

VILNIAUS UNIVERSITETAS

Laura Veriankaitė

**ŽIEDADULKIŲ KONCENTRACIJA ORE: CIRKULIACINIAI IR
FENOLOGINIAI ASPEKTAI**

Daktaro disertacija
Fiziniai mokslai, geografija (06 P)

Vilnius, 2010

Disertacija rengta 2006–2010 metais Vilniaus universitete

Mokslinis vadovas:

prof. dr. Arūnas Bukantis (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, geografija
-06P)

Konsultantas:

doc. dr. Ingrida Šaulienė (Šiaulių universitetas, biomedicinos mokslai, botanika
-04B)

TURINYS

DARBE NAUDOJAMOS SANTRUMPOS	12
1. LITERATŪROS APŽVALGA	14
1.1 Aeropalinologinių ir fenologinių tyrimų raida bei jų taikomieji aspektai	14
1.2. Meteorologinių sąlygų analizė aeropalinologiniuose ir fitofenologiniuose tyrimuose	25
1.3. Žiedadulkių tolimosios pernašos tyrimai	33
1.4. Klimato kaitos scenarijų taikymas aeropalinologijoje ir fitofenologijoje	37
2. DARBO METODIKA IR NAUDOTI DUOMENYS	43
2.1. Žiedadulkių sklaidos atmosferoje tyrimai.....	43
2.2. Oru sklindančių žiedadulkių sezono ir augalų pražydimo palyginimas	48
2.3. Oro masių bei tolimosios pernašos įtakos žiedadulkių sklaidai nustatymas.....	49
2.4. Meteorologinių sąlygų poveikio žiedadulkių koncentracijai nustatymas	55
2.5. Augalų žydėjimo dėsningumą ir terminio režimo įtakos tyrimai	56
2.6. Klimato kaitos poveikio augalų pražydimui Lietuvoje tyrimas.....	60
3. DARBO REZULTATAI.....	64
3.1. Žiedadulkių sklaidos atmosferoje analizė.....	64
3.2. Oru sklindančių žiedadulkių sezono ir augalų pražydimo analizė	87
3.3. Oro masių bei tolimosios pernašos įtakos žiedadulkių sklaidai vertinimas	92
3.3.1. Atgalinių trajektorijų ir žiedadulkių kiekio Lietuvoje analizė	93
3.3.2 Tolimosios pernašos įtaka žiedadulkių koncentracijai Lietuvoje ..	107
3.4. Meteorologinių sąlygų poveikis žiedadulkių sklaidai atmosferoje.....	125
3.5. Augalų pražydimo datų kaitos analizė ir terminis režimas	141
3.5.1. Paprastojo lazdyno žydėjimo fazės analizė.....	142
3.5.2. Karpotojo beržo žydėjimo fazės analizė	150

3.5.3. Mažalapės liepos žydėjimo fazės analizė.....	158
3.6. Klimato kaitos poveikis augalų pražydimui Lietuvoje XXI a.	166
3.6.1. Paprastojo lazdyno žydėjimo pokyčiai Lietuvoje XXI a.	168
3.6.2. Karpotojo beržo žydėjimo pokyčiai Lietuvoje XXI a.	172
3.6.3. Mažalapės liepos žydėjimo pokyčiai Lietuvoje XXI a.	176
IŠVADOS	179
LITERATŪRA	182
PUBLIKACIJOS DISERTACIJOS TEMA	207
PRIEDAI.....	208

ĮVADAS

Greitas techninis progresas, nuolat kintančios aplinkos sąlygos ir sparti mokslo pažanga yra neatsiejama šiandieninės visuomenės vystymosi dalis. Sukaupta nemažai mokslo žinių leidžia tinkamai įvertinti gamtoje vykstančių procesų poveikį ne tik gamtinės aplinkos kokybei, bet ir žmogaus veiklai. Klimato kaita ir jos padariniai neretai detalizuojami pasitelkiant įvairių fizinių ar biologinių parametrų daugiamečių duomenų pokyčius, pavyzdžiui, oro temperatūros augimas, jūros vandens lygio kilimas, augalų vegetacijos ankstyvėjimas, invazinių, advekcinės (nevietinės) kilmės, rūšių plitimas ir pan. Sąsajos tarp dabartinės visuomenės gerovės ir ateities pokyčių klimato kaitos kontekste paremtos ilgą duomenų seką turinčių įrodymų pagrindu.

Lietuvoje moksliniu požiūriu įdomi klimato kaitos padarinius galinti iliustruoti fenologinė ir aerobiologinė informacija. Aerobiologinių duomenų pagrindu vyksta nuolatinė žiedadulkių sklaidos atmosferoje stebėseną. Dėl mokslinio pritaikymo ir vykdomų tyrimų aktualumo žiedadulkių sklaidos atmosferoje dėsningumų nustatymai sulaukia vis didesnio mokslininkų susidomėjimo. Mokslo plėtros kontekste biologinės kilmės dalelės tapo mokslininkų, dirbančių skirtingose mokslo srityse, kryptyse ir šakose, tyrimo objektu (Abreu et al., 2003; Belmonte et al., 2008; Skjøth et al., 2009c). Sujungus biomedicinos ir fizinių mokslų srityse dirbančių mokslininkų iniciatyvą, vystomas naujas tarpdisciplininis mokslas. Sparčiai besivystanti aerobiologija, kuri iš dalies priklauso ir biometeorologijai, užima svarbią vietą Europos mokslinėje visuomenėje, o Lietuvoje šio pobūdžio tyrimai pradėti plėtoti visai neseniai (Saar et al., 2000; Šaulienė ir kt., 2003; Šaulienė, Motiekaitytė, 2005).

Žiedadulkių sklaidos atmosferoje tyrimai glaudžiai susiję ir su fenologijos mokslu, kuris yra vienas seniausių, siekiantis net 801 m. (Aono, Kazui, 2008). Remiantis daugiamečiais fenologinių stebėjimų duomenimis, pradėta aiškinti chronologiška sezoninių reiškinių eiga (Nacevičius, 1958; Kulienė, Tomkus, 1990; Romanovskaja, 2003), taikomi skirtingi modeliai

fenologiniams reiškinių pokyčiams įvertinti (Snyder et al., 1999; Črepinšek et al., 2006). Lietuvoje fenologija ilgą laiką sieta su žemės ūkiu ir agrometeorologija. Kintančio klimato sąlygomis fenologinių stebėjimų duomenys svarbūs ne tik žemės ūkiui, bet ir aiškinantis anemofilinių augalų žiedadulkių judėjimo tendencijas atmosferoje bei pagrindinius jų sklaidos principus. Fenologiniai stebėjimai yra vykdomi taikant vizualiuosius metodus (Bruns et al., 2003), todėl kartais jie sulaukia mokslininkų kritikos (Siljamo et al., 2008a). Sumažinus tokių stebėjimų galimas paklaidas, gaunama naudinga ir vertinga informacija, turinti praktinės reikšmės.

Vienas aktualių šiuolaikinių mokslinių fitofenologijos pritaikymų – žiedadulkių sklaidos atmosferoje prognozavimas. Oru pernešamų žiedadulkių tyrimai yra svarbūs, kadangi dalis žmonių populiacijos yra jautri specifiniams baltymams, kurie žmogaus organizme sukelia alerginę reakciją. Žiedadulkių alergenai ne tik sukelia nemalonius pojūčius, alergijų protrūkius, apsunkina plaučių ligų eigą, bet ir blogina žmonių gyvenimo kokybę. Būtent šiais aspektais grindžiamas aerobiologinių duomenų analizės praktinis pritaikymas. Moksliniais tyrimais įrodyta, kad žiedadulkių alergijos problema yra aktuali visoje Europoje, o alergijos intensyvumas skiriasi priklausomai nuo augalų dulkėjimo pradžios ir žydėjimo trukmės skirtingose vietovėse (D'Amato et al., 2007a, b). Įvairių sričių mokslininkai, taip pat ir meteorologai, sutelkia tarptautines pajėgas siekdami išspręsti šį klausimą.

Kitas taikomas mokslo apie žiedadulkių sklaidą aspektas tas, kad, remiantis žiedadulkių sklaidos modeliavimo ir prognozavimo rezultatais, galima informuoti visuomenę apie skirtingų augalų genčių ir šeimų žiedadulkių koncentracijų pasiektas ribines vertes ir numatomas žiedadulkių kitimo tendencijas. Prognozavimo tikslumas priklauso nuo aibės kintamųjų, tačiau oru pernešamų žiedadulkių sklaidą atmosferoje lemiantys procesai, kurie tiesiogiai priklauso nuo meteorologinių bei klimatinių tam tikros teritorijos sąlygų (Emberlin et al., 2007), yra vieni svarbiausių tiriamųjų objektų.

Žydėjimo laikotarpių nustatymas – ne mažiau aktuali prognozavimui tyrimo dalis. Kadangi ore sklidančios žiedadulkės ir mikrosporos yra

priklausomos nuo augalų žydėjimo ir sporifikavimo laikotarpio, todėl detali fenologinių duomenų analizė yra būtina atliekant žiedadulkių kiekių, sezonų trukmės įvertinimus, taip pat norint apibrėžti galimą klimato kaitos poveikį žiedadulkių kiekiui atmosferoje. Žydėjimo duomenys aerobiologijoje yra svarbūs, kadangi suteikia pagrindą žiedadulkių prognozei sudaryti. Tuo pat metu suvokiama, kad vienas stebėjimo taškas dar neįgalina spręsti apie žiedadulkių koncentracijos kitimus laike ir erdvėje. Norint sudaryti tinkamas prognozes, reikia atsižvelgti į augalų žydėjimo dėsningumus. Ilgalaikiai fenologiniai stebėjimai yra svarbūs nusakant aeropalinologinę situaciją ir vertinant klimato kaitos įtaką augalų vegetacijai. Žiedadulkių sklaidos pokyčiai taip pat svarbūs klimato kaitos indikatoriai, o kompleksinė aeropalinologinių ir fitofenologinių duomenų analizė leidžia nustatyti tikėtinus pokyčius ateinančiam šimtmečiui.

Darbo objektas

Lietuvos bioaerazolį sudarančių žiedadulkių sklaida ir ją lemiantys veiksniai bei dėl klimato kaitos vykstantys augalų žydėjimo pokyčiai.

Darbo tikslas

Nustatyti žiedadulkių koncentracijos pokyčius atmosferoje ir įvertinti juos lemiančių cirkuliacinių ir meteorologinių veiksnių poveikį žiedadulkių sklaidai ore kintančio klimato sąlygomis.

Darbo uždaviniai:

1. Nustatyti oru pernešamų žiedadulkių kiekio atmosferoje pokyčius.
2. Palyginti žiedadulkių koncentracijos ore sezonus su augalų pražydimo periodais.
3. Įvertinti atmosferos cirkuliacijos ir tolimosios oro masių pernašos įtaką žiedadulkių koncentracijai.
4. Ištirti meteorologinių veiksnių įtaką žiedadulkių koncentracijos kitimui.

5. Įvertinti terminio režimo poveikį augalų pražydimui ir, remiantis daugiamečiais augalų fenologiniais duomenimis, nustatyti klimato pokyčių įtaką augalų pražydimui XXI a.

Ginamieji teiginiai:

1. Vegetacijos metu Lietuvos oro erdvėje bioaerolio žiedadulkės yra vietinės ir advekinės kilmės.
2. Oro masių pernaša yra vienas veiksnių, lemiančių oru sklindančių žiedadulkių koncentraciją Lietuvoje.
3. Oro temperatūra ir santykinis drėgnumas yra svarbiausi meteorologiniai veiksniai, sąlygojantys žiedadulkių koncentracijos kitimą ore.
4. XXI a. Lietuvoje augalų žydėjimo pradžia dėl klimato šiltėjimo paankstės.

Mokslinis darbo naujumas ir jo reikšmė

Šiame darbe pirmą kartą Lietuvoje: 1) remiantis aeropalinologinių stotelių duomenimis, išskirti dideliais žiedadulkių kiekiais atmosferoje pasižymintys žiedadulkių morfotipai Lietuvoje; 2) atliktos sąsajos tarp aeropalinologinių ir fitofenologinių stebėjimo duomenų; 3) remiantis SILAM ir HYSPLIT modeliais, įvertinta žiedadulkių sklaida atmosferoje ir tolimoji žiedadulkių pernaša Lietuvoje; 4) nustatytas oro temperatūros, santykinio oro drėgnumo, kritulių kiekio, vėjo greičio poveikis žiedadulkių sklaidai atmosferoje; 5) remiantis klimato kaitos prognozių duomenimis, sudarytos prognozės, nusakantios augalų žydėjimo pradžią XXI a. trijų dešimčių laikotarpiams (2001–2030 m.; 2031–2060 m. ir 2061–2090 m.).

Darbo aktualumas ir pritaikomumas

Žiedadulkių sklaidos tyrimai yra svarbūs įvairiais aspektais ir suteikia vertingos informacijos, pavyzdžiui: medicinoje – apie natūralių alergenų sklaidos atmosferoje ypatumus, biologijoje – genetinės informacijos mainų lygmenyje, ekologijoje – preliminariai nustatant tam tikrų rūšių paplitimo

arealus. Gaunami vertingi duomenys žiedadulkių sklaidos modeliams kurti ir tobulinti, kurie svarbūs žmonėms, turintiems alerginių problemų, susijusių su žiedadulkėmis. Šiame darbe nustatyti dėsningumai yra svarbūs prognozuoti žiedadulkių koncentracijas ore, kurie yra būtini norint užtikrinti visuomenės gyvenimo kokybę. Atlikti žiedadulkių sklaidos tyrimai suformuos aeropalinologinių tyrimų pagrindą Lietuvoje, kuris naudingas žmonėms, turintiems problemų dėl žiedadulkių, taip pat leis įvertinti ateities pokyčius, susijusius su klimato kaita.

