in southeastern Estonia. *Vegetation History and Archaeobotany*, 16, pp. 1–13.
- Niinemets, E., Saarse, L., 2007. Midand late-Holocene land-use changes inferred from pollen record, in a south-eastern Estonian upland area. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 146, pp. 51–73.
- Niinemets, E., Saarse, L., 2009. Holocene vegetation and land-use dynamics of south-eastern Estonia. Elsevier. *Quaternary International*, 207, pp. 104–116.
- Niinemets, E., Saarse, L., Poska, A. 2002. Vegetation history and human impact in Parika area, Central Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 51, 4, pp. 241–258.
- Nomals, P., 1930a. Ūdens, minerālvielu un slāpekļa daudzums un grupējums Latvijas purvos. Doktora darbs. Latvijas Universitāte.
- Nomals, P., 1930b. Latvijas purvi. Latvijas Ģeogrāfijas biedriba, Rīga, 135 lpp.
- Nomals, P., 1936. Latvijas purvi. *Latvijas zeme, daba un tauta II*. Valters un Rapa, Rīga, 311.–149. lpp.
- Nomals, P., 1937. Kurzemes purvu apskats. *Rīgas Latviešu biedrības zinātņu komitejas rakstu krājums. Dabas zinātņu raksti*, 161.–150. lpp.
- Nomals, P., 1939. Zemgales purvu apskats. LU raksti, Lauksaimniecības fakultātes sērija, IV, 225.–428. lpp.
- Nomals, P., 1943. Vidzemes un Latgales purvu apskats. Zemes Bagātību pētīšanas institūta raksti, 4.1. 486 lpp.
- Nomals, P., 1944. Skats Latvijas kūdras rūpniecībā. Zemes Bagātību pētīšanas institūta raksti, 4.4. 52 lpp.
- O'Brien, S. R., Mayewski, P. A., Meeker, L. D., Meese, D. A., Twickler, M. S., Whitlow, S. I., 1995. Complexity of Holocene Climate as Reconstructed from Greenland Ice Core. *Science*, 270, pp. 1962–1964.
- Overpeck, J. T., Cole, J. E., 2006. Abrupt Climate Change in Earth's Climate System. *Annual Review of Environment and Resources*, 31, pp. 1–31.
- Ozola, I., Ratniece, V., 2012. Veģetācijas rekonstrukcija balstoties uz REVEALS modeli un putekšņu datiem no purvu un ezeru nogulumiem. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides*

