



## PALINOLOGINIŲ TYRIMŲ TAIKYMAS PALEOAPLINKOS IR KLIMATO RAIDAI ĮVERTINTI: ŪLA-2 ATODANGOS TYRIMŲ PAVYZDŽIU

Laura Gedminienė<sup>1</sup>, Miglė Stančikaitė<sup>2</sup>, Petras Šinkūnas<sup>1</sup>, Eugenija Rudnickaitė<sup>1</sup>, Giedrė Vaikutienė<sup>1</sup>

<sup>1</sup>VU Gamtos mokslų fakultetas, <sup>2</sup>Gamtos tyrimų centras Geologijos ir geografijos institutas  
El. p.: <sup>1</sup>[lauragedminiene@yahoo.com](mailto:lauragedminiene@yahoo.com); <sup>2</sup>[stancikaite@geo.lt](mailto:stancikaite@geo.lt)

**Anotacija.** XX amžiuje ekologijos mokslui susiskaidžius į smulkesnes mokslo šakas, tarp kurių yra ir paleoekologija, pastaroji dažnai nepelnytai nustumama į antrą planą (arba visai ignoruojama). Tuo tarpu nuolatinis, nuoseklus ir tikslus paleoaplinkos tyrimų rezultatų fiksavimas, koreliuotos interpretacijos regioniniu mastu, gali būti naudingos sprendžiant dabarties ekologines problemas, padėti atskirti natūralią gamtinę kaitą nuo technogeninio poveikio sukeltos aplinkos kaitos. Naudojant kompleksinius tyrimus jau kelis dešimtmečius yra bandoma suvokti ekosistemų evoliucijos dėsninumus. Siekiant nustatyti pagrindinius natūralius paleoaplinkos kaitos parametrus pietryčių Lietuvoje vėlyvajame ledynmetyje, atlikti kompleksiniai detalūs tyrimai Ūlos upės atodangoje, kurioje po eolinio smėlio sluoksniu slūgso gitijos ir molingos gitijos sluoksniai. Tyrimų rezultatai bei naujos <sup>14</sup>C (AMS) datos leidžia teigti, jog nuosėdos formavosi vėlyvojo ledynmečio metu, jo šilčiausio intervalo, bioling–alerodo interstadialo pirmoje pusėje. Ženklius paleoaugalijos ir nuosėdų medžiaginės sudėties pokyčiai, fiksuoti interstadialo viduryje, atspindi įvykusius klimatinis pokyčius, lėmusius atvirų bemiškių kraštovaizdžių paplitimą tiriamojame teritorijoje. Paleoaplinkos sąlygų pasikeitimas, gitijos formavimosi pabaiga savo pobūdžiu ir chronologija sietini su Europoje fiksuojama *Gertsensee* osciliacija, žemesnio rango paleoklimatinis pokyčiu (GI-1b intervalu) (Lowe *et al.* 2008). Gauta nauja informacija leidžia teigti sedimentacinio baseino egzistencijos pabaigą sutapus su minėta osciliacija (13630–13300 kalibruotų metų prieš dabartį), taigi, įvyko anksčiau, nei daugelį metų manyta. Natūralūs procesai gali drastiškai veikti aplinką, todėl sprendžiant dabartinės aplinkotyros uždavinius, atsižvelgus į paleoaplinkos tyrimų rezultatus galima atskleisti, kiek prie šių pokyčių prisideda žmogus.

**Reikšminiai žodžiai:** paleoekologija, palinologija, paleoaplinkos istorija, klimato kaita, vėlyvasis ledynmetis, GI-1b.

### Įvadas

Klimato kaita – viena iš aktualiausių šiame dešimtymetyje nagrinėjamų temų. Šiuo metu klimato kaitą daugelis sieja su žmogaus veikla, o ekosistemų pokyčius tiesiogiai su technogeniniais veiksniais. Tačiau geologinė Žemės raidos istorija rodo, kad pokyčius daug stipriau nei žmogus lėmė bei lemia ir gamtoje vykstantys procesai. Norint nustatyti ir įvertinti ekosistemose vykusius ir šiuo metu vykstančius procesus, pastaraisiais dešimtmečiais yra atliekami įvairūs kompleksiniai tyrimai. Vėlyvojo ledynmečio nuosėdų palinologiniai tyrimai Lietuvoje jau atliekami daugiau kaip kelis dešimtmečius. Augalijos kaitos dėsninumus, biostratigrafiją, nuosėdų chronostratigrafiją nagrinėjo nemažai žymių Lietuvos mokslininkų: M. Kabailienė, O. Kondratienė, A. Basalykas, V. Gudelis, M. Stančikaitė, P. Šinkūnas, N. Blažauskas, A. Jurgaitis ir kiti. Praeities aplinkos kitimo eigos atkūrimui yra būti-

nos fundamentinės žinios, kurių suvokimas ir taikymas leistų suprasti ilgalaikį vykusių procesų mechanizmą bei prognozuoti tolesnę jų raidą. Remiantis kompleksinių tyrimų rezultatais formuojamos išvados apie vietinę tiriamosios teritorijos augaliją, hidrologiją, klimatą ar kitus teritorijos formavimąsi lėmusius faktorius. Be kompleksinių-indikatorinių tyrimų, dar yra atliekamas nuosėdų absoliutaus amžiaus datavimas. Koreliuojant aplinkos pokyčių chronologiją regioniniu masteliu tiriamasis sluoksnis priskiriamas vienam ar kitam raidos etapui. Rytinis Baltijos jūros regionas kvartero periodo metu buvo keletą kartų apledėjęs, čia susiklostė didelės ledyno suformuotų nuosėdų storumės (Basalykas 1955; Gudelis 1958). Nagrinėjant nuledėjusioje teritorijoje vykusį ekosistemos formavimąsi, svarbu nustatyti ledyno atsitraukimo chronologiją, klimatinis pokyčių tendencijas, augalijos migracijos į naujas teritorijas istoriją, sedimentacinių baseinų formavimosi dėsninumus. Tyrimų tech-

nologijos tobulėja, keičiasi metodika bei rezultatų tikslumas, todėl šių tyrimų metu atlikus pakartotinę nuosėdų analizę siekiama rasti atsakymus į regioninių tyrimų kontekste ankstesniuose tyrimuose iškilusius klausimus: patikslinti sedimentacijos baseino raidos etapus, apibūdinti augalijos ir aplinkos sąlygų pokyčius vėlyvajame ledynmetyje.