Augalų žydėjimo tarpsniai svarbūs ne tik žemės ūkio mokslams, bet ir naujai sparčiai pasaulyje besivystančiai aerobiologijai. Ilgą laiką fenologinė informacija buvo naudojama nustatant fitoindikatorių vystymosi dėsningumus ir aprašant žemės ūkio kultūrų fenofazes. Besivystant naujoms tarpsritinėms mokslo kryptims, fitofenologija įgavo naują pritaikymo galimybę. Ilgalaikiai ir nenutrūkstami augalų žydėjimo duomenys leidžia įvertinti dėsningumus, susijusius su klimato kaitos aspektais bei suteikia pagrindą žiedadulkių sklaidos modeliavimui kintančio klimato sąlygomis.

Rezultatų aprobavimas

Darbo rezultatai pristatyti 8 tarptautinėse konferencijose ir 1 respublikinėje konferencijoje.

- 4th International Conference “Research and conservation of biological diversity in Baltic region”, Daugpilis, Latvija. 2007-04-25 – 2007-04-27. Žodinis pranešimas „The analysis of the impact of long distance air mass to airborne pollen concentration”. I. Šaulienė, L. Veriankaitė, A. Lankauskas.

- The 8th European Pollen Symposium, Bad Lippspringe, Vokietija. 2008-03-29 – 2008-03-30. Žodinis pranešimas „The case study of the comparison between aerobiological situation and local phenological data“. I. Šaulienė, L. Veriankaitė.

- The 50th International Scientific Conference of Daugavpils University, Daugpilis, Latvija. 2008-05-15 – 2008-05-17. Žodinis pranešimas

„Peculiarities of flowering dates and pollen counts of *Betula* genus in Lithuania (2004–2007)”. L. Veriankaitė, I. Šaulienė.

- The 4th European Symposium on Aerobiology, Turku, Suomija. 2008-08-12 – 2008-08-16. Stendinis pranešimas „Influence of climate changes on flowering phase of selected plants in Lithuania”. L. Veriankaitė, A. Bukantis.

- The 51st International Scientific Conference of Daugavpils University, Daugpilis, Latvija. 2009-04-15 – 2009-04-17. Žodinis pranešimas „The analysis of flowering periods according to usage of different climate change scenarios”. L. Veriankaitė, A. Bukantis, I. Šaulienė.

- 5th International conference “Research and Conservation of Biological diversity in Baltic Region”, Daugpilis, Latvija. 2009-04-22 – 2009-04-24. Stendinis pranešimas „The analysis of changes of climate and phytophenological variables”. L. Veriankaitė, A. Bukantis, I. Šaulienė.

- 7th International Meeting. Pollen Monitoring Programme, Taxiarchis (Chalkidiki), Graikija. 2009-04-22 – 2009-04-27. Stendinis pranešimas „The case study of airborne *Ambrosia* pollen in Lithuania”. I. Šaulienė, A. Bukantis, L. Veriankaitė.

- Nordisk Aerobiologisk Förening (NAF) Symposium XII, Kopenhaga, Danija. 2009-08-28 – 2009-08-30. Stendinis pranešimas „Relationship between birch flowering phenology and airborne pollen season in Lithuania”. L. Veriankaitė, I. Šaulienė, A. Bukantis.

- 12-oji jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“, Vilnius, Lietuva. 2009-04-02. Žodinis pranešimas „Terminio režimo poveikis augalų žydėjimo fazėms Lietuvoje: fenologiniai ir klimatiniai aspektai“. L. Veriankaitė, A. Bukantis.

Publikacijos

Disertacijos tema paskelbti 5 straipsniai moksliniuose leidiniuose, įrašytuose į Mokslinės informacijos instituto (ISI) sąrašą. 3 iš jų moksliniuose leidiniuose, įtrauktuose duomenų bazėje „ISI Web of Science“.

Darbo struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, literatūros apžvalga, darbo metodika, darbo rezultatų skyriai, išvados, 242 literatūros šaltinių sąrašas, priedai. Disertacijoje pateikta 14 lentelių ir 80 paveikslų.

Padėkos

Nuoširdžiai dėkoju prof. dr. A. Bukančiui ir dr. I. Šaulienei už pagalbą ruošiant disertaciją. Už pagalbą ir vertingus patarimus dėkoju dr. E. Rimkui, dr. J. Kažiui ir visam VU Hidrologijos ir klimatologijos katedros kolektyvui, dr. M. Sofiev, P. Siljamo, dr. J. Kukkonen, dr. Å. Dahl. Taip pat nuoširdžiai dėkoju dr. L. Kalninai už suteiktus tyrimui vertingus aerobiologinius duomenis. Esu labai dėkinga šeimos nariams ir kolegoms už kantrybę ir palaikymą.

DARBE NAUDOJAMOS SANTRUMPOS

- ARL – Oro išteklių laboratorija (**Air Resources Laboratory**)
- EAN – Europos aeroalergenų tinklas, žiedadulkių duomenų bazė (**The European Aeroallergen Network Pollen Database**)
- ECHAM – Makso Planko Meteorologijos instituto bei Vokietijos Klimato skaičiavimo centro sukurtas globalinis cirkuliacijos modelis
- ECMWF – Europos vidutinės trukmės orų prognozių centras (**The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts**)
- GDAS – globalinė duomenų asimiliacijos sistema (**Global Data Assimilation System**)
- HadCM – Hadley klimato tyrimų ir prognozių centro sukurtas globalinis cirkuliacijos modelis
- HIRLAM – aukštos rezoliucijos ribotos erdvės modelis (**High Resolution Limited Area Model**)
- HYSPLIT – hibridinis vienos dalelės integruotos trajektorijos Lagranžo modelis (**HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model**)
- IPCC – Tarpvyriausybė klimato kaitos komisija (**Intergovernmental Panel on Climate Change**)
- LHMT – Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos
- NCAR – Nacionalinis atmosferos tyrimų centras (**The National Center for Atmospheric Research**)
- NCEP – Nacionalinis aplinkos prognozių centras (**The National Centers for Environmental Prediction**)
- NOAA – Jungtinių Amerikos Valstijų Nacionalinė vandenyno ir atmosferos administracija (**The National Oceanic and Atmospheric Administration**)
- OECD90 – IPCC pasaulio klasifikacijos šaka, kuriai priskiriamos industrinės šalys, įskaitant JAV, Vakarų Europą, Australiją ir Japoniją
- REF – IPCC pasaulio klasifikacijos šaka, kuriai priskiriamos šalys, įgyvendinančios ekonominę reformą, įskaitant Rytų Europą bei buvusias Sovietų sąjungos šalis

SILAM – Suomijos meteorologijos instituto oro kokybės ir perspėjimo dispersinė modeliavimo sistema (Finnish Meteorological Institute Air Quality and Emergency Modelling System)

SRES – IPCC specialioji ataskaita apie šiltnamio dujų emisijos scenarijus (IPCC **S**pecial **R**eport on **E**missions **S**cenarios)

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1 Aeropalinologinių ir fenologinių tyrimų raida bei jų taikomieji aspektai

Palinologija yra apibrėžiama, kaip mokslas apie žiedadulkes (1944 m. H. Hyde ir D. Williams įvestas terminas), kuris nagrinėja jau iš augalų išbyrėjusias ir toli perneštas žiedadulkes bei sporas (Biesboer, 1977; Kabailienė, 1979). Šio mokslo vystymosi raida, kryptimis bei taikymo aspektais domimasi jau nuo seno. Žiedadulkių tyrimų rezultatai plačiai taikomi įvairiose mokslo srityse: geologijoje, nustatant geologinių sluoksnių amžių, atkuriant augalijos ypatumus ir praeities klimatines sąlygas (Kabailienė, 1979, Stančikaitė et al., 2003; Kabailienė, 2006; Kalnina et al., 2007; Gaigalas et al., 2008); archeologijoje, nustatant radinių amžių, žmonių verslovių raidą (De Pascale et al., 2006; Gearey et al., 2009; Stančikaitė et al. 2009); medicinoje, tiriant alerginius susirgimus, negalavimų priežastis bei reakcijas į skirtingus alergenų (Dubakienė, 2002; Staikūnienė ir kt., 2005; Radauer, Breiteneder, 2006; Wagner et al., 2008); kriminalistikoje, nagrinėjant bylas (Wiltshire, 2006; Phuphumirat et al., 2009); bitininkystėje, apibūdinant medaus kokybę (Piana et al., 2006; Bibi et al., 2008). Dabar mokslininkai žiedadulkėmis domisi ne mažiau nei šis mokslas pradėjo vystytis.

Analizuojant mokslo apie žiedadulkes ištakas, pastarąsias galima atrasti net 835 m. pr. Kr., kada aptikti pirmieji užrašai apie žiedadulkes Asirijos šventyklų akmeninėse plokštelėse (Kabailienė, 1979). Vis dėlto palinologija yra gana jaunas mokslas, susijęs su kitų mokslų raida ir įsiskaidęs į atskiras šakas (palinomorfologija, palinotaksonomija, paleopalinologija, aeropalinologija, marinopalinologija, melitopalinologija ir pan). Todėl šio mokslo raidą galima analizuoti atsižvelgiant į skirtingas palinologijos šakas. Pavyzdžiui, palinomorfologijos vystymosi pradžia sietina su mikroskopo atradimu (XVII a.) ir tapatinama su J. Purkinje, H. Mohl ir K. Fritsche pavardėmis (Kabailienė, 1979). Tuo tarpu paleopalinologijos atsiradimo datą galima laikyti 1916 m., kada mokslo apie žiedadulkes kūrėjas L. Post

(Erdtman, 1943) žiedadulkių pernešimą oru pavadino žiedadulkių lietumi (Kabailienė, 1979). Sparčiai besivystant paleopalinologijos mokslui vis intensyviau palinologiniai metodai imti taikyti nustatant tam tikros teritorijos augalijos vystymosi raidą, paleoklimatines sąlygas, vandens telkinių vystymosi eigą ir pan. (Vaikutienė, 2004; Golubeva, 2008; Markevič, Bugdaeva, 2009). Todėl kai kuriais aspektais palinologijos terminas pradedamas tapatinti su geologiniais tyrimais.

XX a. palinologijos mokslo srityje pradėtas plėtoti *aeropalinologijos mokslas*. Kada tiksliai nuo palinologijos atskilo aeropalinologija, pasakyti sudėtinga, kadangi kiekvienoje valstybėje ši mokslo šaka vystėsi gana skirtingai (Davies, 1969; D'Amato et al., 1983; Szczepanek, 1994; Jäger, 2000; Rasmussen, 2002; Gioulekas et al., 2004; Frei, Gassner, 2008a). Amerikiečiai atmosferos žiedadulkes išsamiau pradėjo tyrinėti gravimetriniu metodu nuo 1929 m., o tyrimais užsiėmė orų tarnybos. Nuo 1952 m. pradėta tyrinėti Hirst tūriniu metodu (Kabailienė, 1979), naudojant specialias gaudykles. Nuo 1958 m. JAV pradedami leisti oru plintančių žiedadulkių atlasai. 1974 m. buvo išsamiai aprašyti žiedadulkių matavimo ypatumai, produkcija ir išskirti JAV paplitę žiedadulkių morfotipai (Ogden et al., 1974). Tuo tarpu Olandijoje ir Šveicarijoje nuo 1969 m. prasidėjo sistemingi aeropalinologiniai stebėjimai (Van Vliet et al., 2002; Frei, Gassner, 2008a). 1977 m. Švedijos mokslininkų iniciatyva buvo išleistas Šiaurės Europos žiedadulkių atlasas (Nilsson et al., 1977), kuriame pateikti pagrindiniai žiedadulkių atskyrimo principai. Nuo 1977 m. Danijoje pradėta nuolat atlikti oru plintančių žiedadulkių koncentracijų tyrimus (Rasmussen, 2002).

Lietuvoje žiedadulkių tyrinėjimai buvo inicijuojami geologinėje erdvėje, plėtojant paleopalinologijos mokslo kryptį. Oru pernešamų žiedadulkių tyrimai Lietuvoje gerokai apriboti. 1934 m. ore esančių žiedadulkių sudėtį tyrė K. Grybauskas (Kabailienė, 1979). Aeropalinologija Lietuvoje kaip mokslo šaka domimasi nuo 1997 m. (Saar et al., 2000), tačiau intensyviau šis mokslas pradėjo vystytis tik nuo 2003 m. (Šaulienė ir kt., 2003). Nuo 2004 m. Šiaulių universiteto mokslininkų iniciatyva pradėti sistemingi oru plintančių

žiedadulkių stebėjimai Šiauliuose ir Klaipėdoje. 2005 m. įsteigta aerobiologinė stotelė Vilniuje.

Dabar aeropalinologija (palinologijos šaka) yra aerobiologijos mokslo dalis (Mandrioli et al., 1998; Nitiu et al., 2003). Tačiau galima teigti, kad ji yra tarpdisciplininis mokslas, kadangi vystomas įvairiose mokslo srityse ir kryptyse dirbančių mokslininkų (pvz., biologų, ekologų, alergologų, meteorologų, geologų, fizikų ir kt.). Todėl nenuostabu, kad oru sklindančios žiedadulkės tapo ir biometeorologijos mokslo objektu (Dirmhirn, 1991; Leuschner, 1993; Kalkstein, 1998; Kusch et al., 2004).

Nepaisant to, kad aeropalinologijos mokslas vystėsi nevienodai įvairiose šalyse, šiame moksle buvo atlikti ir dabar atliekami įvairūs tyrimai, siekiant išsiaiškinti žiedadulkių sklaidos mechanizmą. Mokslo vystymosi eigą galima suskirstyti į pagrindines dalis. Pirmiausia mokslininkai daug dėmesio skiria *aeropalinologinės situacijos* tam tikroje vietovėje apibūdinimui, žiedadulkių koncentracijų nustatymui (Gupta, Chanda, 1991; Kobzar, 1999; Pinar et al., 1999; Abreu et al., 2003; Murray et al., 2008). Nustatytos tendencijos svarbios ne tik konkrečiai teritorijai ir jų gyventojams, pvz., tiriamasis rajonas, aeropalinologinės stoties reprezentuojamas miestas ar daugelio stočių reprezentuojama valstybė, bet ir visam žemynui. Todėl ir buvo įkurtas uždaras Europos aeroalergenų tinklas (EAN) (Jäger, 1988), kuris sujungia aeropalinologinę informaciją visoje Europoje iš daugiau nei 600 aeropalinologinių stočių.