- zinātne. LU 70. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 344.–348. lpp.
- Ozola, I., Ceriņa, A., Kalniņa, L., 2010a. Reconstruction of palaeovegetation and sedimentation conditions in the area of ancient Lake Burtnieks, northern Latvia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 59, pp. 164–179.
- Ozola, I., Ceriņa, A., Kalniņa, L., 2010b. Paleoveģetācijas attīstība Burtnieka senezērā un tā apkārtnē pie Pantenes. *Latvijas Universitātes raksti. Zemes un vides zinātnes*. 752. sējums. LU, 75.–87. lpp.
- Ozola, I., Kalnina, L., Ratniece, V., 2012. The holocene vegetation reconstruction from mire and lake sediments in North Eastern Latvia using pollen records. *Peatlands in Balance. Proceedings of the 14th International Peat congress, Extended abstract No. 316*, Sweden. pp. 1–6.
- Ozola, I., Ratniece V., 2013. Palaeoenvironmental changes and geological development of the Puikule Mire. In Mire and lake investigations. (Pieņemts publicēšanai).
- Pakalns, M., Kalnina, L., 2005. Mire ecosystems in Latvia. In Steiner, G.M. (ed.), *Moore – von Sibirien bis Feuerland/Mires – from Siberia to Terra del Fuego. Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen*. Linz, pp. 147–174.
- Piterāns, A., Vimba, E., Vulfa, L., 1975. *Zemāko augu sistemātika*. Izdevniecība Zvaigzne, Rīga, 278 lpp.
- Rudzroga, A., 1984. *Aļģes, to nozīme dabā un cilvēka dzīvē*. Izdevniecība Zinātne, Rīga, 119 lpp.
- Saarse, L., Harrison, S. P. 1992. Holocene lake-level changes in the eastern Baltic region. *Man and Nature*, Academy Science Estonia, Estonian Geographical Society, Tallinn. pp. 6–20.
- Saarse, L., Rajamäe, R., 1997. Holocene vegetation and climate change on the Haanja Heights, SE Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Geology*, 46(2), pp. 75–92.
- Sarv, A. A., Ilves, E. O., 1976. Geochronological subdivision of Holocene bog-lacustrine deposits in South-western Estonia. In Bartoš, T. D. (ed.) *Palynology in continental and marine geologic investigations*. Zinātne, Rīga. pp. 47–59. (In Russian with summary in English).
- Schoning, K., 2012. Peat geological history in the pioneer L. von Post trails – changes of peatlands during last 90 years. *Excursion No. 2. The 14th International Peat Congress „Peatlands in Balance” Stockholm, Sweden, June 3–8, 2012*. IPS, pp. 3–18.
- Segliņš, V., Kalniņa, L., Lācis, L., 1999. The Lubans Plain, Latvia as Reference Area for Long Term Studies of Human Impact on the Environment. In Miller, U., Hackens, T., Lang, V., Raukas, A., Hicks, Sh. (eds.), *Environmental and cultural history of the Baltic Region*. Rixensart, Belgium, pp. 105–130.
- Segliņš, V., 1999. Holocēna putekšņu zonu reģionālās iezīmes Latvijā. *Latvijas ģeoloģijas vēstis*, 8, 37.–43. lpp.
- Segliņš, V., 2001a. *Holocēna nogulumu stratigrāfija Latvijā un to starpreģionālā korelācija*. LU, Rīga, 191 lpp.
- Segliņš, V., 2001b. *Latvijas holocēna nogulumu sporu un putekšņu diagrammu katalogs*. LU, Rīga, 528 lpp.
- Segliņš, V., 2001c. *Latvijas holocēna sporu un putekšņu diagrammas*. LU, Rīga, 95 lpp.
- Segliņš, V., 2002. *Holocēna nogulumu stratigrāfija Latvijā*. LU, Rīga, 256 lpp.
- Seppä, H., Poska, A., 2004. Holocene annual mean temperature changes in Estonia and their relationship to solar insolation and atmospheric circulation patterns. *Quaternary Research*, 61, pp. 22–31.
- Seppä, H., Birks, H. J. B., Giesecke, T., Hammarlund, D., Alenius, T., Antonsson, K., Bjune, A. E., Heikkilä, M., MacDonald, G. M., Ojala, A. E. K., Telford, R. J., Veski, S., 2007.