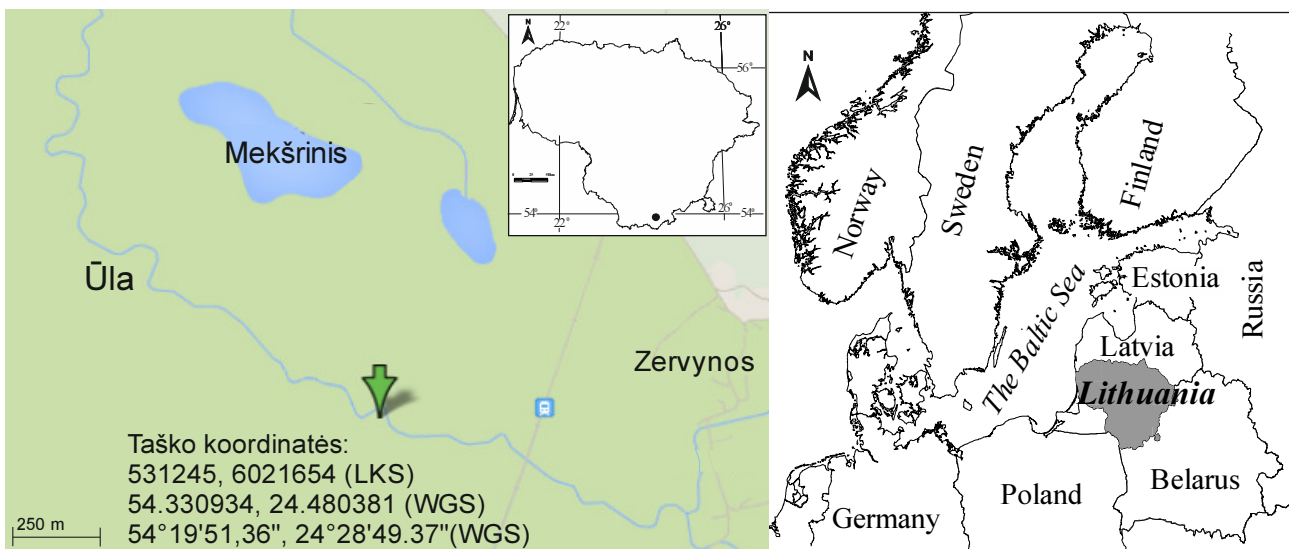
### Tyrimų vieta

Ūlos upė yra kairysis Merkio, tekančio pietrytinėje Lietuvos dalyje, intakas. Ji kerta paskutiniojo apledėjimo suformuotus kraštinius darinius bei lygumą, kurią sudaro paskutiniojo apledėjimo ledynų tirpsmo vandens srautu nuogulos (Blažauskas *et al.* 1998). Didžiojoje teritorijos dalyje šios smėlingos nuogulos vėlesnių eolinių procesų buvo supustytos į kopas ir uždengė egzistavusią reljefą, po storu sluoksniu paslėpdamos jo susidarymo istoriją. Kintant aplinkos sąlygoms kontinentinių kopų judėjimas tai suaktyvėdavo, tai sustodavo, tad poledynmečiu susidariusiuose vandens baseinuose besiklostančios ežerinės nuogulos yra nevienaamžės. Susidaręs kontinentinių kopų masyvas buvo ardomas poledynmečio upių erozinės veiklos ir stačiuose upių slėnių šlaituose atsidendę vėlyvojo ledynmečio sedimentacinių baseinų nuosėdų pjūviai.

Ūlos-2 atodanga yra kairiajame upės krante (1 pav.), apie 250 m pasroviui nuo Zervynų geležinkelio stoties. Atodangos aukštis – 18,20 m nuo upės vandens lygio, eolinių darinių kraigas yra 115 abs. m aukštyje virš jūros lygio.

### Tyrimų metodika

**Mėginių paėmimas ir paruošimas.** Lauko darbų metu buvo nuvalytos deliuvio nuogulos nuo maždaug 1 metro pločio atodangos juostos, aprašyta atidengto nuosėdų pjūvio litologija: struktūra, tekstūra, spalva ir kitos ypatybės. Atidengtame 18,20 m nuosėdų pjūvyje išsiskiria trys dalys. Apatinėje fluvio-glacialinis įvairaus rupumo ir sluoksniuotumo smėlis, vietomis suskaldytas 10–25 cm amplitudės sprūdžiais (11,95–18,20 m gylyje) su ežerinių nuosėdų tarp sluoksniu viršutinėje sluoksnio dalyje. Vidurinėje – prisotinta organikos ir moliškų kiaušelių gitija su molingu sluoksniu viršutinėje dalyje (11,05–11,95 m gylyje). Viršutinėje dalyje ežerinės nuosėdos užpustytos eoliniu smėliu, kuris smulkutis, gerai išrūšiuotas, vietomis lėšiškas arba su aleuritingos medžiagos persluoksniavimais apatinėje sluoksnio dalyje. Kompleksiniams tyrimams iš viso nuosėdų pjūvio buvo paimti 106 mėginiai: kiekvienas apimantis 10 cm intervalą smėlingose nuogulose, o gitijos ir molio tarp sluoksnyje – 5 cm intervalą. Laboratorijoje iš organika prisotinto sluoksnio buvo atrinkti mėginiai: sporų-žiedadulkių (19 mėginių, 11,05–11,95 m intervale), karbonatų (25 mėginiai, 10,70–12,10 m intervale), absoliutaus amžiaus nustatymui <sup>14</sup>C (AMS) (2 mėginiai, 11,25 ir 11,90 m gyliuose), organinės sudedamosios deginimo nuostoliui (ang. LOI – *loss-on-ignition*) apskaičiuoti (19 mėginių, 11,05–11,95 m intervale). Norint gautus duomenis vėliau koreliuoti tiesiogiai, palinologiniams, LOI ir karbonatų tyrimams bei datavimui <sup>14</sup>C metodu buvo naudojama tų pačių mėginių medžiaga.



1 pav. Tyrimų vieta

**Sporų – žiedadulkių tyrimai.** Mėginiai palinologiniams tyrimams buvo paruošti Gamtos tyrimų centro Geologijos ir geografijos instituto Kvartero tyrimų laboratorijoje pagal standartinę metodiką, sukurtą P. Gričiuo (1940) ir G. Erdtmanno (1936).