Dar vienas svarbus aspektas, kad nepaisant to, jog pušūnai (*Pinophyta* Cronquist, Takht. et Zimmerm. ex Reveal) formuoja mikrosporas, aerobiologijoje įprasta vartoti bendrą žiedadulkių terminą (Jato et al., 2000; Ladeau, Clark, 2006; Murray et al., 2008).

Antroji didelė tyrimų grupė susijusi su *meteorologinių sąlygų įtakos žiedadulkėms* analize, kurios pobūdis priklauso nuo analizuojamų žiedadulkių morfotipotipo, t. y. nuo augalo šeimos arba genties (Galán et al., 2000; Jato et al., 2000; Rodríguez-Rajo et al., 2003a; Gioulekas et al., 2004; Makra et al., 2004; Alcázar et al., 2009; Yli-Panula et al., 2009).

Detalizuojama ne tik meteorologinių sąlygų svarba žiedadulkių sklaidoje, bet ir *klimato poveikis žiedadulkių kiekiui atmosferoje, žiedadulkių sezono kaitai, taip pat bandoma įvertinti žiedadulkių koncentracijų pokyčius klimato kaitos kontekste* (Rasmussen, 2002; Van Vliet et al., 2002; Ladeau, Clark, 2006; Rogers et al., 2006; Frei, Gassner, 2008a; Ziska et al., 2008).

Trečioji tyrimų dalis yra orientuota į *žiedadulkių sklaidos modeliavimo aspektus*, t. y. į modeliavimo procesų aprašymą (Belmonte, Canela, 2002; Helbig et al., 2004; Sofiev et al., 2006a), naujų modelių kūrimą (Andersen, 1991; Smith, Emberlin, 2005; Yasaka et al., 2009) ir jau sukurtų modelių tobulinimą (Smith, Emberlin, 2006; Siljamo et al., 2007; García-Mozo et al., 2008). Sukurti žiedadulkių sklaidos modeliai padėtų išspręsti žiedadulkių kiekio atmosferoje prognozavimą: nuo žiedadulkių paleidimo procesų iki galimų pavojų alergiškiems ligoniams.

Atsižvelgiant į žiedadulkių tyrimo eigą, galima teigti, kad žiedadulkės analizuojamos ne tik bioįvairovės išsaugojimo bei genų pernešimo klausimais (Burczyk et al., 2004; Song et al., 2004; Goggi et al., 2007), bet ir kaip žmogaus gyvenimo kokybę veikiantis ir ją bloginantis veiksnys (D'Amato et al., 1998; D'Amato, 2000; Jäger, 2000; D'Amato et al., 2007a, b; Docampo et al., 2007). Taigi *žiedadulkės kaip vienas iš alergijos šaltinių* dažnai minimos mokslo literatūroje, nuolatos atliekami epidemiologiniai tyrimai, kurie dažnai orientuoti į alergoną, esantį konkretaus morfotipo žiedadulkėje (O'rourke et al., 1989; Skoner, 2001; Charpin et al., 2005; Sudre et al., 2009). Taigi išsirutulioja ketvirtoji tyrimų dalis, kuri pagrindžia aeropalinologinių tyrimų aktualumą ir svarbą ne tik moksle, bet ir pritaikant praktikoje.

Ne tik alergijos protrūkiai pastūmėjo mokslininkus susidomėti žiedadulkėmis, bet ir galima *žiedadulkių sąveika su oro teršalais*. Daugelis mokslinių straipsnių įrodo, kad žiedadulkės dėl savo išskirtinės išorinės struktūros ir didelių atstumų įveikimo gali ne tik pernešti tam tikras daleles, bet ir sąveikauti su oro teršalais (Behrendt et al., 1992; D'Amato, 2000; Liccardi et al., 2001; D'Amato et al., 2001; Majd et al., 2004; D'Amato et al.,

2007a). Taip suformuojama dar viena aeropalinologinių tyrimų šaka, kurioje bandoma išsiaiškinti, kokia žiedadulkių sąveika su oro teršalais, kokios jų galimybės patekti į žmogaus organizmą.

Anemofiliniai augalai yra prisitaikę prie vėjo apdulkinimo būdo, todėl šių augalų žiedadulkės dėl savo savybių gali įveikti didelius atstumus. Tokios tendencijos suformavo dar vieną aeropalinologinių tyrimų kryptį, t. y. *žiedadulkių tolimosios pernašos* mechanizmo tyrimus, kurie dabar itin plačiai taikomi Europos mokslininkų (Mahura et al., 2007; Skjøth et al., 2007; Stach et al., 2007; Skjøth et al., 2009c). Tolimosios pernašos analizė padeda įvertinti vietinės ir advekcinės kilmės žiedadulkių sklaidos galimybes, suteikia vertingos informacijos identifikuojant žiedadulkių šaltinius, kurie lemia nevietinių žiedadulkių kiekius.

Trumpai apibūdinant aerobiologijos srityje dirbančių mokslininkų gautus rezultatus pastebima, kad atliktos aeropalinologinių tyrimų studijos atskleidė skirtingas įvairių šalių žiedadulkių sklaidos tendencijas. Ore identifikuojami net nuo 32 iki 63 žiedadulkių morfotipų (Kobzar, 1999; Abreu et al., 2003; Nitiu et al., 2003; Gioulekas et al., 2004; Murray et al., 2008). Skiriasi ne tik žiedadulkių įvairovė, bet ir taikomi žiedadulkių gaudymo metodai. Pavyzdžiui, vieni mokslininkai naudoja Durham tipo tūrinės gaudykles (Gupta, Chanda, 1991), kiti – Lanzoni tipo (Makra et al., 2004), treči – Hirst (Docampo et al., 2007). Gaudymo metodika svarbi norint palyginti panašius tyrimus. Ne tik bendrai išskirtų žiedadulkių morfotipų kiekis skiriasi, bet ir vyraujantys morfotipai. Skirtingose šalyse didelių žiedadulkių kiekius sudaro nuo 7 iki 15 skirtingų žiedadulkių morfotipų (D'Amato et al., 1983; Szczepanek, 1994; Gupta, Chanda, 1991; Pinar et al., 1999; Gioulekas et al., 2004; Docampo et al., 2007). Kadangi užfiksuojamų žiedadulkių įvairovė ir koncentracija priklauso nuo augalų rūšių tiriamojoje teritorijoje, todėl ir skirtumai nustatant žiedadulkių morfotipus skirtingose valstybėse, yra akivaizdūs. Aukščiau įvardintus skirtumus lemia ne tik vietinės augalijos rūšinė įvairovė, bet ir klimatinės konkrečios teritorijos sąlygos.

Žiedadulkių morfotipų išskyrimas konkrečioje teritorijoje svarbus ne tik augalijos sudėties tyrimams, bet ir jau aukščiau minėti medicininai, kadangi žiedadulkėse esantys alergenai sukelia nemalonius pojūčius ir apsunkina žiedadulkėms jautrių žmonių gyvenimo kokybę. Sezoninio rinito dažna priežastis – medžių, žolių, piktžolių žiedadulkės (Skoner, 2001). Moksliniais tyrimais įrodyta, kad skirtingų augalų žiedadulkės turi kitokią alergenų kiekį, į kurį reaguoja žmogaus organizmas (Wiebicke et al., 1987).

Žolių ir piktžolių žiedadulkės visame pasaulyje sukelia polinozės protrūkius. Miglinių šeimą sudaro daugiau nei 600 genčių, kuriose daugiau nei 10 000 rūšių, iš kurių daugiau kaip 400 yra vėjo apdulkinami augalai, kurie aptinkami ir Europoje (Vrtala, 1996; D'Amato et al., 1998; D'Amato et al., 2007a). Iš dilgėlinių šeimos visame pasaulyje pavojingiausios yra sienžolės genties (*Parietaria* L.) augalų žiedadulkės (D'Amato 2000; D'Amato et al., 2007a, b). Astrinių šeima – viena gausiausiai rūšių turinti (apie 20 000) šeima, iš kurių ambrozijos (*Ambrosia* L.) ir kiečio (*Artemisia* L.) genčių augalų žiedadulkės daugiausia susijusios su polinozės problemomis (D'Amato et al., 2007a, Belmonte et al., 2000).

Medžių grupėje alergiškiausios beržo genties (*Betula* L.) augalų žiedadulkės labiausiai paplitusios Šiaurės, Centrinėje ir Rytų Europoje, o alyvmedžio (*Olea* L.) ir kipariso (*Cupressus* L.) genties augalų žiedadulkės – Viduržemio regionuose (D'Amato et al., 1998; D'Amato et al., 2007a). Liepos genties augalų žiedadulkių alergenai dar nėra apibūdinti, tačiau yra įrodymų, kad liepos žiedadulkės gali sukelti astmą, alerginį rinitą ir alerginį konjunktyvitą (Mur et al., 2001). Ne tik konkretūs žiedadulkių baltymai svarbus alerginių reakcijų šaltinis, bet dažnai yra analizuojamos kryžminės reakcijos tarp tos pačios šeimos ar net eilės augalų žiedadulkių, maisto produktų. Pavyzdžiui, nustatytos kryžminės reakcijos tarp beržinių (*Betulaceae* Gray) ir lazdyninių (*Corylaceae* Mirb.) šeimų augalų žiedadulkių, arba kiparisinių šeimos žiedadulkių (Staikūnienė ir kt., 2005; D'Amato et al., 2007a; Ranta, Satri, 2007).

Lietuvoje žiedadulkių sukeltos problemos taip pat aktualios. Tą įrodo ir epidemiologiniai tyrimai, kuriuos atlikus paaiškėjo, kad daugiausiai tirtų ligonių buvo alergiški žolių alergenams ir jautrūs medžių alergenams: neretai alergizavo beržo ir ąžuolo (*Quercus* L.) žiedadulkių alergenai. Nemažai ligonių buvo įsijautrinę ir piktžolių alergenams, o kietis ir ambrozija buvo dažniausios polinozę sukeliančios piktžolės (Staikūnienė ir kt., 2005).

Nuolatiniai epidemiologiniai tyrimai vykdomi visame pasaulyje, priverčiantys stebėti ir atnaujinti informaciją, kuri yra susijusi su žiedadulkių sukeliama ligomis bei negalavimais. Didelis žmonių įsijautrinimas ir vis labiau pažeidžiama populiacija susiduria su natūralios taršos problemomis. Nepaisant, kad žiedadulkių paskirtis – pernešti genetinę informaciją nuo vieno augalo ant kito, tačiau dabar tokie tyrimai yra svarbūs visuomenės sveikatos požiūriu. Žiedadulkių sklaida yra nulemta augalų žydėjimo dėsningumu, todėl fitofenologijos tyrimai svarbi aeropalinologijos mokslo dalis.

Kadangi aeropalinologija yra tarpdisciplininis mokslas, turintis sąsajas su kitais mokslais, tad žiedadulkių sklaidos tyrimams yra svarbūs ir fenologiniai, konkrečiau žydėjimo, aspektai. *Fenologijos mokslo* ištakos siejamos su 801 m., kada Japonijoje pradėtas stebėti vyšnios žydėjimas (Aono, Kazui, 2008). Senosios civilizacijos taip pat stebėjo gamtos vystymąsi (Šulc, 1981). Spartesnis fenologijos mokslo vystymasis yra siejamas su XVIII a. Išlikę fenologiniai duomenys apima ilgą laikotarpį, todėl yra tinkami klimato kaitos įtakos gamtiniais procesams vertinti.

Fenologija kaip ir aeropalinologija skirtingose šalyse vystėsi nevienodai sparčiai – fenologinių stebėjimų pradžia siekia XVIII–XIX a. Pavyzdžiui, Didž. Britanijoje fenologiniai stebėjimai pradėti jau nuo XVIII a. (Nacevičius, 1958; Aono, Kazui, 2008). Švedijoje stebėjimai vykdomi nuo 1750 m., įkūrus 18 stebėjimo stočių (Nacevičius, 1958). Šveicarijoje 1808 m. imta stebėti kaštonų pumpurų sprogamą, tačiau valstybiniai fenologiniai stebėjimai vykdomi tik nuo 1951 m. (Defila, Clot, 2001). Fitofenologiniai stebėjimai Estijoje atliekami nuo 1919 m., o zoofenologiniai stebėjimai apima dar ilgesnį laikotarpį (Ahas, 1999). Centrinėje Europoje (pvz., Hamburge,

Berlyne, Frankfurte, Prahoje, Vienoje, Miunchene, Baselyje, Ciuriche ir pan.) fenologiniai duomenys prieinami nuo 1951 m. (Roetzer et al., 2000). Nuo 1959 m. fenologiniai duomenys jau pradėti kaupti tarptautiniuose fenologiniuose soduose (Menzel, 2000).

Vertinant kiekvienos valstybės indėlį į fenologinių stebėjimų formavimą ir eigą, galima išskirti Vokietiją – šioje šalyje buvo įkurtas didžiausias fenologinis tinklas Europoje. Šiuo metu Vokietijoje fenologiniai stebėjimai atliekami 1411 vietovėse (Romanovskaja, Bakšienė, 2006). Lyginant valstybes pagal fenologinių stočių skaičių skirtumai akivaizdūs. Pavyzdžiui, gana plačiu fenologiniu tinklu pasižymi Austrija (276 vietovės), Čekija (195 vietovės), Šveicarija (160 vietovių), o Airija ir Italija turi apie 10 stebėjimo stočių. Skirtumai matyti ne tik tarp stočių skaičiaus, bet ir tarp stebimų augalų rūšių įvairovės. Pavyzdžiui, į fenologinių stebėjimų programas įtraukta nuo 10 iki 125 augalų rūšių. Dabar visoms valstybėms sudarytas vieningas augalų sąrašas iš 7 augalų grupių (Romanovskaja, Bakšienė, 2006).