- Spatial structure of the 8200 cal yr BP event in northern Europe. *Climate of the Past*, 3, pp. 225–236.
- Silamiķele, I. 2010. *Humifikācijas un ķīmisko elementu akumulācijas raksturs augsto purvu kūdrā atkarībā no tās sastāva un veidošanās*. Promocijas darbs. Rīga, Latvijas Universitāte, 166 lpp.
- Sugita, S., Gaillard, M.-J., Hellman, S., Broström, A., 2008. Model-based reconstruction of vegetation and landscape using fossil pollen, in: Posluschny A, Lambers, K., Herzog, I. (eds.), *Proceedings of the 35th International conference on computer applications and quantitative methods in archaeology*. Habelt, Berlin, pp. 385–391.
- Sugita, S., 2007. Theory of quantitative reconstruction of vegetation I: pollen from large site REVEALS regional vegetation composition. *The Holocene*, 17, pp. 229–241.
- Šnore, A., 2004. *Kūdra Latvijā*. Latvijas kūdras ražošanas asociācija, Rīga, 62 lpp.
- Terasmaa, J., Puusepp, L., Marzecova, A., Vandel E., Vaasma, T., Koff, T., 2013. Natural and human-induced environmental changes in Eastern Europe during the Holocene: a multi-proxy palaeolimnological study of a small Latvian lake in a humid temperate zone. *Journal of Paleolimnology*, Volume 49, Issue 4, pp. 663–678.
- Tjuremnov, S. N., 1976. Torfjanije mestorozdenije. Nedra, Moskva, 488 s. (In Russian).
- Tolonen, K., 1966. Stratigraphic and rhizopod analyses on an old raised bog, Varrassuo, in Hollola, South Finland. *Annales Botanici Fennici*, 3, pp. 147–166.
- van Geel B., 1998. A study of non-pollen objects in pollen slides. In van Hove, E. L., Hendrikse, M. (eds). Utrecht, 291 p.
- Veski, S., 1998. Vegetation history, human impact and palaeogeography of West Estonia. Pollen analytical studies of lake and bog sediments. *STRIAE*, 38, 119 p.
- Veski, S., Seppa, H., Ojala, A. E. K., 2004. Cold event at 8200 yr B.P. recorded in annually laminated lake sediments in eastern Europe. *Geology*, 32, pp. 681–684.
- Veski, S., Amon, L., Heinsalu, A., Reitalu, T., Saarse, L., Stivrins, N., Vassiljev, J., 2012. Lateglacial vegetation dynamics in the eastern Baltic region between 14,500 and 11,400 cal yr BP: A complete record since the Bølling (GI-1e) to the Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 40, pp. 39–53.
- von Beug, H.-J., 2004. *Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. Verlag Dr. Freidrich Pfeil, München. 542 p.
- von Grafenstein, U., Erlenkeuser, H., Müller, J., Jouzel, J., Johnsen, S., 1998. The short cold period 8,200 years ago documented in oxygen isotope records of precipitation in Europe and Greenland. *Climate Dynamics*, 14, pp. 73–81.
- von Post, L., 1916. Skogträdpollen i sydsvenska torvmosselagerföljder (Forest tree pollen in south Swedish peat bog deposits). *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, 38, pp. 433–465.
- von Post, L., 1924. Das Genetische System der Organogenen Bildungen Schwedens. *Committee Soil Science*, 22, pp. 287–304.
- von Post, L., Granlund, E., 1926. Södra Sveriges Torvtillgångar I. *Sveriges Geologiska Undersökning Serie C*, 335, pp. 1–127.
- Walker, M., Johnsen, S., Rasmussen, S. O., Popp, T., Steffensen, J. P., Gibbard, P., Hoek, W., Lowe, J., Andrews, J., Björck, S., Cwynar, L. C., Hughen, K., Kershaw, P., Kromer, B., Litt, T., Lowe, D. J., Nakagawa, T., Newnham, R., Schwander, J., 2009. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. *Journal of Quaternary Science*, 24, pp. 3–17.
- Walker, M. J. C., Berkelhammer, M., Björck, S., Cwynar, L. C., Fisher, D. A., Long, A. J., Lowe, J. J., Newnham, R. M., Rasmussen, S. O., Weiss, H., 2012. Formal subdivision of the Holocene

Series/Epoch: a Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommission on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). Discussion Paper. *Journal of Quaternary Science*, 27(7), pp. 649–659.

- Wanner, H., Solomina, O., Grosjean, M., Ritz, S. P., Jetel, M., 2011. Structure and origin of Holocene cold events. *Quaternary Science Reviews*, 30, pp. 3109–3123.
- Warner, B. G., 1990. *Methods in Quaternary Ecology*. Ontario, Geological Association of Canada, 170 p.
- Yeloff, D., Charman, D., van Geel, B., Mauquoy, D., 2007. Reconstruction of hydrology, vegetation and past climate change in bogs using fungal microfossils. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 146, pp. 102–145.