Analizės metu, naudojantis NICON mikroskopu su x400 padidiniu, buvo fiksuojama visa pavyzdžiuose randama medžiaga: sporos, žiedadulkės, angliukai, kol virš 500 medžių žiedadulkių ir žolinių augalų žiedadulkių suskaičiuojama kiekviename mėginyje. Žiedadulkės vėliau suskirstytos į grupes: medžių, krūmų, žolinių augalų, vandens augalų žiedadulkes bei sporas. Skaičiavimams ir žiedadulkių diagramos braižymui buvo naudojamos TILIA bei TILIA GRAPH PK programos (Grimm 1990, 1992). Diagramoje žiedadulkės buvo suskirstytos į medžių (*arboreal pollen* – AP) bei žolinių augalų žiedadulkes (*non arboreal pollen* – NAP). Jų suma ( $\sum AP + \sum NAP = 100\%$ ) buvo pagrindas suskaičiuoti atskirų rūšių bei genčių atstovų procentinį kiekį spektruose. Į šią sumą neįtrauktos vandens augalų žiedadulkės bei sporos. Naudojantis TILIA programoje instaliuota statistinė programa buvo atlikta klasterinė duomenų analizė. Remiantis augalų – sporų žiedadulkių sudėties kaita ir klasterinės analizės duomenimis, diagrama suskirstyta į vietines žiedadulkių zonas (VŽZ).

**Nuosėdų medžiaginės sudėties nustatymas ir karbonatų analizė.** Šiame darbe deginimo nuostolio medžiaginės sudėties nustatymui tyrimai atlikti Vilniaus universiteto Gamtos mokslų fakulteto Geologijos ir mineralogijos katedros laboratorijoje. Naudojama elektrinė krosnis SNOL, mėginiai sveriami elektroninėmis svarstyklėmis AXIS BT200 1/100 g tikslumu. Deginimas atliekamas keliais etapais. Pirmuoju etapu paimamas tam tikras nuosėdų kiekis (rekomenduojama imti 5 cm<sup>3</sup>) ir 24 valandas džiovinamas 105 °C laipsnių temperatūroje, nustatant sausos medžiagos svorį. Antruoju ir trečiuoju etapu deginama po 4 valandas atitinkamai 550 °C ir 900 °C temperatūroje. Šių deginimų metu nustatomi organinės ir karbonatinės medžiagos kiekiai kiekviename mėginyje (Bengtsson, Enell 1986). Po džiovinimo ir kiekvieno deginimo pavyzdžiai sveriami (M105, M550 ir M900).

Organinės medžiagos kiekis (A) apskaičiuojamas iš sausos medžiagos ir medžiagos, likusios po deginimo 550 °C temperatūroje:

$$A\% = 100 \times (M105 - M550) / M105$$

Yra apskaičiuota, kad 4 valandas deginant mėginius 550 °C temperatūroje, visa tame mėginyje esanti organika išdega (Gedda 2001).

Kalcio karbonato kiekis (B), apskaičiuojamas pagal CaCO<sub>3</sub> skilimą į CaO ir CO<sub>2</sub> 900 °C temperatūroje:

$$B\% = 100 \times 2,27 \times (M550 - M900) / M105$$

čia 2,27 yra specifinis masės santykis.

Likusios mineralinės medžiagos kiekis (C) apskaičiuojamas iš anksčiau gautų rezultatų:

$$C\% = 100 - A\% - B\%$$

Karbonatų analizė atlikta V. N. Ščerbina metodu su E. Rudnickaitės papildymu. Jos metu 5 % druskos rūgštimi veikiant nuosėdas kalcimetre yra nustatomas išsiskyrusio CO<sub>2</sub> kiekis. Šio metodo išskirtinumas – galimybė nustatyti ne tik bendrą, esantį nuosėdose karbonatų kiekį, bet ir kalcito bei dolomito kiekį atskirai. Esant reikalui galima nustatyti ir kitus karbonatų klasės mineralus. Yra galimybė gautus duomenis perskaičiuoti į kalcio ir magnio oksidų kiekį. Šis metodas detalai aprašytas ankstesnėse publikacijose (Sanko *et al.* 2008; Kabailienė *et al.* 2009).

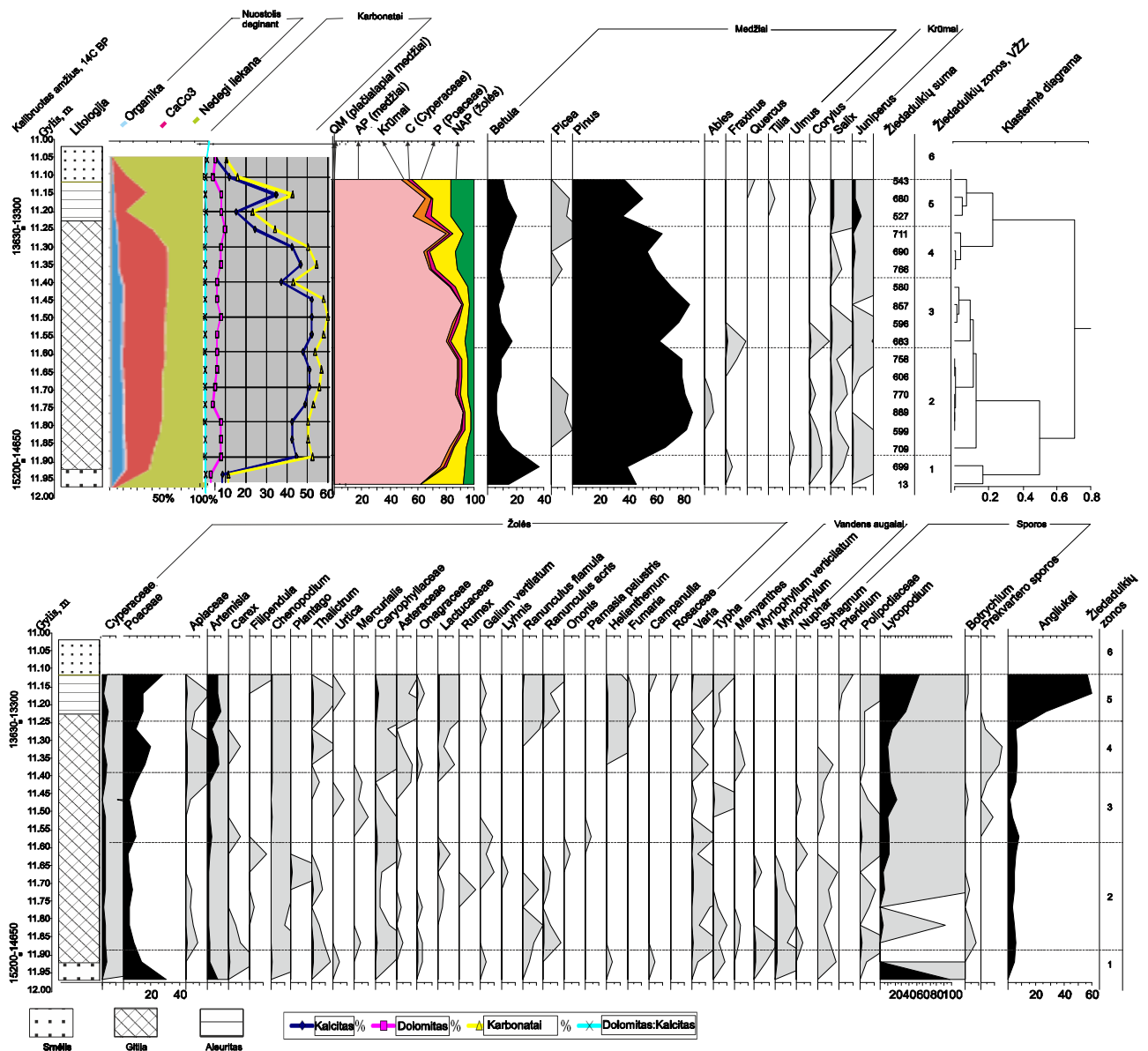
**<sup>14</sup>C (AMS) radioaktyviosios anglies datavimas.** Atsižvelgiant į detalai tiriamų ežerinių nuosėdų litologinę kaitą Ūlos-2 atodangos mėginiai iš 11,90 m ir 11,25 m gylio buvo atrinkti ir nusiųsti absoliutaus amžiaus nustatymui į Poznanės radioaktyvios anglies tyrimų laboratoriją. Kadangi mūsų tiriamosiose gana karbonatingose nuosėdose procentinis organikos kiekis nedidelis, norint išvengti netikslumų, mėginiai buvo tiriami naudojant AMS (*Accelerator mass spectrometry*) metodą. AMS – kitaip tariant, greitintuvų masių spektrometrijos metodas, radioaktyviosios anglies datavimas sukurtas norint datuoti mėginius, kurių sudėtyje gali būti daug mažiau organinės medžiagos, nei reikia atliekant standartinį radioaktyvios anglies datavimą. Standartinio <sup>14</sup>C datavimo metu reikia 1–10 g anglies, o AMS, esant labai mažam organinės medžiagos kiekiui, užtenka 50–100 mikrogramų. Toks datavimas yra tikslesnis, nes galima fiksuoti įvykį konkrečiame gylyje, mažame mėginio paėmimo intervale ar datuoti pavienes augalų makroliekanas.