Lietuvoje fenologijos mokslas taip pat turi senas tradicijas. Pirmieji fenologiniai stebėjimai pradėti XIX a. VU profesorius Ž. Žilibero (1778-1781 m.) (Romanovskaja, Bakšienė, 2006). Sistemingi fenologiniai stebėjimai buvo vykdomi Dotnuvoje nuo 1923 m. St. Nacevičiaus iniciatyva (Nacevičius, 1958; Kulienė, Tomkus, 1990). Šių fenologinių duomenų pagrindu nustatytos būdingesnės pavasario fenologinių reiškinių intercepcijos (Kulienė, Tomkus, 1990). 1959 m. Lietuvos žemdirbystės instituto (LŽI) Vokės filiale buvo įsteigta Fenologinė komisija, kuriai skirtingais laikotarpiais vadovavo A. Vaineikis, L. Kulienė, I. Lamsodienė. A. Vaineikio iniciatyva buvo įkurtas Fenologinis archyvas ir išplėstas fenologinių stebėjimų tinklas iki 200 savanoriškų neetatinių stebėtojų–korespondentų (veikė nuo 1960 m. iki 1970 m.) įvairiose Lietuvos vietovėse (Romanovskaja, Bakšienė, 2006).

Lietuvoje fenologijos moksle atlikta nemažai tyrimų. Pavyzdžiui, parengta pirmoji augalų vegetacijos prognozavimo metodika, kurios pagrindu išskirta pirmųjų Lietuvoje pražystančių augalų reakcija į orų tipus, indikuojanti tam tikrą oro masių cirkuliaciją. St. Nacevičiaus iniciatyva metai buvo

suskirstyti į fenologinius sezonus ir periodus (Kulienė, Tomkus, 1990), kurie, vystantis fenologijos mokslui, buvo papildyti ir pakoreguoti A. Vaineikio ir J. Tomkaus. Parinktos augalų rūšys, hidrometeorologiniai reiškiniai bei oro temperatūros ribos kaip indikatoriai (Taikomoji fenologija Lietuvoje, 1983), kurie nurodo fenologinio sezono ar periodo pradžią. A. Vaineikis sudarė pagrindinių fenoindikatorių kartogramas, papildė St. Nacevičiaus nustatytus šalnų susidarymo periodus, taip pat vienas pirmųjų bandė prognozuoti orus pagal sezoninius reiškinis. Remiantis oro temperatūros metine eiga, K. Kaušyla išskyrė terminius sezonus. C. Dorfman išskyrė natūralius metų sezonus ir nustatė jų trukmę įvairiose Lietuvos vietose. Z. Žievytės ir A. Vaineikio iniciatyva 1959 m. Lietuvos žemdirbystės mokslinio tyrimo institutas (nuo 1990 m. – Lietuvos žemdirbystės institutas) pradėjo plėsti fenologinius stebėjimus. Taikydamas statistinius metodus, J. Tomkus tyrinėjo fitoindikatorių ir klimatinių rodiklių statistinius ryšius, pateikė koreliacijos koeficientus ir, apibūdindamas klimatinės sąlygas, pagrindė augalų sezoninių pokyčių panaudojimą. L. Kulienė aprašė svarbiausių geografinių veiksnių įtaką laukinių augalų vystymuisi tam tikrais fenologiniais sezonais. L. Kulienė ir J. Tomkus (1990) išanalizavo atskirų sezonų fitoindikatorių datų ir tarpfazinių periodų trukmės pasiskirstymo Lietuvoje dėsningumus, nustatė teritorinių gamtinių kompleksų sezoninio vystymosi ypatumus, išskyrė fenoklimatinius Lietuvos rajonus.

Nemažai mokslinių idėjų pateikė ir Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos darbuotojai. R. Karalevičienė ir R. Mažunaitienė tyrinėjo pavasario lauko darbų terminų priklausomybę nuo agrometeorologinių sąlygų, kartu su P. Jegorova ir K. Kaušyla analizavo žemės ūkio augalų fenofazių kartografavimo metodus. Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos darbuotojai sudarė žemės ūkio kultūrų pražydimo datų fenologinius žemėlapius, buvo kuriamos agrometeorologinės stotys ir postai, o nuo 1953 m. pradėtos skelbti agrometeorologinės prognozės (Kulienė, Tomkus, 1990). Lietuvos hidrometeorologijos tarnybai priklausė specializuota Dotnuvos agrometeorologijos stotis ir 14 paprastųjų agrometeorologijos stočių. 2000 m.

fenologinių stebėjimų tinklas, priklausantis Lietuvos hidrometeorologijos tarnybai, išardytas (Masaitytė, Rimkus, 2002). Tačiau 2003 m. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba atnaujino fenologinius stebėjimus ir 18 meteorologijos stočių pradėjo vykdyti fenologinius stebėjimus (Lietuvos hidrometeorologijos..., 2004). Stebėjimus vykdo ir Lietuvoje LŽI Trakų Vokės filialo iniciatyva surinkti savanoriai, kurie atlieka savanoriškus fenologinius stebėjimus 23 vietovėse (Romanovskaja, Bakšienė, 2006).

Fenologijos mokslas plačiai paplitęs visame pasaulyje, o mokslininkai, analizuodami daugiamečius fenologinius duomenis, taiko skirtingas metodikas ir modelius augalų vystymosi tendencijoms nustatyti (Spano et al., 1999; Menzel, 2000; Bergant et al., 2002; Črepinšek et al., 2006). Mokslininkų dėmesys sukonzentruotas į klimato kaitos ir klimato nepastovumo įtakos fenologinėms fazėms tyrimus (Defila, Clot, 2001; Ahas et al., 2002; Menzel et al., 2003; Badeck et al., 2004; Ahas, Aasa, 2006; Pudas et al., 2008). Remiantis ilgalaikiais augalų žydėjimo duomenimis, rekonstruojamos klimatinės sąlygos (Aono, Kazui, 2008), vertinama ateities klimato pokyčių įtaka augalams (Keatley et al., 2002; Jones et al., 2006). Nemažas dėmesys yra skiriamas oro temperatūros poveikio augalų fenofazių kaitos analizei (Ahas et al., 2000; Sparks et al., 2000; Scheifinger et al., 2003; Carroll et al., 2009), meteorologinių parametrų bei oro sąlygų įtakos augalų fenologinių fazių kitimams apibūdinti (Wielgolaski, 2003; Linkosalo, Lechowicz, 2006). Mokslininkai tyrinėja El Niño bei Šiaurės Atlanto osciliacijos įtaką žydėjimo dėsninumams (Scheifinger et al., 2002), modeliuoja augalų žydėjimo pokyčius (Chuine et al., 1998; Chuine et al., 1999), lygina fenologinius duomenis su palydovine informacija (Chen et al., 2000; Bradley, Mustard, 2008). Atliekami lyginamieji tyrimai tarp fenologinių pokyčių miesto ir kaimo teritorijose (Roetzer et al., 2000), įvertinama atmosferos cirkuliacijos įtaka fenologinėms fazėms (Aasa et al., 2004), sudaromi fenologiniai žemėlapiai (Rötzer, Chmielewski, 2001).

Ilgalaikiai fenologiniai duomenys yra taikomi apibūdinant tam tikro laikotarpio gamtines sąlygas, nustatant ir analizuojant gamtoje vykstančius

dėsningumus, procesų operatyvumą. Todėl, analizuojant globalinio atšilimo problemas, fenologinių pokyčių priežastingumo nustatymu susidomėjo klimatologai ir fenologai (Chuine et al., 1999; Ahas, 1999; Ahas et al., 2002). Susiejant žiedadulkių sklaidos dėsningumus su fitofenologine informacija galima nustatyti žiedadulkių sezono pokyčius susijusius su klimato kaitos poveikiu.

Fitofenologijos mokslo svarba akivaizdi aeropalinologiniuose tyrimuose, tačiau, vertinant individo ar net visos ekosistemos lygmenyje, šis mokslas yra neatsiejama augalų ekologijos dalis. Laikotarpis nuo vegetacijos iki dauginimosi, žydėjimas sėklų brandinimo aspektu svarbus tiek individams, tiek ir populiacijoms. Be to, tarprūšinė variacija fenologijoje yra svarbus mechanizmas, aprūpinantis rūšių koegzistenciją įvairiose augalų bendrijose (Cleland et al., 2007). Siekiant, kad būtų lengviau analizuoti, kuriami įvairūs modeliai, kuriuos taikant bandoma nustatyti arba prognozuoti augalų žydėjimo datas. Dažniausiai naudojami keturi fenologinių duomenų tipai: stebėjimai atlikti natūraliose ar pasodintose populiacijose; augalų klonų stebėjimai skirtingose aplinkos sąlygose (fenologiniai sodai); eksperimentiniai šiltnamio duomenys; žiedadulkių emisijos atmosferoje matavimai, kurie nurodo populiacijų žydėjimo laikotarpį (Chuine et al., 1999).

Nepaisant to, kad daugelyje mokslinių straipsnių aeropalinologijos ir fenologijos mokslai analizuojami atskirai, tačiau dalis jų vis dėlto yra skirti žiedadulkių ir žydėjimo duomenų analizei ir vertinimui. Vokietijos mokslininkai, turintys išvystytą fenologinį savanorių tinklą, sudarytą iš apytiksliai 1 600 stočių, įvertino vietinių augalų poveikį žiedadulkių kiekiui, fiksuojamam aerobiologinėse stotelėse. Remiantis gautais rezultatais, teigiama, kad ne visi žiedadulkių fiksavimai gali būti paaiškinami vietinių augalų žydėjimu. Pavyzdžiui, 1992 m. Dresdene beržo žiedadulkių pikas užfiksuotas 36 d. anksčiau negu prasidėjo vietinių augalų žydėjimas, tuo tarpu žolių žiedadulkių pikus lemia vietinė augalija (Estrella et al., 2006).

V. Jato ir kt. (2007) tyrinėjo beržo genties augalų žydėjimo ir žiedadulkių sklaidos atmosferoje dėsningumus ir nustatė, kad oru plintančių žiedadulkių

kiekiai ne visuomet sutampa su žydėjimo periodu – tam įtakos turi meteorologinės sąlygos, pernašos mechanizmai. Tačiau nepaisant to, fenologinės studijos turi būti vykdomos, norint užtikrinti ir pagerinti žiedadulkių duomenų interpretaciją.

1.2. Meteorologinių sąlygų analizė aeropalinologiniuose ir fitofenologiniuose tyrimuose

Oro sąlygų kaita yra vienas svarbiausių aspektų analizuojant aplinkos sąlygų įtaką gamtos vystymosi eigai. Todėl aptarti mokslininkų nustatytus dėsningumus yra būtina. Taigi meteorologines sąlygas nusakantys elementai yra pagrindiniai parametrai *žiedadulkių sklaidos* modeliavimo procesuose (Galán et al., 2001; García-Mozo, et al., 2002; Helbig et al., 2004; Smith, Emberlin, 2006; Sofiev et al., 2006a; Siljamo et al., 2007; Siljamo et al., 2008b). Modeliuojant žiedadulkių sklaidą įvertinama vidutinės, minimalios ir maksimalios oro temperatūros, kritulių intensyvumo įtaka žiedadulkių sklaidai (Laaidi 2001b; Rodríguez-Rajo et al., 2003a; Smith, Emberlin, 2005; Smith, Emberlin, 2006; Sofiev et al., 2006a). Šie meteorologiniai parametrai yra išskiriami kaip svarbiausi ir lemiantys žiedadulkių kiekį atmosferoje.

Atlikus žiedadulkių sklaidos analizę galima vertinti visą meteorologinių parametų kompleksą arba išskirti svarbiausią meteorologinį elementą, kuris lemia žiedadulkių kiekio ore kitimą. Oro temperatūra išskiriama kaip svarbiausias parametras, veikiantis žiedadulkių kiekį ir žiedadulkių sezoną. Terminio režimo svarba žiedadulkių sezono pradžiai iliustruojama modeliuojant. Įvertinama ne tik teigiamų, bet ir neigiamų temperatūrų įtaka žiedadulkių sezonui. Pavyzdžiui, T. B. Andersen (1991), modeliuodamas žiedadulkių sezono pradžią, analizuoja neigiamų ir teigiamų temperatūrų poveikį, sujungdamas temperatūras į vieną lygtį, iliustruojančią bendrą situaciją modeliuojamuoju laikotarpiu. Å. Dahl ir S. O. Strandhede (1996) išskiria neigiamų temperatūrų svarbą beržo genties (*Betula* L.) augalų žydėjimo procesams nusakyti. Šių autorių nuomone, žiedadulkių sezonas

priklauso nuo žirginių formavimosi metu buvusių oro sąlygų ir meteorologinių sąlygų žiedadulkių sklaidos metu. Panašios nuomonės apie beržo genties žiedadulkių kiekio ir sezono priklausomybę nuo praėjusių metų temperatūros išsakomos ir kitų mokslininkų darbuose (Rasmussen, 2002; Stach et al., 2008; Yli-Panula et al., 2009).

Ne tik oro temperatūra, bet ir kritulių kiekis yra svarbus žiedadulkių sklaidą atmosferoje nusakantis parametras, todėl dalis mokslininkų savo tyrimuose pabrėžia būtent šių meteorologinių elementų komplekso svarbą. M. Laaidi (2001) modeliudamas įvertino meteorologinių sąlygų poveikį miglinių šeimos (*Poaceae* (R. Br.) Bernhart) augalų žiedadulkių sklaidai ir nustatė, kad galima taikyti skirtingus modeliavimo metodus, tačiau oro temperatūra ir krituliai yra svarbiausi meteorologiniai parametrai. R. Peternel ir kt. (2005) savo tyrimų rezultatais pagrindė temperatūros ir kritulių svarbą alksnio (*Alnus* Mill.), lazdyno (*Corylus* L.) ir beržo genčių augalų žiedadulkių produkcijai bei paleidimui. Tuo tarpu alyvmedžio žiedadulkių sklaidai modeliuoti naudojamas sausio–kovo mėn. kritulių kiekis, vidutinės sausio–kovo mėn. temperatūros, maksimalios sausio–balandžio mėn. temperatūros bei minimalios balandžio temperatūros ir šalčio indeksai (Galán et al., 2001; García-Mozo et al., 2002).