Nepublicētā literatūra

- Brūders, A., 1977. *Vidusgaujas ieplakas ledus laikmeta beigu posma un pēcledus laikmeta paleoģeogrāfija*. Diplomdarbs. LU ĢZZF arhīvs, Rīga.
- Buša, D. J., 1984. Otchot o predvaritelnoj i detalnoj razvedke mestorozhdenija Taures v Valkskom rajione. [Eng. transl.: Report on peat preliminary and search in details on the Taures site in the Valka district]. *Latvijas Ģeoloģiskais Fonds*, No 10156, Rīga (In Russian).
- Ceriņa, A., 1972. *Dažu Rīgas jūras līča Vidzemes piekrastes purvu uzbūve un ģenēze sakarā ar Baltijas baseina transgresijām holocēnā*. Diplomdarbs. LU ĢZZF arhīvs, Rīga.
- Drille, A., 1977. *Vidzemes piekrastes un Rīgas smiltāju zemienes austrumu daļas ledus laikmeta beigu posma un pēcledus laikmeta paleoģeogrāfija*. Diplomdarbs. LU ĢZZF arhīvs, Rīga.
- Tracevskij, G. D., Juškevič, V. V., Poļivko J. L., 1964. *Otchot o kompleksnoj geologogidrogeologičeskoj sjomke mashtaba M 1:200 000 lista O-35-XXI*. Latvijas Ģeoloģijas Fonds, No 4154, Rīga (In Russian).
- Tracevskij, G. D., Juškevič, V. V., Poļivko J. L., 1965. *Otchot o kompleksnoj geologogidrogeologičeskoj sjomke mashtaba M 1:200 000 lista O-35-XX*. Latvijas Ģeoloģijas Fonds, No 5870, Rīga (In Russian).
- Vetrenņikov, V., Golubec, E., 1989. *Rezultati predvaritejnoj i detaljnoj pazvedki torfanovo mestorožņenija Puikules-Tevgaršas v Limbažskom raione na teritoriji lista O-35-XIX, -XX*. Valsts ģeoloģijas fonds, Rīga (In Russian).

Interneta resursi

- Digitālais reljefa modelis ar soli starp punktiem 20 metri, 2008. Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra; Envirotech, SIA. 2012. GIS Latvija 10.0. Sk. 10.04.2012.
- Marquer, L., Trondman, A. K., Mazier, F., Fyfe, R., Nielsen, A.B., Lechterbeck, J., Bjune, A. E., Birks, J., Alenius, T., Kangur, M., Koff, T., Latalowa, M., vad Odgaard, B., Seppä, H., Sugita S., Gaillard, M. J., 2011. Holocene REVEALS reconstructions of vegetation cover along N-S and W-E transects in North and Central Europe for evaluation of a dynamic vegetation model – the Swedish LANDCLIM project. INQUA, 21–27 July 2011, Bern, Switzerland. Sk.18.03.2012.

PUBLIKĀCIJU SARAKSTS / LIST OF PUBLICATIONS

1. **Ozola, I.**, Ceriņa, A., Kalniņa, L., 2010. Reconstruction of palaeovegetation and sedimentation conditions in the area of ancient Lake Burtnieks, northern Latvia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 59, pp. 164–179.
2. **Ozola, I.**, Ceriņa, A., Kalniņa, L., 2010. Paleoveģetācijas attīstība Burtnieka senezerā un tā apkārtnē pie Pantenes. *Grām. Latvijas Universitātes raksti, Zemes un vides zinātnes*. 752. sējums. LU, 75.–87. lpp.
3. **Ozola, I.**, Kalnina, L., Ratniece, V., 2012. The holocene vegetation reconstruction from mire and lake sediments in North Eastern Latvia using pollen records. *Peatlands in Balance. Proceedings of the 14th International Peat congress, Extended abstract No. 316*, Sweden, pp. 1–6.
4. Kalnina, L., Cerina, A., **Ozola, I.**, Grudzinska, I., Pujate, A., Kuske, E., 2012. Fen and raised bog development in the areas of former Littorina sea lagoons at the Coastal Lowland of Latvia. *Peatlands in Balance. Proceedings of the 14th International Peat congress, Extended abstract No. 320*, Sweden, pp. 1–6.
5. Kalnina, L., Cerina, A., **Gorovneva, I.**, Berzins, V., 2008. Stone Age settlements on peatlands in Latvia. In Farrell, C., Feehan, J. (eds.), *After Wise Use – The Future of Peatlands. Proceedings of the 13th International Peat Congress, June 8–13, 2008: Volume 1*. Tullamore, Ireland, pp. 539–572.
6. Kalniņa, L., Kuške, E., Cerina, A., **Ozola, I.**, Stivriņš, N., 2009. Stop 9. Seda Mire – postglacial paludification and development of mires in Latvia. In Kalm, V., Laumets, L., Hang, T. (eds.), *Extent and timing of the Weichselian Glaciation southeast of the Baltic Sea. The INQUA Peribaltic Working Group Field Symposium in southern Estonia and northern Latvia, September 13–17, 2009: Abstracts & Guidebook*. Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu, pp. 82–85.
7. **Ozola, I.**, Ratniece V., 2013. Palaeoenvironmental changes and geological development of the Puikule Mire. In: Mire and lake investigations. (Pieņemts publicēšanai).