## Rezultatai ir jų analizė

**Sporų žiedadulkių analizė.** Išanalizavus mėginius, sudarius sporų – žiedadulkių diagramą, išskyrus medžių, krūmų, žolių, vandens augalų, sporų grupes (2 pav.), buvo nustatyta, kad visame pjūvyje labiausiai paplitusios yra medžių žiedadulkės. Jos sudaro nuo 47,9 % iki 92,5 % bendro žiedadulkių skaičiaus. Krūmų žiedadulkės paplitusios labai ribotai. Kiek daugiau paplitusios žolių žiedadulkės, jų kiekis sudaro nuo 7,4 % iki 48,1 % bendro žiedadulkių skaičiaus. Aptinkama ir vandens augalų žiedadulkių. Jų kiekis sudaro tik procento dalis. Reiktų

pažymėti, kad pušies žiedadulkių yra labai daug produkuojama, jos labai didelės ir dėl sandaros oru labai lengvai pernešamos didelius atstumus. Dėl šių priežasčių jų procentinė dalis nuosėdose paprastai yra itin didelė. Pušies žiedadulkės didžiojoje žiedadulkių spektro dalyje viršija 50 %, tad priskiriamos „vietinės“ kilmės žiedadulkėms. Jei pušies žiedadulkių procentinis kiekis yra mažesnis nei 15–20 %, tai galima daryti prielaidą, kad jos yra ne vietinės kilmės, o atneštos iš toliau. Panašiai yra ir su beržo žiedadulkėmis, kurios „vietinės“ kilmės žiedadulkėmis pripažįstamos tik tada, kai bendras jų kiekis spektre viršija 25 % (Huntley, Birks 1983).

Atsižvelgiant į spektre vyraujančių žiedadulkių rūšinę sudėtį diagramoje galima išskirti 6 vietines žiedadulkių zonas (VŽZ) (2 pav.). 11,90–11,95 m gylio intervale išskirta *Betula – Poaceae* zona (VŽZ 1), 11,60–11,85 m – išskirta *Pinus* zona (VŽZ 2), 11,40–11,55 m – išskirta *Pinus – Poaceae* zona (VŽZ 3), 11,25–11,35 m – *Betula – Poaceae – Artemisia* zona (VŽZ 4), 11,10–11,20 m – *Artemisia – Poaceae – Betula* zona (VŽZ 5). 11,05 m gylyje rastos pavienės suardytos žiedadulkės, kurių spektras palinologiškai nereikšmingas (VŽZ 6).



2 pav. Ūla-2 atodangos žiedadulkių diagrama, koreliuota su deginimo nuostolio ir karbonatų analizės rezultatais.

Analizavo L. Gedminienė, M. Stančikaitė, E. Rudnickaitė, 2013

**Deginimo nuostolio tyrimų rezultatai.** Deginimo rezultatai parodė tiriamojo sluoksnio nuosėdų medžiaginę procentinę sudėtį: organinės ir karbonatinės medžiagos bei nedegios liekanos kiekį (2 pav.). Organinės medžiagos daugiausia yra sedimentacinio baseino vystymosi pradžioje ir ji tolygiai mažėja viršutinėje pjūvio dalyje. Karbonatinės medžiagos fiksuojamas palaipsniškas didėjimas, tačiau dėl kažkokių priežasčių sedimentacijos pabaigoje nustatytas staigus sumažėjimas iki minimalaus ir vėl padidėjimas.

**Karbonatų nustatymas.** Kalcimetru nustatytas bendras karbonatų procentinis kiekis gerai koreliuojasi su LOI metodu gautu karbonatinės medžiagos kiekiu. Analizuojant atskirai kalcito ir dolomito procentinės sudėties kaitą, matome, kad kalcito procentinis kiekis tiesiogiai koreliuojasi su deginimo rezultatais, tuo tarpu dolomito kiekis visu laikotarpiu išlieka gana pastovus ir tik nežymiai padidėja tiriamųjų nuosėdų sedimentacijos pradžioje ir pačioje pabaigoje. Toks dolomito kiekio pastovumas rodo buvus gana pastovias sedimentacijos sąlygas, nedidelį prinešamos medžiagos kiekį.