Apžvelgiant bendrus dėsningumus matyti, kad vienas iš svarbiausių aspektų žiedadulkių kiekio kaitoje yra tai, kad dulkėjimo intensyvumas priklauso nuo aplinkos sąlygų žydėjimo metu, t. y. temperatūros, kritulių kiekio ir vėjo (Peternel et al., 2005; Ranta, Satri, 2007). Vis dėlto daugiau dėmesio yra skiriama žiedadulkių sklaidai atmosferoje, lyginant su žiedadulkių paleidimo iš augalų analize. Atlikti žiedadulkių sklaidos ir meteorologinių sąlygų poveikio analizės tyrimai, remiantis skirtingais žiedadulkių morfotipais, atskleidžia skirtingus rezultatus. Pavyzdžiui, nustatyta, kad didėjant kritulių kiekiui ir drėgnumui, pušies (*Pinus* L.) genties mikrosorų kiekis mažėja, o didėjant oro temperatūrai ir spindėjimo trukmei – didėja. Nustatytos sąsajos tarp vėjo krypties ir pušies žiedadulkių kiekio atmosferoje, parodo žiedadulkių pernašos galimybes (Jato et al., 2000).

C. Galán ir kt. (2000) nustatė, kad didžiausios dilgėlinių šeimos (*Urticaceae* Juss.) augalų žiedadulkių koncentracijos fiksuojamos nelietingu sezonu. Šie mokslininkai oro temperatūrą išskiria kaip vieną svarbiausių meteorologinių parametrų pavasarį, o rudenį – oro drėgnumą. P. Crimi ir kt. (2004) patvirtino anksčiau atliktus tyrimus ir nurodė, kad lietingomis dienomis dilgėlinių šeimos (pvz., sienžolės) augalų žiedadulkių nefiksuojama. Žiedadulkių neaptinkama ir tuomet, kai Italijoje didžiausia dienos temperatūra pasiekia 21 °C, o paros temperatūros svyravimo amplitudė siekia apie 5 °C. B. J. Green ir kt. (2004) taip pat nustatė bendras skaitines meteorologinių parametrų vertes, kurios nusako miglinių šeimos augalų žiedadulkių sklaidą Australijoje. Didžiausiais miglinių žiedadulkių kiekiais išsiskyrė atvejai, kai didžiausia mėnesio oro temperatūra viršijo 27 °C, o minimali buvo žemesnė nei 19 °C bei iškrito 5 mm kritulių.

P. Crimi ir kt. (2004), B. J. Green ir kt. (2004) atlikti tyrimai atskleidžia skirtingus žiedadulkių sklaidos mechanizmus atsižvelgiant į žiedadulkių morfotipus. Tačiau skirtumai išlieka ir vertinant meteorologinių sąlygų poveikį tai pačiai augalų genties ar šeimos žiedadulkių sklaidai (Galán et al., 2000; Crimi et al., 2004). Meteorologinių elementų poveikis žiedadulkių sklaidai priklauso ir nuo geografinės padėties, todėl gali skirtis ne tik konkrečių parametrų reikšmės, bet ir komplekso vertės, arba pavieniai meteorologiniai elementai. Pavyzdžiui, Viduržemio regiono teritorijoje ąžuolo genties žiedadulkių kiekį lemia minimali ir maksimali oro temperatūros, o tuo tarpu Euro-Iberinėje teritorijos dalyje – tik maksimali oro temperatūra (García-Mozo et al., 2006).

Ne tik oro temperatūros ar oro temperatūros ir kritulių kiekio variacijos analizuojamos ir išskiriamos kaip svarbiausios, taip pat nustatomi ir kiti meteorologinių parametrų deriniai. Pavyzdžiui, atlikti tyrimai Vengrijoje su ambrozijos (*Ambrosia* L.) genties augalų žiedadulkėmis, kurios sudaro beveik pusę bendro žiedadulkių metinio kiekio, ir meteorologinėmis sąlygomis konstatuoja, kad šios genties augalų žiedadulkių sklaidos ypatumus lemia minimali oro temperatūra ir vėjo greitis (Makra et al., 2004). Šis tyrimas – tai

dar vienas pavyzdys, įrodantis, kad žiedadulkių sklaidos rezultatai priklauso nuo žiedadulkių morfotipo, taip pat ir nuo vietinės augalijos padengimo.

Panašaus pobūdžio tyrimai orientuoti ir į daugiau žiedadulkių morfotipų. Gaunami rezultatai, kurie atspindi bendras žiedadulkių sklaidos tendencijas, neatsižvelgiant į konkrečias skaitines meteorologinių parametru išraiškas. Pavyzdžiui, F. J. Rodríguez-Rajo ir kt. (2003a) nustatė, kad beržo, kaštainio (*Castanea* Mill.), pušies, miglinių, ąžuolo, dilgėlinių žiedadulkių kiekiai didėja intensyvėjant saulėtumui ir mažėjant kritulių kiekiui, o beržo, kaštainio, kiparisinių (*Cupressaceae* Rich. Ex Bartl.) ir gysločio (*Plantago* L.) žiedadulkių daugėja ore didėjant vėjo greičiui. Tačiau jungtinis ispanų ir lenkų mokslininkų tyrimas abiejose valstybėse parodė, kad kylant oro temperatūrai ir ilgėjant saulės spindėjimo trukmei didėja balandinių (*Chenopodiaceae* Vent.), dilgėlinių šeimų bei gysločio ir rūgštyinės (*Rumex* L.) genčių augalų žiedadulkių kiekiai, o didėjant kritulių kiekiui ir santykiniam oro drėgnumui – mažėja (Alcázar et al., 2009). Pateikti pavyzdžiai iliustruoja, kad meteorologinių parametru poveikis žiedadulkių sklaidai atmosferoje skirtingas, priklausomai nuo žiedadulkių morfotipo, nes žiedadulkės skiriasi savo paviršiaus struktūra, pernešimo būdais.

Panašūs rezultatai gaunami atlikus tyrimus koreliacinių ryšių pagrindu. Bendrai žiedadulkių koncentracijos didėja kylant vidutinei oro temperatūrai bei ilgėjant saulės spindėjimo trukmei ir mažėjant santykiniai oro drėgmei bei vėjo greičiui (Gioulekas et al., 2004).

Ne tik nustatyti ryšiai tarp žiedadulkių kiekio atmosferoje, žiedadulkių produkcijos ir paleidimo yra pateikiami, tačiau iliustruojami ir gauti prieštaringi rezultatai. Pavyzdžiui, D. U. Altıntaş ir kt. (2004), remdamiesi Turkijos aeropalinologiniais (žiedadulkių koncentracija) ir meteorologiniais duomenimis (oro temperatūra (vidutine, minimalia ir maksimalia), santykinė oro drėgme, vėjo greičiu, kritulių kiekiu), nustatė, kad žolių žiedadulkių kiekiui meteorologinės sąlygos įtakos neturi.

Apibendrinus visus tyrimus susijusius su meteorologinių sąlygų poveikio žiedadulkių sklaidai vertinimo galimybėmis, išryškėja keletas pagrindinių

tendencijų. Pirmiausiai kaip svarbiausi veiksniai lemiantys žiedadulkių kiekius atmosferoje, yra išskiriami konkretūs meteorologiniai elementai (pvz., oro temperatūra) (Andersen, 1991; Jato et al., 2004) arba meteorologinių elementų deriniai (pvz., oro temperatūra ir kritulių kiekis, oro temperatūra ir vėjo greitis) (Makra et al., 2004; Peternel et al., 2005). Vertinant apskritai meteorologinių sąlygų poveikį žiedadulkių sklaidai meteorologiniai parametrai (oro temperatūra, santykinė oro drėgmė, kritulių kiekis, vėjo greitis) sujungiami analizuojant juos atskirai (Rodríguez-Rajo et al., 2003a; Gioulekas et al., 2004; Alcázar et al., 2009). Be to, tyrimuose detalizuojama kiekvieno meteorologinio elemento poveikis konkrečiam žiedadulkių morfotipui arba keliems žiedadulkių morfotipams (Galán et al., 2000; Rodríguez-Rajo et al., 2003a; Crimi et al., 2004). Šis poveikis yra analizuojamas dvejopai: tai yra pasitelkus statistinius metodus palyginus žiedadulkių koncentracijų duomenis su meteorologiniais duomenimis (Crimi et al., 2004; Gioulekas et al., 2004; Green et al., 2004; Alcázar et al., 2009) arba naudojant modelius, kuriuose pagrindinėmis lygtimis aprašomas galimas meteorologinių parametrų poveikis žiedadulkių sklaidai (Andersen, 1991; Laaidi, 2001; Jato et al., 2004).

Meteorologinės sąlygos, jų kaita yra svarbios augalų vegetacijos metu (Chuine et al., 1999; Wielgolaski, 2003; Črepinšek et al., 2006), todėl panašūs tyrimai atliekami ir naudojant *fitofenologinę informaciją*. Akivaizdu, kad augalai jautriai reaguoja į išorės sąlygas (šviesą, temperatūrą, drėgmę) ir savo vystymosi fazėmis atspindi jų kompleksą, tačiau augalijos vystymąsi galima glaudžiai susisieti su terminiu režimu (Taikomoji fenologija Lietuvoje, 1983). Priešingai nei aeropalinologiniuose tyrimuose (žiedadulkių sklaidos atmosferoje), fenologijos moksle oro temperatūra išskiriama kaip pagrindinis veiksnys, lemiantis tam tikrą augalų vystymosi atsaką (Šulc, 1981; Taikomoji fenologija Lietuvoje, 1983; Snyder et al., 1999; Roetzer et al., 2000; Bergant et al., 2002; Rodríguez-Rajo et al., 2003a; Jato et al., 2004; Romanovskaja, Bakšienė, 2007; Aono, Kazui, 2008; Carroll et al., 2009). Kiti meteorologiniai parametrai yra svarbūs augalų vystymosi eigai, tačiau oro temperatūra yra vienas svarbiausių veiksnių, dėl kurio augalai reaguoja į

atsiradusius pokyčius. Pavyzdžiui, nuo temperatūros priklauso augalų išplitimo ribos, jų augimo ir sėklų subrendimo tempai (Bagdonas, Karalevičienė, 1987).

Oro temperatūros poveikio įrodymų augalų vegetacijai pateikė ir Lietuvos mokslininkai. Susisteminus 1961–1980 m. duomenis, nustatyta, kad augalija vystėsi sparčiau, kai per visą vegetacijos periodą temperatūra buvo aukštesnė už vidutinę daugiametę, o vyraujant žemoms temperatūroms, augalija vystėsi daug lėčiau (Taikomoji fenologija Lietuvoje, 1983).

Vertinant terminio režimo poveikį augalų vegetacijai dažnai susiduriama su tam tikromis slenkstinėmis oro temperatūromis. Pavyzdžiui, datos, kai vidutinė paros oro temperatūra nuolat pakyla aukščiau nei 5 °C, 10 °C ir 15 °C, atspindi terminio režimo eigą ir taikomos metų laikų riboms nusakyti, vegetacijos periodo pradžiai ir pabaigai apibūdinti. Vidutinei paros oro temperatūrai nuolat pakilus aukščiau nei 5 °C, prasideda augalų vegetacija (Taikomoji fenologija Lietuvoje, 1983). A. Bagdono ir R. Karalevičienės (1987) nuomone, daugelio augalų aktyviosios vegetacijos laikotarpis prasideda nusistovėjus aukštesnei nei 10 °C paros vidutinei oro temperatūrai ir tęsiasi visą vasarą iki rudens vidurio. Vis dėlto ne visuomet bendrosios tendencijos tinka konkrečiai augalų rūšiai ar genčiai. Pavyzdžiui, lazdyno ar alksnio genčių atstovų vegetacija prasideda anksti pavasarį, o paprastojo lazdyno (*Corylus avellana* L.) pražydymas indikuoja ankstyvojo pavasario pradžia (Kulienė, Tomkus, 1990).

Detalizuojant įvairias slenkstines temperatūras augalų vystymuisi, susiduriama su biologinio temperatūros minimumo sąvoka. Augalas vystosi normaliai, kai aplinkos temperatūra yra aukštesnė už biologinį jo temperatūros minimumą, kuris yra nevienodas skirtingose augalų vystymosi fazėse (Bagdonas, Karalevičienė, 1987). Buvo įvestos dvi su augalų vystymosi eiga susijusios sąvokos – *aktyvioji* ir *efektyvioji temperatūros*. Temperatūra, aukštesnė už augalo biologinį minimumą, vadinama aktyviaja temperatūra, o efektyvioji temperatūra traktuojama kaip aktyvioji temperatūra, atėmus biologinį temperatūros minimumą (Bagdonas, Karalevičienė, 1987). Pateikiama ir daugiau efektyviųjų temperatūrų interpretacijų. Pavyzdžiui, kai

kuriais atvejais efektyvioji temperatūra yra tapatinama su biologiniu nuliu (Petkevičienė, 2008). Kiekvieną vystymosi fazę augalui reikia tam tikros efektyviosios temperatūros sumos, kurią galima apskaičiuoti sudėjus efektyviausias temperatūras (Bagdonas, Karalevičienė, 1987; Heikinheimo, Lappalainen, 1997; Ahas, Aasa, 2006).

Aktyviųjų ar efektyviųjų temperatūrų sumų naudojimas įvairių fenologinių fazių nustatymui yra nagrinėjamas moksliniuose straipsniuose. Nustatydamas stiprų ryšį tarp oro temperatūros ir fenologinių procesų, ypač su 2–3 mėnesių oro temperatūra prieš fenologinę fazę, R. Ahas ir kt. (2000) pagrindė temperatūros sumų skaičiavimą augalų vegetacijos pradžiai. M. Heikinheimo ir H. Lappalainen (1997) tyrimuose naudojo efektyviają temperatūrą su 0 °C ir 5 °C slenkstine temperatūra (biologinis temperatūros minimumas) ir jų pagrindu sudarė fenologinius Suomijos žemėlapius. Panašius tyrimus atliko ir E. Pudas ir kt. (2008), kurie efektyvios temperatūros pagalba įvertino karpuotojo beržo pumpurų sproginimo kaitą.