Ziņojumi un tēzes starptautiskās konferencēs

1. **Ozola, I.**, Cerina, A., Kalnina, L., 2010. Diversity of landscape during the Stone Age in the vicinity of Lake Burtnieks, Northern Latvia. *8th European palaeobotany-Palynology Conference, July 6–10, 2010: Programm and Abstracts*. Budapest, Hungary, pp. 183–184.
2. **Ozola, I.**, Stivriņš, N., Kuške, E., Kalniņa, L., 2010. REVEALS modeļa izmantošana paleoveģetācijas rekonstrukcijai – metodes kritēriji un pirmie rezultāti. *Daugavpils Universitātes 52. starptautiskā zinātniskās konferences referātu tēzes*. Daugavpils, Daugavpils Universitāte, 39–40.lpp.
3. **Ozola, I.**, Cerina, A., Kalnina, L., Apsite, L., Berzins, V., 2010. Archaeobotanical studies in the lake Burtnieks area, Northeastern Latvia. In Bittmann, F. (ed.), *15th International Conference of the International Work Group for Palaeoethnobotany, TERRA NOSTRA – Schriften der GeoUnion Alfred-Wegener-Stiftung, Volume 2, 2010*. Lower Saxony Institute for Historical Coastal Research, Berlin, p.161.
4. **Ozola, I.**, Kalnina, L., Ratniece, V., 2012. The holocene vegetation reconstruction from mire and lake sediments in North Eastern Latvia using pollen records. *Peatlands in Balance. 14th International Peat congress, June 3–8, 2012: Abstract No. 316*. Sweden, p. 63.
5. Ratniece, V., **Ozola, I.**, 2012. Palaeoenvironment changes and geological development of the Puikule Mire 2012. In Pakalne, M. (ed.), *Raised Bog seminar Sharing expertise on Raised Bog management, July 23–25, 2012: Abstracts and Field guide*. University of Latvia, Riga, p. 91.