Bendras karbonatų procentinis kiekis gerai koreliuojasi ir su palinologinių tyrimų duomenimis: padidėjus šilumamėgių augalų žiedadulkių kiekiui, padidėja ir karbonatų kiekis; didėjant šaltesnio klimato augalų žiedadulkių kiekiui, karbonatų kiekis nuosėdose mažėja. Taigi šiuo metodu galima patikimai įvertinti klimatinius svyravimus – šiltesnį ar šaltesnį klimatą.

### Chronologija, žiedadulkių stratigrafija ir pagrindiniai augalijos vystymosi etapai

Aplinkos pokyčių chronologija (1 lentelė) remiasi AMS  $^{14}\text{C}$  datavimų rezultatais bei Lietuvos vėlyvojo ledynmečio ir holoceno ežerinių nuosėdų stratigrafiniu suskirstymu (Kabailienė 2006). Siekiant atlikti regioninę gautų rezultatų koreliaciją, buvo remiamasi „įvykių stratigrafijos“ (angl. *event stratigraphy*) metodu, aprašytu Lowe *et al.* 2008. Pagal  $^{14}\text{C}$  datavimų rezultatus ir žiedadulkių analizės duomenis, tiriamosios nuosėdos susklostė vėlyvajame ledynmetyje. Gautos datos 11,25 m gylyje – 11600±60  $^{14}\text{C}$  BP (lab. nr. Poz-44800) bei 11,90 m gylyje – 12660±60  $^{14}\text{C}$  BP (lab. nr. Poz-44802). Datos, pateikiamos straipsnyje, yra kalibruotos OxCal v3.10. programa 95 % patikimumu (Bronk Ramsey 2001, Reimer *et al.* 2009) ir gauti tokie rezultatai: aukščiau slūgsančių nuosėdų amžius yra 13630–13300 kalibruotų metų prieš dabartį, o giliau 15200–14650 kalibruotų metų prieš dabartį.

Didelis kiekis žolinių augalų, ypač *Poaceae*, taip pat beržų žiedadulkių gausa 1-oje žiedadulkių zonoje (2 pav.) liudija, kad aplinkui tuo laikotarpiu augo beržų retmiškiai, kurių pomiškį sudarė varpiniai augalai ir vyravo gana atviri kraštovaizdžiai. Gautos datos rodo, kad šioje zonoje sedimentacija vyko biolingio pabaigoje (atitinka GI-1e įvykį pagal Lowe *et al.* 2008). Tuo metu pietinėje Latvijos dalyje vyravo bemiškė tundra su krūmokšniais ir žolinių augalų bendrijomis (Heikkilä *et al.* 2009). Pietrytinėje Estijos dalyje augalija buvo dar labai menka (Elvebakk 1994).

**1 lentelė.** Standartizuoti klimatiniai įvykiai ir jų chronologinės ribos pagal tyrimų rezultatus (Lowe *et al.* 2008)

Klimatinis įvykis	Kalibruota data, cal y BP	Chronozona	$^{14}\text{C}$ data AMS metodu, cal y BP	Augalijos vystymasis	Klimatas	Sedimentacinio baseino raida
GS-1	~11 650 – 12 850	Vėlyvasis driasas		Augalijos sluoksnio sumažėjimas, ežerinių nuosėdų sedimentacijos pabaiga		Ežerinių nuosėdų sedimentacijos sustojimas, eolinių procesų įsivyravimas
GI-1a	~12 850 – 13 050	Alerodas				
GI-1b	~13 050 – 13 250	Gertsenzee osciliacija	13 630 – 13 300	Tundrinės augalijos vyravimas, kraštovaizdyje atvirų vietovių atsiradimas	Sausa ir šalta, daug gaisrų	Karbonatų ir organikos klostymasis sulėtėjęs
GI-1c	~13 250 – 13 900	Alerodas		Beržų ir pušų retmiškių vyravimas	Šiltas ir drėgnas, didelė solifliukcinių procesų tikimybė	Vandens lygio pakilimas
GI-1d	~13 900 – 14 050	Ankstyvasis Driasas		NAP augalijos padidėjimas	Trumpalaikis pašaltėjimas	Trumpalaikis karbonatų prinešimo sumažėjimas
GI-1e	~14 050 – 14 650	Biolingas	15 200 – 14 650	Tundra su retai augančiais beržais, nestabilūs, vietomis apaugusių nevešlia žole, dirvožemiai	Sausas, su aukštesne metine vidutine temperatūra	Didelis karbonatinės medžiagos prinešimas

2-oje ir 3-oje zonose rastos žiedadulkių bendrijos rodo, kad atvirus kraštovaizdžius su beržų retmiškiais pakeitė pušų miškai, šis pokytis regioniniame kontekste koreliuojamas su aleriodo interstadiu (Stančikaitė *et al.* 1998). Šiuo laikotarpiu Latvijos teritorijoje beržų–pušų retmiškiai tik pradėjo formuotis: iš pradžių teritorijoje paplinta beržai, suformuodami atvirus beržų retmiškius, o pušys pradeda augti tik kiek vėliau (Heikkilä *et al.* 2009). Estijos šiauriniame regione dar tebevyrauja tundra, pavieniuose ežeruose dar tik prasideda sedimentacija (Amon 2011). Baltarusijoje minėtu laikotarpiu fiksuojamos miškatundrėms būdingos augalų bendrijos, o centrinėje Baltarusijoje – pušų–beržų retmiškiai (Novik *et al.* 2009).

4-je ir 5-oje VŽZ staigus NAP (žolinių augalų) padidėjimas ir AP (medžių) sumažėjimas rodo buvus klimatinį nestabilumą, padariusį įtaką paleoaugalijai. Diagramoje užfiksuotas beržų žiedadulkių dominavimas. Gautos  $^{14}\text{C}$  datos (13630–13300 kalibruotų metų prieš dabartį) leidžia teigti, jog šie pokyčiai vyko aleriodo viduryje, pagal Lowe *et al.* (2008) pasiūlytą įvykių stratigrafiją atitinkamai GI-1b įvykio arba Gertsenzės osciliacijos (Lotter *et al.* 2000) mikrosvyravimų metu. Šiuo laikotarpiu Latvijoje dominavo beržų–pušų retmiškiai (Heikkilä *et al.* 2009). Estijos šiaurinėje teritorijoje vyravo vėlyvajam driesui būdinga žolinė tundra, liudijanti vyravus sausą, vėsų klimatą (Amon 2011).