Temperatūros sumos skaičiavimo metodu įvertinamas klimato kaitos poveikis fenologinėms fazėms (Orlandi et al., 2005; Ahas, Aasa, 2006). R. Ahas ir A. Aasa (2006) nustatė vidutinės paros oro temperatūros slenksčius (0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C), nusakančius augalo tam tikrų fenofazių pradžios indukciją, ir, remdamiesi apskaičiuotų mėnesio aktyviųjų ir efektyviųjų temperatūrų sumomis, iliustravo tam tikros fenologinės fazės vystymosi pradžią. Taip buvo įvertinti fenologiniai augalų trendai ir klimato kaitos įtaka augalijos vystymuisi. Panašius tyrimus atliko ir Ch-H. Ho ir kt. (2006), kada pasirinktų krūmų ir medžių žydėjimo tendencijas analizavo temperatūros kaitos aspektu, atsižvelgdami į temperatūros sumų analizę. Todėl augalo žydėjimo pradžios nustatymui ir yra naudojami modeliai, kurių pagrindas – oro temperatūra (Bergant et al., 2002).

Terminio režimo interpretacijos fenologijoje dažnai naudojamos skaičiuojant augalų vystymosi greitį (Snyder et al., 1999). Nustatant oro temperatūros poveikį fitofenologinėms fazėms, taikomos skirtingos metodikos (Bagdonas, Karalevičienė, 1987; McMaster, Wilhelm, 1997; Snyder et al.,

1999; Črepinšek et al., 2006; Jato et al., 2004), kurios susijusios su oro temperatūra ir biologiniu augalo temperatūros minimumu, tačiau turinčios skirtingus vertinimo kriterijus. Gali būti vertinama tik vidutinė paros oro temperatūra arba apskritai oro temperatūros kompleksas: maksimalios ir minimalios oro temperatūros bei vidutinė paros oro temperatūra. Skirtingos metodikos naudojamos kituose tyrimuose, pvz.: maksimalios ir minimalios oro temperatūros interpretacijos daugiausia pritaikomos žemdirbystėje vertinant žemės kultūras, pasėlius (McMaster, Wilhelm, 1997), bet gali būti naudojamos ir vertinant laukines augalų kultūras (Chuine et al., 1998; Chuine et al., 1999; Orlandi et al., 2005; Črepinšek et al., 2006). Skiriasi ir slenkstinių temperatūrų išskyrimas bei jų pritaikymo aspektai (Spano et al., 1999; Črepinšek et al., 2006).

Fenologijoje analizuojami ne tik temperatūros pokyčiai, bet ir detalizuojamas atmosferos cirkuliacijos poveikis augalų fenologinėms fazėms. Pavyzdžiui, A. Aasa ir kt. (2004) 48 m. vykdami tyrimai atskleidė, kad prieš fenologinių fazių vystymąsi esanti žiemos atmosferos cirkuliacija turi įtakos fenofazių vystymuisi pavasarį. Švelnios žiemos Centrinėje ir Rytinėje Europoje yra susijusios su zonine cirkuliacija. Po švelnių žiemų augalų žydėjimas prasideda anksčiau, lyginant su šaltomis žiemomis, nulemtomis meridianinių cirkuliacijos tipų. Taigi netiesiogiai fenologinių fazių pradžiai įtakos turi zoninės ir meridianinės cirkuliacijos tipai.

Fenologiniai pokyčiai siejami ir su atmosferos cirkuliacijos indeksais. Tokie indeksai, pvz., Šiaurės Atlanto osciliacijos (NAO) indeksas veikia augalų vegetaciją per temperatūros pokyčius, atsirandančius atmosferos cirkuliacijos procesų metu (Ahas, Aasa, 2006; Cowie, 2007; Gouveia et al., 2008; Menzel et al., 2008). Estijoje ankstesni fenofazių nustatymai nulemti teigiamos NAO fazės (Ahas, Aasa, 2006). H. Scheifinger ir kt. (2002) teigia, kad kasmet kintantis Atlanto slėgio pasiskirstymas lemia didelį laikiną fenologinių duomenų kintamumą Europoje. Tokie užfiksuoti pokyčiai gali būti paaiškinami NAO, tačiau įtaka mažėja tolstant nuo Atlanto pakrantės.

Vertinant kitus galimus veiksnius, kurie sąlygoja augalų vegetacijos procesus, atkreipiamas dėmesys į fotoperiodą. Dažnai oro temperatūra kartu su fotoperiodu analizuojama kaip kompleksas, turintis poveikį biologiniam augalo ritmui (Linkosalo, Lechowicz, 2006; Cleland et al., 2007; Heide, Sønsteby, 2007; Pudas et al., 2008). Tyrimai rodo, kad kai kuriais atvejais būtinas kompleksinis temperatūros ir fotoperiodo vertinimas, tačiau, esant optimaliai temperatūrai, kai kurie augalai į fotoperiodą nebereaguoja. Vis dėlto veiksnių įtaka itin priklauso nuo regiono, pvz., kaip nurodo E. E. Cleland ir kt. (2007), tropinėse ekosistemose fenologiniai procesai mažiau jautrūs temperatūros ir fotoperiodo pokyčiams, tačiau labiau veikiami kritulių pokyčių. Vėlgi fotoperiodo įtaka medžiams yra diskutuotina ir priklauso nuo rūšies bei analizuojamos teritorijos.

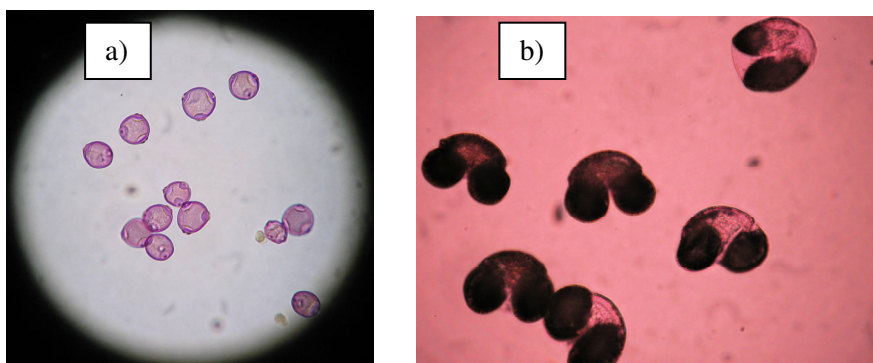
1.3. Žiedadulkių tolimosios pernašos tyrimai

Biologinės kilmės dalelių sklaida šiandien yra viena daugiausiai mokslinių tyrimų susilaukianti mokslo šaka, kadangi atliekant šiuos tyrimus galima nustatyti patogenų pernašą, skirtingų organizmų biogeografinį išplitimą, sveikatos pokyčius dėl alergiškų žiedadulkių sklaidos. Daugeliu atveju augalų žiedadulkės yra svarbios suteikiant genetinės struktūros formą populiacijai, atsakingos už genų migraciją ir prisideda prie erdvinio rūšies paplitimo. Žiedadulkių pagalba genetinės informacijos pernešimo studija yra svarbi augalų biogeografijos ir augalų išsaugojimo tyrimo dalis, todėl tinkamas žiedadulkių sklaidos supratimas yra svarbus valdant ir saugant augalų rūšis (Belmonte et al., 2008).

Augalų žiedadulkės gali būti pernešamos skirtingais atstumais – nuo kelių metrų iki kelių tūkstančių kilometrų (Belmonte et al., 2008). Tai priklauso nuo biologinės kilmės dalelės dydžio, formos, prisitaikymo būti pernešama vėjo ir pan. Įrodyta, kad mikroorganizmai ir sporos gali nukeliauti didelius atstumus. Mokslininkai nustatė, kad šios biologinės kilmės dalelės, užfiksuotos Pietų Karibų jūros regione, buvo atneštos su dulkių kamuoliu iš Afrikos ir įveikė daugiau nei 4 000 km (Prospero et al., 2005). Žiedadulkės taip pat gali būti

pernešamos dideliais atstumais. Tyrimais nustatyta, kad labai daug žiedadulkių, ypač medžių, vertikaliomis oro srovėmis pakyla į aukštesnius atmosferos sluoksnius ir yra nunešamos tolyn. Vėjui nurimus, sunkesnės žiedadulkės nusėda, o lengvesnės ir turinčios oro maišelius nunešamos dar toliau. Pučiant stipriam vėjui, didžiausia žiedadulkių koncentracija yra arti žemės paviršiaus, o į viršų ji sparčiai mažėja; dieną žiedadulkės kyla, naktį jos krinta (Kabailienė, 1979).

Išaiškėjus, kad žiedadulkės gali nukeliauti didelius atstumus, nemažai mokslininkų pradėjo modeliuoti galimą žiedadulkių pernašą. Daugiausia dėmesio skiriama beržo genties augalų žiedadulkėms (1.1 pav., a), kadangi beržo genties augalai yra labiau paplitę Šiauriniame pusrutulyje, yra anemofiliniai ir produkuoja didelį žiedadulkių kiekį (Stach et al., 2008).



1.1 pav. Per mikroskopą matomos: a) – beržo genties žiedadulkės; b) – pušies genties mikrosporos (žiedadulkės)

Pavyzdžiui, G. Erdtman (1943) nustatė, kad beržas gali produkuoti apie 6 mln. žiedadulkių. Tuo tarpu skirtingos augalų rūšys produkuoja skirtingą žiedadulkių kiekį, pvz., paprastoji eglė gali išbarstyti apie $589\,500 \pm 27\,250$, valgomoji rūgštyinė – $180\,750 \pm 3\,327$, o karpotasis beržas – $20\,145 \pm 1\,534$ žiedadulkių (Kabailienė, 1979). Kiek žiedadulkių bus nunešama ilgus atstumus, priklauso ne tik nuo augalų produkcijos, bet ir nuo morfologinių žiedadulkių savybių.

Pušies žiedadulkės (1.1 pav., b) prisitaikiusios, kad būtų pernešamos dideliais atstumais, kadangi turi oro maišelius, kaip ir eglės (*Picea* A. Dietr.) genties augalų žiedadulkės. Vis dėlto eglės žiedadulkių pernešimo nuotoliai yra

kitokie – ji yra sunkesnė ir didesnė (paprastosios eglės mikrosporos svoris – 93,2 m μ g, skersmuo – 102,3 μ), lyginant su pušies žiedadulke (paprastosios pušies mikrosporos svoris – 30,08 m μ g, skersmuo – 59,9 μ) (Kabailienė, 1979). Tačiau beržo žiedadulkė, nors ir neturi oro maišelių, yra ganėtinai toli nunešama dėl savo dydžio (pastaroji yra apie 4 kartus lengvesnė ir 10 kartų mažesnė už eglės žiedadulkę). Nustatyta, kad beržo žiedadulkės gali būti nunešamos šimtais ar net tūkstančiais kilometrų, priklausomai nuo oro sąlygų (Sofiev et al., 2006a). Pavyzdžiui, N. Estrella ir kt. (2006) nurodo, kad yra didelis skirtumas tarp beržo genties žiedadulkių gaudyklėse ir žydėjimo pradžios Vokietijoje.

Kitas tolimosios pernašos tyrimo objektas – ambrozijos genties augalų žiedadulkės. Mokslininkai įrodė, kad ambrozijos nukeliauja didelius atstumus taip pat dėl savo dydžio ypatumų (18–22 μ m), todėl sveikatos problemų gali kilti ir tuose regionuose, kur jos dar nėra nustatytos (Cecchi et al., 2007). Taigi žiedadulkių pernešimo mechanizmas priklauso nuo morfometrinių žiedadulkės savybių ir atmosferos dinamikos. Manoma, kad makroskalės sistemos, tokios kaip bendroji cirkuliacija, pusiau pastovios sistemos ir atmosferos sraujymės, taip pat lemia dalelių pernašą, ypač tais atvejais, kada peržengiama paribio sluoksnio viršutinė riba (Gassmann, Pérez, 2006).

Skirtingos metodikos taikomos vertinant tolimąją žiedadulkių pernašą. Dažniausia taikomas modeliavimas: atgalinių oro masių trajektorijų analizė (Van de Water, Levetin, 2001; Gassmann, Pérez, 2006; Šaulienė, Veriankaitė, 2006; Cecchi et al., 2007; Mahura et al., 2007; Skjøth et al., 2007; Belmonte et al., 2008, Smith et al., 2008) ir tam tikri adaptuoti modeliai, kurie skirti žiedadulkių kiekiams apskaičiuoti (pvz., SILAM; MM5) (Ranta et al., 2006; Sofiev et al., 2006a, b; Siljamo et al., 2008b; Belmonte et al., 2008). Tokie vertinimo metodai leidžia nustatyti potencialius žiedadulkių šaltinius, taip pat įvertinti žiedadulkių sklaidos atmosferoje dėsningumus, atsižvelgiant į meteorologinės sąlygas (Sofiev et al., 2006a; Siljamo et al., 2008b).

Pirmiausiai modeliuojant nustatomi advekcinės kilmės žiedadulkių šaltiniai. Nustatyta, kad Skandinavijai pagrindinis beržo genties augalų

žiedadulkių šaltinis yra Rusija, Lenkija ir Baltijos šalys (Ranta et al., 2006), Danijai – Lenkija ir Vokietija (Skjøth et al., 2007), taip pat Baltijos šalys, Ukraina, Baltarusija ir Rusija (Mahura et al., 2007). Ambrozijos žiedadulkių šaltinis Italijai – Rytų Europos šalys (Cecchi et al., 2007), Ispanijai – Centrinės Europos šalys (Belmonte et al., 2000), Lenkijai – Čekija, Slovakija ir Vengrija (Stach et al., 2007; Smith et al., 2008). Tuo tarpu uosio genties augalų žiedadulkės atnešamos į Kataloniją iš Vokietijos, Italijos ir Prancūzijos (Belmonte et al., 2008).