6. Kalnina, L., **Gorovņeva, I.**, Kuške, E., Silamiķele, I., 2008. Mire stratigraphy in Latvia. In Hints, O., Ainsaar, L., Mannik, P., Meidla T. (eds.), *The seventh Baltic stratigraphical conference. May 17–28, 2008: Abstracts & Field guide*. Tallinn, Estonia, p. 31.
7. Kuške, E., Kalniņa, L., **Gorovņeva, I.**, Silamiķele, I., 2008. Reconstruction of mire development according paleobotanical data. *12th International Palynological Congress, 8th International organisation of paleobotany conference, Bonn, Germany, August 30–September 05, 2008*, pp. 153.
8. **Gorovņeva, I.**, Kalnina, L., Cerina, A., 2009. Reconstruction of paleovegetation and sedimentation conditions in the north-eastern area of ancient Burtnieks Lake In Kalm, V., Laumets, L., Hang, T. (eds.), *Extent and timing of the Weichselian Glaciation southeast of the Baltic Sea. The INQUA Peribaltic Working Group Field Symposium in southern Estonia and northern Latvia, September 13–17, 2009: Abstracts & Guidebook*. Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu, pp. 15–16.
9. Silamiķele, I., Kuske, E., Kalnina, L., **Gorovņeva, I.**, Namatēva, A., 2009. Changes in botanical and pollen composition in vertical and horizontal sections of raised bogs. In Panajiotidis, S., Syropoulou, E. (eds.), *Pollen Monitoring Programme, 7th International meeting. Taxiachis – Chalkidiki, April 22–27, 2009: Volume of abstracts. Poster presentations. Greece, Thessaloniki*, pp. 73–75.
10. Kalnina, L., Lācis, A., **Gorovņeva, I.**, Kuške, E., Silamiķele, I., Namatēva, A., 2008. Geological history of mires in Latvia. *International seminar „Raised Bog Conservation and Management”* June 30–July 4, 2008, Lielupe, Latvia, p.11.
11. Kalnina, L., **Gorovņeva, I.**, Ceriņa, A., Bērziņš, V., 2008. Mires and Stone Age Man. *International seminar „Raised Bog Conservation and Management”* June 30–July 4, 2008, Lielupe, Latvia. p.12.
12. Silamiķele, I., Kalniņa, L., Kuške, E., **Gorovņeva, I.**, 2008. Some aspect of the changes in botanical composition in vertical and horizontal section of bogs. *Baltijas botāniku 22. ekspedīcija, 14–17 jūlijs, 2008: Abstract*. 23. Daugavpils, Latvija, pp. 24–26.
13. Kalniņa, L., **Gorovņeva, I.**, Ceriņa, A., Zvagina, I., Silamiķele, I., 2008. Water chestnut *Trapa natans* pollen from lake sediments in Latvia. *12th International Palynological Congress, 8th International organisation of palaeobotany conference, Bonn, Germany, August 30–September 05, 2008: Abstract volume*, Terra Nostra, pp. 136.
14. Kalnina, L., Kilups, J., Namateva, A., **Gorovņeva, I.**, Kuske, E., Silamiķele, I., 2009. Geographical studies of mires in Nature Reserves and North Vidzeme Biosphere Reserve of Latvia. *EUGEO 2009 Congress “Challenges for the European Geography in the 21st Century” Second International Congress on the Geography of Europe. Programme. August 13–16, 2009: Abstracts*. Bratislava, Slovakia. pp. 30.
15. Cerina, A., Kalnina, L., **Gorovņeva, I.**, Apsite, L., Kuske, E., 2009. Plant macrofossil and pollen evidence of ecological changes in the Littorina lagoon sequence at the Priedaine, southern coast of the Gulf of Riga. In Kalm, V., Laumets, L., Hang, T. (eds.), *Extent and timing of the Weichselian Glaciation southeast of the Baltic Sea. The INQUA Peribaltic Working Group Field Symposium in southern Estonia and northern Latvia, September 13–17, 2009: Abstracts & Guidebook*. Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu, pp. 13–15.
16. Kalnina, L., Cerina, A., Saulite, A., Apsite, L., **Gorovņeva, I.**, Grudzinska, I., 2009. Comparison of the vegetation records from the lagoonal lake sediments in Latvia. In Kalm, V., Laumets, L., Hang, T. (eds.), *Extent and timing of the Weichselian Glaciation southeast of the Baltic Sea. The INQUA Peribaltic Working Group Field Symposium in southern Estonia and northern Latvia, September 13–17, 2009: Abstracts & Guidebook*. Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu, pp. 24–26.
17. Ceriņa, A., Apsite, L., Bērziņš, V., Kalniņa, L., **Ozola, I.**, 2010. Vegetation change and human impact, as reflected in Littorina sea lagoonal deposits near the Priedaine

- archaeological site at the head of the Gulf of Riga (plant macroremains, pollen and wooden artefacts). In Bittmann, F. (ed.), *15th International Conference of the International Work Group for Palaeoethnobotany, TERRA NOSTRA – Schriften der GeoUnion Alfred-Wegener-Stiftung, Volume 2, 2010*. Lower Saxony Institute for Historical Coastal Research, Berlin, p. 121.
18. Kuske, E., Strautnieks, I., Kalniņa, L., **Ozola, I.**, Silamikele, I., 2010. Changes of paleovegetation composition during the development of fens in Latvia. *8th European palaeobotany-Palynology Conference, July 6–10, 2010: Programm and Abstracts*. Budapest, Hungary, pp. 145–146.
 19. Kalniņa, L., Ceriņa, A., **Ozola, I.**, Apsīte, L., 2011. Paleobotanical records from the Raunis site. In Lukševičs, E., Stinkulis, G., Vasiļkova, J. (eds.), *The eight Baltic Stratigraphical Conference. Abstracts*. University of Latvia, Riga, p. 32.
 20. Kalniņa, L., Cerina, A., **Ozola, I.**, Grudzinska, I., Pujate, A., Kuske, E., 2012. Fen and raised bog development in the areas of former Littorina sea lagoons at the Coastal Lowland of Latvia. Peatlands in Balance. *14th International Peat congress, June 3–8, 2012: Abstract No. 320*. Sweden, p. 64.