5-osios žiedadulkių zonos formavimosi metu žolinių žiedadulkių kiekis tolygiai didėja, tačiau bendra žiedadulkių koncentracija mažėja, kol 6-oje VŽZ smėlingose nuosėdose lieka tik kelios palinologiškai nereikšmingos suirusios žiedadulkės, liudijančios aplinkoje prasidėjusius eolinius procesus.

## Diskusija

Atsitraukus ledynui, tirtuojoje teritorijoje neigiamose reljefo formose susiformavo sedimentaciniai baseinai, kurių dugne klostėsi organika praturtintos nuosėdos. Pagal tyrimų metu gautas sluoksnio apatinės dalies nuosėdų  $^{14}\text{C}$  datas, 15200–14650 kalibruotų metų prieš dabartį, sedimentacija prasidėjo biolingo laikotarpiu. Atsižvelgiant į tai, jog vidutinei liepos temperatūrai siekiant 12 °C ir 13 °C klimatinės sąlygos palankios pilnai pušų ir beržų vegetacijai, galima teigti, kad klimatas regione jau buvo pakankamai šiltas ir gana sausas (Huusko, Hicks 2009; Kuoppamaa *et al.* 2009). Atvirame landšafte pradėjo augti įvairių augalų, daugiausia žolių bendrijos (2 pav. 1 VŽŽ). Retuose miškuose išplito ir vyravo beržai, gali būti, kad vietomis augo pavienės pušys. Dirvožemiui esant dar labai skurdžiam ir nestabiliam, nemažą vaid-

menį vaidino viksvinės žolės (*Cyperaceae*), vietinę augaliją daugiausia sudarė varpinių (*Poaceae*) atstovai bei kiekiai (*Artemisia*). Klimatui po truputį šylant, šių augalų daugėjo, paplito balandinių (*Chenopodiaceae*) atstovai vingiriai (*Thalictrum*). Šalia vandens telkinio augo karklų (*Salix*), o smėlingesnėse vietose kadagių (*Juniperus*) krūmai. Vietinį pelkėjimą žiedadulkių spektre rodo vandens augalų (*Myriophyllum*) žiedadulkių pasirodymas. Vandens baseine didėjo ne tik bendras organinės, bet ir karbonatinės medžiagos kiekis. Nors ledynas jau buvo senokai pasitraukęs, tačiau teritorijoje buvo gausu smulkios terigeninės medžiagos, suklotos besitraukiančio ir betirpstančio ledyno tirpsmo vandens. Jos prinešimas į sedimentacinę baseiną sąlygojo dolomito kaupimąsi. Dalis karbonatinės medžiagos galėjo patekti ir drenuojantis į baseiną gruntiniam vandeniui. Ankstesniuose tyrimuose, kol dar nebuvo padaryti giliausiai šiame pjūvyje slūgsančių organinių nuosėdų anglies izotopiniai datavimai, buvo manyta, kad ežerinių nuosėdų formavimosi pradžia buvo susijusi su ankstyvuojančiu driesu (Kabailienė 2006, Blažauskas *et al.* 1998), kurio metu klimatas buvo šaltas ir sausas.

Analizuojant tiriamosios medžiagos deginimo nuostolio rezultatus išskyla klausimas, kodėl ties 11,60 m gyliu organikos kiekis nežymiai sumažėja, karbonatų analizės duomenys irgi rodo nežymius svyravimus (2 pav.). Minėta riba fiksuojama ir žiedadulkių diagramoje. Neryškus žolinių augalų ir beržų padidėjimas galėtų būti paveiktas ankstyvojo drieso pašaltėjimo, fiksuojamo globaliai (Kabailienė 2006). Teritorijoje vėl suvešėjo varpinių (*Poaceae*), viksvinių (*Cyperaceae*) šeimos bei kiečių (*Artemisia*) ir balandinių (*Chenopodiaceae*) atstovai. Šaltesnį ir sausesnį klimatą liudija nuosėdose vėl pasirodžiusios karklų (*Salix*), kadagių (*Juniperus*) žiedadulkės. Remiantis gautais duomenimis, šį laikotarpį būtų galima susieti su ankstyvojo drieso pašaltėjimu, tačiau gal ir per drąsu būtų daryti šią išvadą, remiantis tik poros mėginių sporų–žiedadulkių analizės rezultatais, neturint šių nuosėdų datų. Egzistuojančios informacijos pagrindu ir nesant papildomų datavimų duomenų, visą laikotarpį nuo 2 VŽŽ tenka priskirti aleriodo laikotarpiui.

Vėlesni nuosėdose išryškėjantys augalijos sudėties pokyčiai bei medžiagos deginimo nuostolio rezultatai, karbonatų kiekio padidėjimas rodo, kad klimatas vėl tapo šiltesnis. Tuo metu teritorijoje plito netankūs miškai, augo pušys ir beržai, vandenyje klestėjo švendrės (*Typhaceae*), skurdesniame dirvožemyje – balandiniai augalai, dilgėlės (*Urtica*), kiekiai (2 pav., 3 VŽŽ).

Ties analizuojamojo sluoksnio viršutine riba nuosėdose randamų žiedadulkių įvairovė labai pasikeitė. Beržų

žiedadulkių kreivė pasiekia kulminaciją. Spektrai rodo, kad šilumą mėgstančios pušys skurdo ir traukėsi iš teritorijos, jų vietą užėmė žoliniai augalai, o tai rodo sausesnį, šaltą klimatą. Spektro sudėtyje vėl padaugėja karklių, švendrių, savo maksimalias vertes pasiekia ir kadagių (*Juniperus*) žiedadulkių kreivė. Tuo pat metu keičiasi ir litologinė nuosėdų sudėtis – vandens baseine kaupiasi visai nedaug organinės, tačiau daugiau terigeninės, aleuritingos medžiagos. Visi šie pokyčiai liudija aleriodo viduryje prasidėjusius klimatinis pokyčius. 11,25 m gylyje slūgsanti gitijos–aleurito riba buvo datuota 13630–13300 kalibruotų metų prieš dabartį. Ši data yra labai artima GI-1b įvykiui – *Gertsensee* osciliacijai (Lotter 2000). Šiam įvykiui buvo būdingas staigus NAP padidėjimas ir AP kiekio sumažėjimas. Taip pat nuosėdose padidėjo augalų *Botrychium*, *Selaginella*, *Pteridium*, pataisų (*Lycopodium*) sporų kiekiai. Be to, nuosėdose fiksuojamas ženklus anglių kiekio padidėjimas byloja apie šiuo laikotarpiu regione, netoli baseino, siautėjusius gaisrus, susijusius su šaltesniu, tačiau sausesniu klimatinis sąlygų buvimu. Apibendrinant šio įvykio metu yra fiksuojamas organinės ir karbonatinės medžiagos sumažėjimas. Tai rodo aleriodo interstadialo viduryje prasidėjusius mikroklimatinius svyravimus – atšalimą ir požeminio vandens lygio kritimą sedimentaciniame baseine, dėl to kito ir augalijos sudėtis. Šiuo laikotarpiu mineralinės medžiagos prinešimas į tiriamąjį vandens baseiną pasiekė piką, matyt, tuo laikotarpiu prasidėjo kontinentinių kopų judėjimas.