Ne tik tolimajai žiedadulkių pernašai vertinti yra naudojamos atgalinių oro masių trajektorijos, bet ir nustatant vietinius šaltinius. Pavyzdžiui, C. A. Skjøth ir kt. (2009c) netipišką žiedadulkių kiekių fiksavimą aiškino ne tik kaip suformuotą atneštomis žiedadulkėmis iš kitų aplinkinių šalių, bet taip pat išskyrė atvejus, kada Londone fiksuotos žiedadulkės buvo atneštos iš Londono regiono.

Vertinant tolimąją žiedadulkių pernašą, svarbu ne tik žinoti, iš kokių regionų žiedadulkės yra atnešamos, bet ir kokie jų kiekiai gali būti atnešami. Tai priklauso nuo vietovės, reljefo ypatumų, kaimyninių šalių augalų rūšinės įvairovės, atmosferos dinamikos ypatumų ir pan. Todėl mokslininkai iš skirtingų Europos regionų pateikia kitokią informaciją apie galimus tolimosios pernašos sąlygotus žiedadulkių kiekius. Pavyzdžiui, J. Belmonte ir kt. (2008) daugiau kaip 90 žiedad./m³ per parą buko genties (*Fagus L.*) žiedadulkių priskyrė prie kiekio, kuris galėjo būti atneštas iš aplinkinių regionų į Kataloniją. L. Cecchi ir kt. (2007), nagrinėdami ambrozijos genties augalų žiedadulkių tolimosios pernašos galimybes, nustatė, kad šių augalų žiedadulkių pikai (iki 190 žiedad./m³) yra susiję su tolimąją pernaša. Tuo tarpu A. Stach ir kt. (2007), M. Smith ir kt. (2008) nurodo, kad dideli kiekiai ambrozijos žiedadulkių (>20 žiedad./m³) yra atnešami į Lenkiją iš aplinkinių regionų. Maskvos regione beržo genties augalų žiedadulkių kiekiai, kurie siejami su tolimąja pernaša, siekia nuo 60 žiedad./m³ iki > 400 žiedad./m³ (Siljamo et al., 2008b), Suomijoje – apie 120 žiedad./m³ (Sofiev et al., 2006a), o Danijoje – nuo 35 žiedad./m³ iki 244 žiedad./m³ (Skjøth et al., 2007).

Tolimosios pernašos mechanizmui aiškinti naudojamos trys pagrindinės žiedadulkių sezono stadijos: žiedadulkės užfiksuotos prieš vietinį augalų žydėjimą (ankstyvasis sezonas, kuris sąlygotas tolimosios pernašos), žiedadulkės, kurios užfiksuotos daugiausia dėl vietinių augalų žydėjimo tendencijų (pagrindinis sezonas) ir vėlyvosios žiedadulkės po vietinių augalų žydėjimo (vėlyvasis sezonas, tolimosios pernašos atneštos arba iš naujo pakibusios ore žiedadulkės) (Siljamo et al., 2008b). Todėl nenuostabu, kad fenologinė informacija gali būti naudojama analizuojant žiedadulkių sezono dėsninumus. Žydėjimo duomenys vertingi nusakant vietinės ir nevietinės augalijos poveikį žiedadulkių sezonui, taip pat analizuojant tolimosios pernašos galimybes. Aerobiologinė informacija naudojama ir fenologiniuose tyrimuose. Ji įvardijama kaip žydėjimo signalas detalizuojant klimato poveikį augalų žydėjimui. Žinant anemofilinių augalų fenologinius ypatumus, galima įvertinti ryšį tarp žydėjimo proceso (fenologinio veiksnio) ir žiedadulkių koncentracijos atmosferoje (žiedadulkių kreivės) (Jato et al., 2007).

Vis dėlto aerobiologiniuose tyrimuose būtina atkreipti dėmesį ne tik į fenologinius duomenis, bet ir į kitus aplinkos veiksnius, taip pat ir į meteorologinę bei topografinę situaciją, tolimosios pernašos galimybes, žiedadulkių produkciją ir gaudyklės nuotolį nuo potencialių šaltinių ir jų indėlį į žiedadulkių kiekius tiek laiko, tiek erdvės aspektu (Jato, et al., 2007).

1.4. Klimato kaitos scenarijų taikymas aeropalinologijoje ir fitofenologijoje

Nustatyta, kad per pastaruosius 31 metus (1974–2004 m.) išaugo kasmetinė ir kasdienė vidutinė beržo žiedadulkių koncentracija, užfiksuotas kasmetinis žiedadulkių sezono ankstyvėjimas (Yli-Panula et al., 2009). Tai tik vienas įrodymų, kad klimato kaita turi įtakos žiedadulkių produktyvumui ir sezonui. E. Yli-Panula ir kt. (2009) nustatė, kad beržo žiedadulkių sezonas koreliuoja su birželio mėnesio vidutine paros temperatūra, o prieš sezoną kylanti temperatūra pavasarį gali nutraukti augalų ramybės periodą ir implikuoti ankstyvesnį žiedadulkių sezoną. Nustatyta, kad ąžuolo genties

žiedadulkių sezonas Iberijos pusiasalyje nuo 1990 m. paankstvyėjo 2 savaitėmis (García-Mozo et al., 2006).

Daugiamečiai žiedadulkių duomenys atskleidžia dėsningumus ir galimą klimato kaitos poveikį žiedadulkių sezonui. Th. Frei ir E. Gassner (2008b), remdamiesi ilgalaikiais beržo genties augalų žiedadulkių duomenimis (38 m.), įrodė, kad beržo žydėjimas paankstvyėjo ir tai tiesiogiai susiję su pakilusia temperatūra. Nustatytas žiedadulkių prieaugis, kuris vidutiniškai siekė iki 97,8 žiedadulkių per metus. Įvertinę 11 žiedadulkių morfotipų šie mokslininkai nustatė, kad 1969–2007 m. žiedadulkių kiekių trendai kyla, o 1991–2007 m. krenta, o žiedadulkių sezonai sutrumpėjo.

Moksliniai tyrimai vykdomi ne tik žiedadulkių sklaidos ir klimato kaitos tematika, bet taip pat aiškinamasi, kokios yra alerginių susirgimų tendencijos. Šveicarijos mokslininkai, remdamiesi 1926–2000 m. epidemiologiniais tyrimais ir 1982–2007 m. žiedadulkių monitoringo duomenimis, nustatė, kad žiedadulkių sezonai trumpėja (žolės, dilgelės, kietis ir ambrozija) ir išskiriami laikotarpiai, kai buvo sumažėję šienligės atvejų (Frei, Gassner, 2008b).

Daugiamečių duomenų rezultatai rodo vienareikšmį žiedadulkių sezono ankstyvėjimą. Pavyzdžiui, 1977–2000 m. žiedadulkių koncentracijos duomenų analizė parodė, kad Kopenhagoje beržo sezono pradžia pasislinko 14 dienų anksčiau, pikas – 17 dienų anksčiau, o sezono pabaiga – 9 dienomis anksčiau (Rasmussen, 2002). Tuo tarpu 38 m. šveicarų vykdytų žiedadulkių tyrimų duomenys parodė, kad ankstyvesnis beržo žydėjimas yra susijęs su kylančia temperatūra, o bendras žiedadulkių kiekis išaugo (Frei, Gassner, 2008a). Olandų mokslininkų duomenimis (1969–2000 m. ir 14 žiedadulkių morfotipų), tarp skirtingų dekadų užfiksuotas net 22 dienų skirtumas (ankstyvėjimas), kuris priklauso nuo žiedadulkių morfotipo (augalo rūšies) (Van Vliet et al., 2002). Remiantis 31 m. Suomijos mokslininkų vykdytų tyrimų duomenimis, matyti, kad statistiškai patikimai išaugo metinė ir kasdienė beržo žiedadulkių koncentracija (Yli-Panula et al., 2009).

Nemažai mokslinių idėjų fenologijoje siejama su klimato kaitos problemų analize. R. Ahas (1999) duomenimis, kurie apima 44–132 metus, priklausomai

nuo stebėto objekto, Estijoje pavasaris prasideda 8 dienomis anksčiau, lyginant su prieš 80 metų turimais duomenimis. Pavyzdžiui, augalai (baltažiedė plukė (*Anemone nemorosa* L.), paprastoji ieva (*Padus racemosa* (Lam.) Gilib.), naminė obelis (*Malus domestica* L.), paprastoji alyva (*Syringa vulgaris* L.)) pražydo 3–14 dienomis anksčiau, t. y. pagal tendus vidutiniškai žydėjimas ankstyvėjo 0,5–1,7 dienomis per dešimtmetį. Vidutiniai skirtumai tarp ankstyviausių ir vėlyviausių pavasario fenologinių datų yra 17–23 dienos, kai kuriais atvejais siekė net 2 mėnesius. Pavyzdžiui, užfiksuota, kad skirtumas tarp 1955 m. vėlyvo ir 1989 m. ankstyvo pavasario baltažiedės plukės žydėjimo siekė net 62 dienas.

Remdamasis Tarptautinių fenologinių sodų duomenimis A. Menzel (2000) įvertino fenologinę situaciją Europoje ir nustatė, kad 1951-1996 m. dėl didelės tarpmetinės variacijos ir trumpų duomenų sekos tik 27 % fenologinių fazių ankstyvėjimą rodančių tendų yra statistiškai patikimi (pavasario fenologiniai duomenys). Šiaurės ir Centrinėje Europoje (pvz., Skandinavija, Danija, Airija, Belgija, Vokietija, Austrija) apskaičiuoti neigiami trendai (–0,21 dienos per metus) iliustruoja fenologinių fazių (sulapojimo ir žydėjimo) ankstyvėjimą. Pagal šveicarų mokslininkų duomenimis (50 metų) nustatyta, kad vegetacijos periodas pailgėjo 13,3 dienomis (Defila, Clot, 2001).

R. Ahas ir kt. (2002) nustatė, kad pavasario fazių fenologinis vystymasis turi individualų greitį ir kryptį skirtingose Europos dalyse. Pastebėta, kad visos tirtos fazės (paprastojo lazdyno, šalpusnio (*Tussilago farfara* L.), naminės obels, paprastosios alyvos ir mažalapės liepos (*Tilia cordata* Mill.) pražydimas ir karpotojo beržo (*Betula pendula* Roth) lapų kritimas) pradėjo vystytis pietinėse Vakarų Europos dalyse anksčiausiai, kai tuo tarpu šiaurinėje Rytų Europos lygumos dalyje – vėliausiai. Fenologinių fazių pradžios greitis ir erdvinis pasiskirstymas priklauso nuo vietinio kraštovaizdžio, jūros įtakos ir žemės paviršiaus. Didžiausią įtaką turėjo Alpių ir Karpatų kalnų sistemos, o didžiausias vietinis fenologinis kintamumas nustatytas Baltijos, šiauriniame ir Ukrainos regionuose (Ahas et al., 2002).

Tyrimai parodė, kad ankstyvosios fenologinės fazės (pvz., lazdyno, šalpusnio vegetacijos pradžia) yra jautriausios, t. y. remiantis daugiamečiais duomenimis, paankstyvėjo net 10–20 dienomis, o vėlesnės pavasario fazės (ąžuolo, obels, alyvos vystymasis) – tik 5–15 dienomis. Atlikus lyginamąją analizę, pastebėta, kad didesni pokyčiai pavasario fazėse užfiksuoti Baltijos jūros ir Rytų Europos lygumos regionuose (Ahas et al., 2002).

Panašius rezultatus gavo ir Airijos mokslininkai, kurie, remdamiesi daugiamečiais duomenimis, nustatė, kad pirmosios žydėjimo ir lapojimo datos yra labai jautrios temperatūrai ir pavasarį, temperatūrai kylant kas 1 °C, fiksuojamas paankstėjimas iki 8 dienų (Carroll et al., 2009). Tuo tarpu Didž. Britanijos mokslininkai ištyrė, kad augalų žydėjimas paankstėja 5-25 dienomis, kai temperatūra keičiasi kas +2,5 °C (Sparks et al., 2000). Suomijos mokslininkai šiauriniuose regionuose ankstyvesnį pumpurų sproginimą sieja su aukštesne vasaros oro temperatūra (Pudas et al., 2008). Ne tik fenologinių stebėjimų duomenys iliustruoja fenologinių fazių ankstyvėjimą, bet ir palydovinė informacija rodo ankstyvesnį sužaliavimą (Badeck et al., 2004).

Fenologiniai duomenys gali būti naudojami ir trumpesnioms klimato rekonstrukcijoms sudaryti (Aono, Kazui, 2008) ir ateities klimatinių sąlygų įtakos fenologinėms fazėms analizei atlikti (Jones et al., 2006). Ateityje numatomas didžiausias augmenijos pokytis – tai augimo sezono trukmės ilgėjimas (Jones et al., 2006).

Taigi šie surinkti fenologiniai duomenys suteikia įvairios informacijos. Gana tiksliai nustatyta, kad Šiaurės pusrutulyje 99 rūšys (paukščiai, drugeliai, alpinės žolės) XX a. pabaigoje pasislinko apytiksliai vidutiniškai 6,1 km į Šiaurę ir tiek pat metrų aukštyn per dešimtmetį. Vertinant apskritai 172 žolių, drugelių, krūmų, medžių, varliagyvių rūšis, pastarosios pavasarį yra susijusios su 2,3 dienų per dešimtmetį fenologinių fazių ankstėjimu (1,7–3,2 dienų per dešimtmetį) (Cowie, 2007).

J. Cowie (2007) nurodo, kad įvertinus 677 rūšis, 27 % neparodė jokių pokyčių, 9 % atskleidė pavasario įvykių vėlyvėjimą ir 62 % – paankstėjimą. R. B. Primack ir kt. (2009) atliktais tyrimais taip pat įrodė, kad ne visos

fenologinės fazės (parinktos rūšys iš skirtingo trofinio lygmens: augalų pražydimo, paukščių parskridimo, drugelių bei varliagyvių pasirodymo fazės) rodo paankstėjimą, pvz., 5 rūšių fenologinės fazės ankstyvėjo per paskutinius 5 dešimtmečius, o 7 rūšių fenologiniai pokyčiai buvo prieštaringi ar net vėlyvėjo.