Ziņojumi un tēzes vietējās konferencēs

1. Kuške, E., Kalniņa, L., **Ozola, I.**, Stivriņš, N., Grudzinska, I., Zeimule, S., Ratniece, V., 2013. Purvu veidošanās un attīstības raksturs Latvijā. *Latvijas Universitātes 71. zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģijas. Vides zinātne. Referātu tēzes*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 447.–449. lpp.
2. **Ozola, I.**, Ratniece, V., 2012. Veģetācijas rekonstrukcija balstoties uz REVEALS modeli un putekšņu datiem no purvu un ezeru nogulumiem. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne*. LU 70. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 344.–348. lpp.
3. Ratniece, V., **Ozola, I.**, 2012. Paleovides apstākļu izmaiņas Puikules purva attīstības gaitā. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne*. LU 70. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds. Rīga, 365.–367. lpp.
4. **Ozola, I.**, 2012. Nogulumu pētījumi Burtnieka paleoezera ziemeļu daļā. *IV Latvijas Ģeogrāfijas kongress Ģeogrāfija mainīgajā pasaulē, 16.–17. marts, 2012: referātu tēzes*. Latvijas Ģeogrāfijas biedrība, Latvijas Universitāte, 13.–15. lpp.
5. **Ozola, I.**, Ratniece, V., 2011. Purva veidošanās apstākļu liecības Puikules purva nogulumos. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne*. LU 69. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 463.–464. lpp.
6. Kalniņa, L., Ceriņa, A., **Gorovņeva, I.**, 2007. Senā Burtnieka ziemeļdaļas paleoveģetācijas izmaiņas akmens laikmetā. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne*. LU 65. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 144.–146. lpp.
7. Kalniņa, L., **Gorovņeva, I.**, Kuške, E., 2008. Purvu veidošanās un attīstība Baltijas ledus ezera Vidzemes piekrastes austrumu malā. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne*. LU 66. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 198.–199. lpp.
8. Kalniņa, L., **Gorovņeva, I.**, Kuške, E., Diņķīte, A., 2008. Paleovides apstākļu un veģetācijas rakstura izmaiņas purvu attīstības gaitā. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne*. LU 66. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 258.–259. lpp.
9. **Ozola, I.**, Stivriņš, N., Kuške, E., Kalniņa, L., 2010. REVEALS modeļa izmantošana paleoainavu rekonstrukcijai – metodes kritēriji un pirmie rezultāti. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne*. LU 68. zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 341.–343. lpp.

10. Zica, D., **Gorovņeva, I.**, Kalniņa, L., 2009. Purvu attīstības rekonstrukcija Baltijas ledus ezera krasta zonā, Vidzemes piekrastē. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. LU 67. zinātniskās konferences referātu tēzes.* Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 265.–226. lpp.
11. Strautnieks, I., Kalniņa, L., Piese, I., **Gorovņeva, I.**, 2009. Ķūžu ezera ieplakas un apkārtnes veidošanās un ģeoloģiskā attīstība. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. LU 67. zinātniskās konferences referātu tēzes.* Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 251.–252. lpp.
12. Kalniņa, L., Ceriņa, A., **Gorovņeva, I.**, Apsīte, L., 2009. Paleoveģetācijas liecības par Rauņa paleobaseina attīstības apstākļiem leduslaikmeta beigu posmā un holocēnā. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. LU 67. zinātniskās konferences referātu tēzes.* Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 194.–197. lpp.
13. Apsīte, L., Zaube, A., Kalniņa, L., **Ozola, I.**, 2011. Slēperu purva veidošanās un attīstība. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. LU 69. zinātniskās konferences referātu tēzes.* Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 407.–408. lpp.
14. Kalniņa, L., Bērziņš, V., **Ozola, I.**, Ceriņa, A., 2011. Akmens laikmeta ainavas Latvijā. *Apvienotā Pasaules Latviešu zinātnieku 3. kongresa un Letonikas 4. Kongresa referātu tēzes.* Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, 6. lpp
15. Kalniņa, L., Strautnieks, I., Ceriņa, A., Kušķe, E., **Ozola, I.**, 2012. Ķūžu ezera un tā apkārtnes nogulumu paleobotāniskie pētījumi. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. LU 70. zinātniskās konferences referātu tēzes.* Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 301.–305. lpp.