Po šio trumpalaikio klimatinio svyravimo klimatas vėl atšilo, bet labai trumpam. Tai fiksuoja tiek ir trumpalaikis šilumamėgių augalų žiedadulkių atsiradimas spektre, tiek ir karbonatų analizės duomenys. Vėliau, matyt, į regiono aplinkos formavimąsi buvo įtraukta keletas faktorių: vėstant klimatui ir ženkliai keičiantis augalijos sudėčiai bei padidėjus atviro kraštovaizdžio plotams, dirvožemis tapo nestabilus ir lengvai pažeidžiamas. Prasidėjus dirvožemio bei gilesnių sluoksnių pustymui, organinė sedimentacija vandens baseine nutrūko. Ežerinių nuosėdų storumės klostymasis baigėsi. Visas regionas, įskaitant ir tiriamąjį sedimentacinį baseiną, buvo užpustytas ir pakeistas neatpažįstamai (1 lentelė).

Paleoaplinkos tyrimai padeda atskleisti įvairius faktorius, lėmusius tuometinę gamtinės aplinkos kaitą, užfiksuotą vandens baseino dugno nuosėdose. Pastarųjų šimtmečių aplinkos pokyčius savo darbuose fiksavo ir analizavo įvairūs specialistai ir mokslininkai. Dabartinės ekosistemos gali būti tiriamos dar įvairesniais metodais, prognozuojama jų kaita, poveikis žmogaus ūkinei veiklai. Technogeniniai pokyčiai labai paveikė nuo klimato, temperatūros, geografijos, hidrologijos natūralios augalijos ir

gyvūnijos migracijos priklausančius ciklus. Ekologai, įvertinę padarytą žalą, bando atkurti nykstančias augalijos ir gyvūnijos buveines.

Paleoaplinkos tyrimų rezultatai gali padėti suprasti, kas vyko iki žmogaus ūkinės veiklos įtakos. Tačiau ne viskas gali būti gražinama, nes gamtiniai ciklai labai priklauso ir nuo globalių įvykių: pradedant nuo makro faktorių, tokių kaip apledėjimai, saulės aktyvumas, erozija, eoliniai veiksniai, baigiant pačios augalijos ar gyvūnijos sukcesija, bioakumuliacija ir dirvodara. Neignoruojant ekologijos mokslo dalies – paleoekologijos – galima įvertinti paklaidą, atsirandančią dėl antropogeninės veiklos bei apskaičiuoti leistinas žmogaus poveikio aplinkai ribas, kad padaroma žala būtų kuo mažesnė.

## Išvados

1. AMS metodu gautos  $^{14}\text{C}$  datos rodo sedimentaciją prasidėjus 15200–14650 kalibruotų metų prieš dabartį. Organika prisotintų nuosėdų sedimentacija pasibaigė prasidėjus aktyviems eolinis procesams.

2. Sporų–žiedadulkių tyrimų duomenimis, vėlyvojo ledynmečio interstadialo viduryje fiksuojami ženklūs paleoaugalijos pokyčiai. Klimato sąlygų pasikeitimą rodo ir karbonatingumo kreivės. AMS metodu gautos  $^{14}\text{C}$  datos 15200–14650 kalibruotų metų prieš dabartį bei paleoaplinkos sąlygų pasikeitimas savo pobūdžiu ir chronologija sietinas su Europoje fiksuojama *Gertsensee* osciliacija arba GI-1b intervalu (Lotter *et al.* 2000).

3. Pagal žiedadulkių tyrimų rezultatus bei  $^{14}\text{C}$  datavimą, vėlyvajame ledynmetyje išskirtos augalijos fazės: beržų retmiškiai, kurių pomiškį sudarė varpiniai augalai – biolingo pabaiga (GI-1e), pušų miškai ir beržų retmiškiai – alerodo pradžia (GI-1c-d), tundra su retais beržais, vyraujančiais jose, bemiškės atviros teritorijos – alerodo vidurys (GI-1b). Šios paleoaugalijos fazės koreliuojasi su atitinkamų laikotarpių augalijos, vyravusios rytų Baltijos regione, sudėtimi.

4. Gauti rezultatai leidžia tvirtinti, jog nuosėdos formavosi vėlyvojo ledynmečio metu, jo šilčiausio intervalo – interstadialo pirmojoje pusėje.

5. Dėl natūralių procesų aplinka gali keistis drastiškai, tačiau chronologiškai siejant lokalius ir globalius aplinkos pokyčius, kombinuojant dabartinės aplinkotyros ir paleoaplinkos tyrimų rezultatus galima atskleisti, kiek prie tų pokyčių prisideda ir žmogus.

## Padėkos

Lauko darbus ir datavimą finansavo Lietuvos mokslo taryba (sutartis Nr. LEK-03/2010).

## Literatūra

- Amon, L. 2011. *Palaeoecological Reconstruction of Late – Glacial Vegetation Dynamics in Eastern Baltic Area: A View Based on Plant Macrofossil Analysis*. Dissertation. Tallinn University of technology. Faculty of Science. Institute of Geology. 154 p.
- Basalykas, A. 1955. *Lietuvos TSR Pietryčių smėlėtoji lyguma (geomorfologinė apybraiža)*. Moksliniai darbai. VU. Biol., geol., geogr. 3. Vilnius. 65–112 p.
- Bengtsson, L.; Enell, M. 1986. *Chemical analysis*. Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. John Wiley & son. Chichester. 423–454.
- Blažauskas, N.; Kisielienė, D.; Stančikaitė, M.; Kučinskaitė, V.; Šeirienė, V.; Šinkūnas, P. 1998 Late Glacial and Holocene sedimentary environment in the region of Ūla river, *Geologija* 25: 20–30.
- Bronk Ramsey C. 2001. Development of the radiocarbon program OxCal, *Radiocarbon* 43(2A): 355–363.
- Elvebakk, A. 1994. A survey of plant associations and alliances from Svalbard, *Journal of Vegetation Science* 5: 791–802.
- Erdtman, G. 1936. *New method in pollen analysis*. Svensk Botanisk Tidskrift. 30. 154–164.
- Gedda, B. 2001. *Environmental and climatic aspects of the early to mid Holocene calcareous tufa and land mollusc fauna in southern Sweden*. Lundqua Thesis 45, Department of Quaternary Geology, Lund University, Sweden, 10 p.
- Grichiuk, A. I. 1940. *The preparation methodology of the organic poor sediments for the pollen analysis*. Problems of Physical Geography. Moscow: Nauka. 40 p.
- Grimm, E. 1990. *Tilia Graph PC Spreadsheet and Graphics Software for Pollen Data*. INQUA Cam. for Study of the Holocene. Work Group on Data. Newsletter (4): 5–7.
- Grimm, E. 1992. TILIA and TILIA GRAP: PC Spreadsheet and Graphics Program, in *The 8<sup>th</sup> International Palynological Congress: Program and Abstracts*. Aix-en-Provence, France. 56 p.
- Gudelis, V. 1958. *Lietuvos geografinės aplinkos raida geologinėje praeityje*. Lietuvos fizinė geografija. Vilnius. 81–100 p.
- Heikkilä, M.; Fontana, S. L.; Seppä, H. 2009. Rapid Lateglacial tree population dynamics and ecosystem changes in the eastern Baltic region, *Journal of Quaternary Science* 24: 802–815.
- Huntley, J.; Birks, H. J. B. 1983. *An atlas of past and present pollen maps for Europe: 0-13.000 years ago*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Huusko, A.; Hicks, S. 2009. Conifer pollen abundance provides a proxy for summer temperature: evidence from the latitudinal forest limit in Finland, *J Quat Sci* 24: 522–528.
- Kabailienė, M. 2006. *Gamtinės aplinkos raida Lietuvoje per 14000 metų*. Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla. 471 p.
- Kabailienė, M.; Vaikutienė, G.; Damušytė, A.; Rudnickaitė, E. 2009. Post-Glacial stratigraphy and palaeoenvironment of the northern part of the Curonian Spit, Western Lithuania, in Satkunas, J.; Stancikaite, M. (Eds.). *Pleistocene and Holocene Palaeoenvironments and Recent Processes across NE Europe*. Elsevier, Amsterdam, Quaternary international. 207(1–2): 69–79.
- Kuoppamaa, M.; Goslar, T.; Hicks, S. 2009. Pollen accumulation rates as a tool for detecting land-use changes in a sparsely settled boreal forest, *Veget Hist Archaeobot* 18: 205–217.
- Lotter, A. F.; Birks, H. J. B.; Eicher, U.; Hofmann, W.; Schwander, J.; Wick, L. 2000. Younger Dryas and Allerød summer temperatures at Gerzensee (Switzerland) inferred from fossil pollen and cladoceran assemblages, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 159: 349–361.
- Lowe, J. J.; Rasmussen, S. O.; Björck, S.; Hoek, W. Z.; Steffensen, J. P.; Walker, M. J. C.; Yu, Z. C.; Grp, I. 2008. Synchronisation of palaeoenvironmental events in the North Atlantic region during the Last Termination: a revised protocol recommended by the INTIMATE group, *Quaternary Science Reviews* 27(1–2): 6–17.
- Novik, A.; Punning, J. M.; Zernitskaya, V. 2009. The development of Belarusian lakes during the Late Glacial and Holocene, *Estonian Journal of Earth Sciences* 59(1): 63–79.
- Reimer, P. J.; Baillie, M. G. L.; Bard, E.; Bayliss, A.; Beck, J. W.; Blackwell, P. G.; Bronk Ramsey, C.; Buck, C. E.; Burr, G. S.; Edwards, R. L.; Friedrich, M.; Grootes, P. M.; Guilderson, T. P.; Hajdas, I.; Heaton, T. J.; Hogg, A. G.; Hughen, K. A.; Kaiser, K. F.; Kromer, B.; McCormac, F. G.; Manning, S. W.; Reimer, R. W.; Richards, D. A.; Southon, J. R.; Talamo, S.; Turney, C. S. M.; vander Plicht, J.; Weyhenmeyer, C. E. 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 year's cal BP, *Radiocarbon* 51(4): 1111–1150.
- Sanko, A.; Gaigalas, A. J.; Rudnickaitė, E.; Melešytė, M. 2008. Holocene malacofauna in calcareous deposits of Dūkšta site near Maišiagala in Lithuania, *Geologija* 4(50): 290–298.
- Stančikaitė, M.; Šeirienė, V.; Šinkūnas, P. 1998. New results of Pamerkiai outcrop investigations, South Lithuania, *Geologija* 23: 77–88.

## APPLICATION OF THE POLLEN DATA TO THE RECONSTRUCTION OF PALAEOENVIRONMENTAL AND CLIMATIC VARIATIONS: INVESTIGATION OF THE ŪLA-2 OUTCROP

L. Gedminienė, M. Stančikaitė, P. Šinkūnas, E. Rudnickaitė, G. Vaikutienė

### Summary

The main aim of the investigations conducted was to analyse lateglacial environmental changes in south-eastern Lithuania. Multidisciplinary methods (pollen, LOI, carbonate analysis, isotope <sup>14</sup>C (AMS)) were applied to organically enriched deposits, covered with the aeolian sand, in the outcrop located on the left bank of Ūla River, the left tributary of Merkys River (54°06'34,1''N, 24°28'44,4''E). The data collected, including the results of radiocarbon dating from Poznan Radiocarbon Laboratory, indicate that sedimentation started at the beginning of lateglacial interstadial, the warmest period of the investigated Lateglacial interval. Deposition of the gyttja started at about 15200–14650 cal. yr BP, or during GI-1e event (Lowe *et al.* 2008), and was interrupted at 13630–13300 cal. yr BP, during the GI-1b event. Pollen data show that *Betula* predominated forests with the grasses enriched with? underwood existed during the GI-1e climatic event, when the amount of organic matter in the sediments increased. Later, an increase in *Pinus* representation is observed. Approaching the upper part of sediments, some instability in the pollen diagram is seen. Abundance of the cold-tolerant plants suggests colder and dryer climate which determined a thinning of the forest cover and expansion of different herbs. According to our new data these sediments were deposited during the GI-1b or Gertsensee climatic event. Infilling of this sedimentation basin ended during this climatic event, much earlier than previously thought.

**Keywords:** palaeoecology, palynology, palaeoenvironmental history, climate change, Lateglacial, GI-1b climatic event.