Vertinant gamtos pokyčius nemažai dėmesio yra skiriama modelių kūrimui ir vystymui. Kai kurie moksliniai darbai paskirti „globalinio atšilimo“ scenarijų ir medžių fenologijos pokyčių analizei (Chuine et al., 1999). Bandoma fenologinius pokyčius sumodeliuoti globalinių klimato modelių išvesties duomenų pagalba (Clark, Thompson, 2009). Dalis modeliavimo darbų siejami su konkrečia augalo rūšimi, tačiau atliekami tyrimai susiję su modelio pritaikymu kelioms augalų rūšims (Chuine et al., 1999). Plačiausiai klimato kaitos aspektams nusakyti naudojami du globaliniai klimato modeliai – tai HadCM ir ECHAM. HadCM3 sukurtas Hadley klimato tyrimų ir prognozių centre Jungtinėje Karalystėje, o ECHAM5 – Makso Plancko Meteorologijos institute ir Vokietijos klimato skaičiavimo centre (Rimkus ir kt., 2007). Šių modelių išvesties rezultatai panaudoti ir Lietuvos klimato prognozėms sudaryti.

C. P. Osborne ir kt. (2000), pasinaudoję alyvmedžio fenologine informacija ir HadCM2 GGA išvesties duomenimis, nustatė, kad ateities temperatūra indikuos alyvmedžio fenologijos pokyčius iki 30 dienų. K. Bergant ir kt. (2002) įvertino kiaulpienės žydėjimo tendencijas pagal du bendrosios cirkuliacijos modelius, HadCM3, ECHAM4/OPYC3S ir IS95a scenarijaus išvesties duomenis ir nustatė, kad abu modeliai suteikia panašią situaciją, t. y. 4–5 dienų žydėjimo fazių ankstėjimą (1990–2019 m.). L. Shafer ir kt. (2001), pasinaudodami trimis jungtiniais atmosferos ir vandenyno bendros cirkuliacijos modeliais – HADCM2, CGCM1 ir CSIRO, įvertino Šiaurės Amerikos augalijos atsaką į klimato kaitą ir nustatė, kad šis varijuoja priklausomai nuo teritorijos topografijos. Modeliavimo rezultatai parodė, kad Šiaurės Amerikos medžių ir krūmų taksonų pokyčiai kaip atsakas į klimato

kaitą bus žymūs, o ribos slinksis net tik į Šiaurę bei į viršų aukščio aspektais, bet ir visomis kryptimis (Shafer et al., 2001).

Olandų mokslininkai, naudodami skirtingų žiedadulkių morfotipų ir HadCM2 modelio Sa1 scenarijaus išvesties duomenis, nurodė, kad planuojami žiedadulkių sezono pradžios pokyčiai bus akivaizdūs (pvz., ankstės iki 23 dienų) (Van Vliet et al., 2002). H. García-Mozo ir kt. (2006), naudodamiesi ąžuolo genties žiedadulkių ir HadCM3 modelio A2 scenarijaus išvesties duomenimis, nustatė, kad kontinentinėse dalyse ąžuolo fenologiniai pokyčiai bus didesni nei pajūrio teritorijose, kartu žiedadulkių sezonas prasidės anksčiau ir numatoma didesnė žiedadulkių emisija kontinentinėse Viduržemio regiono srityse. J. Emberlin ir kt. (2007), pasinaudodami žiedadulkių stebėsenos duomenimis ir UKCIP02 emisijos scenarijaus duomenimis, nustatė, kad Didž. Britanijoje išaugusi spalio mėnesio temperatūra lems lazdyno genties žiedadulkių sezono pradžios vėlyvėjimą, o padidėjusi gruodžio mėnesio temperatūra – ankstyvėjimą. R. M. Clark ir R. Thompson (2009), pasinaudodami temperatūros sumų duomenimis, HadCM3 A1FI išvesties duomenimis ir pražydimo datų modeliu, nustatė, kad pavasario pražydimo datų variacija priklauso nuo klimato kontinentalumo, vandenyno regiono augalų ir vidutinio klimato biomų didžiausio jautrumo. Pasitelkę tris scenarijus M. Clark ir R. Thompson (2009) įvertino galimus pokyčius Škotijoje ir nurodė, kad numatant kasmetinį 1 °C temperatūros kilimą, botaniniai sezonai pasislinks vidutiniškai 11 dienų, atsižvelgiant į klimatinius metus. Pagal A2 scenarijų (spartesnis žiemos, lyginant su vasara, šilimas) numatoma, kad pavasario pradžia pasislinks 16,2 dienomis, o pavasario pabaiga – 11,2 dienomis, o pagal B2 scenarijų (šiltesnis, labiau kontinentalus klimatas) – atitinkamai 7,2 ir 11,2 dienomis (Clark, Thompson, 2009).

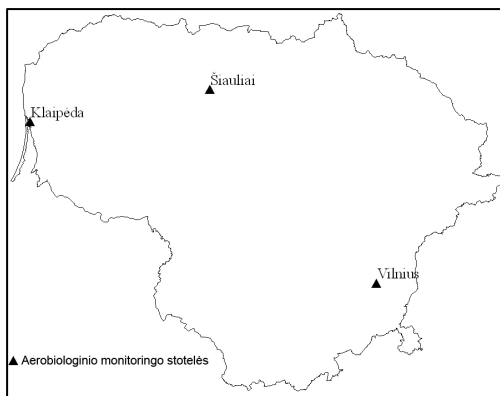
Akivaizdu, kad nustatytos bendros tendencijos, t. y. dėl didėjančios oro temperatūros matyti žiedadulkių sezonų ir augalų žydėjimo ankstyvėjimas, tačiau išlieka aiškūs skirtumai tarp skirtingų geografinių vietovių, augalų rūšių bei žiedadulkių morfotipų. Todėl tokie tyrimai regioniniu lygmeniu yra būtini.

2. DARBO METODIKA IR NAUDOTI DUOMENYS

2.1. Žiedadulkių sklaidos atmosferoje tyrimai

Aeropalinologinės situacijos tyrimui Lietuvoje panaudoti tiesioginiai žiedadulkių matavimų duomenys, kurie suteikti Šiaulių universiteto, Gamtos mokslų fakulteto, Aplinkotyros katedros. 2003 m. žiedadulkių monitoringas pradėtas vykdyti Šiauliuose, nuo 2004 m. – Klaipėdoje, o nuo 2005 m. – Vilniuje. Dėl nesistemingų žiedadulkių matavimų Šiauliuose, 2003 m. neįtraukti į darbo analizę.

2005–2009 m. žiedadulkių kiekis ore stebėtas trijose aerobiologinėse stotelėse (2.1 pav.): Vilniuje ($25^{\circ}16'05$ r. il., $54^{\circ}40'40$ š. pl.), Klaipėdoje ($21^{\circ}07'32$ r. il., $55^{\circ}45'20$ š. pl.) ir Šiauliuose ($23^{\circ}18'32$ r. il., $55^{\circ}55'36$ š. pl.). Visos trys stebėsenos stotelės reprezentuoja aerobiologinę Lietuvos teritorijos būklę.



2.1 pav. Aerobiologinio monitoringo stotelių išsidėstymas Lietuvoje



2.2 pav. Hirst tipo tūrinė sporų gaudyklė

Žiedadulkės fiksuotos Hirst tipo tūrinėmis sporų gaudyklėmis (Hirst, 1952) (2.2 pav.), kurios iškeltos į 18 m aukštį nuo žemės Vilniuje ir Šiauliuose bei į 20 m aukštį Klaipėdoje. Preparatai žiedadulkių fiksavimui paruošti ir duomenys apdoroti pagal standartinį P. Mandrioli ir kt. (1998) metodą.

Aeropalinologinei situacijai Lietuvoje nustatyti išskirti dominuojantys žiedadulkių morfotipai. Pagal Europos alergenų tinklo reikalavimus 2004–2009 m. stebėtos augalų genčių ir šeimų žiedadulkės nurodytos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. 2004–2009 m. Lietuvos aerobiologinėse stotelėse stebimos augalų šeimų ir genčių žiedadulkės bei jų dydžiai

Metai	Žiedadulkių morfotipas	Vidutinis žiedadulkių dydis (µm)
2004	Alksnis (<i>Alnus</i> Mill.)	22x34
	Ambrozija (<i>Ambrosia</i> L.)	19x20
	Astriniai (<i>Asteraceae</i> Dumort.)	18x19 iki 33x36
	Ažuolas (<i>Quercus</i> L.)	21x29
	Balandiniai (<i>Chenopodiaceae</i> Vent.)	26 (21–29) (<i>Chenopodium</i> L.)
	Bastutiniai (<i>Brassicaceae</i> Burnett)	24x27 (<i>Brasicca</i> L.)
	Beržas (<i>Betula</i> L.)	19x22
	Bukas (<i>Fagus</i> L.)	40x43
	Dilgėliniai (<i>Urticaceae</i> Juss.)	13x15 (<i>Urtica</i> L.)
	Gluosnis, karklas (<i>Salix</i> L.)	18x20
	Guoba, skirpstas, vinkšna (<i>Ulmus</i> L.)	26x30
	Gyslotis (<i>Plantago</i> L.)	20 iki 24
	Kietis (<i>Artemisia</i> L.)	17x18
	Kiparisiniai (<i>Cupressaceae</i> Rich. Ex Bartl.)	24 (<i>Juniperus</i> L.)
	Klevas (<i>Acer</i> L.)	28x32
	Lazdynas (<i>Corylus</i> L.)	20x25
	Liepa (<i>Tilia</i> L.)	24x31
	Migliniai (<i>Poaceae</i> (R. Br.) Bernhart)	20 iki 40
	Pušiniai (<i>Pinaceae</i> Lindl.)	90x130 (<i>Abies</i> Mill.) Skersmenys: 80 (<i>Larix</i> Mill.), >85 (<i>Picea</i> A. Dietr.), <85 (<i>Pinus</i> L.)
	Rūgštytė (<i>Rumex</i> L.)	21x22 iki 28x29
	Rugys (<i>Secale</i> L.)	40x60
	Rykštenė (<i>Solidago</i> L.)	20
	Salieriniai (<i>Apiaceae</i> Lindl.)	14x24 iki 22x39
Skroblas (<i>Carpinus</i> L.)	34x36	
Tuopa, drebulė (<i>Populus</i> L.)	29–33	
Uosis (<i>Fraxinus</i> L.)	19x22	
Viksvuoliniai (<i>Cyperaceae</i> Juss.)	29 (skersmuo)	
2005	Apynys (<i>Humulus</i> L.)	18x20
	Kaštonas (<i>Aesculus</i> L.)	19x22
	Šeivamedis (<i>Sambucus</i> L.)	17x18
	Kiaulpienė (<i>Taraxacum</i> F. H. Wigg.)	21x22 iki 29x30
	Švendriniai (<i>Typhaceae</i> Juss.)	40x43
2006–2009	Erškėtiniai (<i>Rosaceae</i> Juss.)	32x37 (<i>Malus</i> Mill.)
	Kanapiniai (<i>Cannabaceae</i> Endl.)	19x21
	Kvietys (<i>Triticum</i> L.)	50
	Lipikas (<i>Galium</i> L.)	15x18
	Viržis (<i>Calluna</i> Salisb.)	36

Darbe vartojamas terminas *žiedadulkių morfotipai* apibūdina nustatytų augalų genčių ir šeimų augalų žiedadulkes. 2005–2009 m. augalų šeimų ir genčių žiedadulkių sąrašas buvo papildytas naujais, 2.1 lentelėje pateiktais žiedadulkių morfotipais. Dalį žiedadulkių neįmanoma identifikuoti dėl pažeistos žiedadulkių struktūros, neatpažįstamos žiedadulkių formos, todėl papildomai prie stebimų žiedadulkių morfotipų įvesta neatpažįstamų žiedadulkių kategorija „Neatpažintos“.

Remiantis Z. Gudžinsko ir V. Rašomavičiaus (2004) nustatytomis normomis, dėl kelis lietuviškus pavadinimus turinčių augalų genčių pavadinimų naudojimo šiame darbe vartojami tuopos, gluosnio ir guobos lietuviški pavadinimai, nurodantys *Populus L.*, *Salix L.* bei *Ulmus L.* gentis.

Analizuojamos žiedadulkės skiriasi savo struktūra ir dydžiu (2.1 lent.), todėl į tai būtina atsižvelgti analizuojant oro masių, tolimosios žiedadulkių pernašos ar meteorologinių parametrų poveikį žiedadulkių sklaidai. Jeigu žiedadulkė neapvali, tai jos dydis nurodomas polinės ir ekvatorinės padėties atžvilgiu. 2.1 lentelėje nurodyti dydžiai sudaryti remiantis C. A. Accorsi ir kt. (1991), H. Winkler ir kt. (2001), E. Bucher, V. Kofler (2004) darbais.

Nagrinėjant žiedadulkių morfotipų įvairovę pagal fiksuotų žiedadulkių gausumą, pateikiant duomenis buvo taikoma metodika, leidžianti išsamiau įvertinti žiedadulkių kiekio tendencijas tiriamuoju laikotarpiu. Dalis ore fiksuojamų žiedadulkių per visą žiedadulkių sezoną sudaro mažus kiekius, todėl juos korektiška priskirti prie kategorijos „Kiti“ (2.2 lent.). Prie šios kategorijos priskirtos visos augalų gentys ir šeimos, kurių žiedadulkių indeksas žiedadulkių sezono metu arba per mėnesį buvo mažiau nei 200. *Žiedadulkių indeksas* pateikiamas kaip susumuota vidutinė paros žiedadulkių koncentracija (Comtois, 1998) per laiko vienetą, pvz., per mėnesį, per žiedadulkių sezoną, per metus.

Vertinant bendrą žiedadulkių sklaidą Lietuvoje, kategoriją „Kiti“ reikėtų detalizuoti (2.2 lent.). Skirtingų žiedadulkių morfotipų priskyrimas prie šios kategorijos priklauso nuo stebėtų augalų genties ar šeimos žiedadulkių konkrečiais metais.

2.2 lentelė. Žiedadulkių morfotipai pasižymintys nedidelėmis žiedadulkių koncentracijomis Lietuvoje

Aerobiologinė stotelė	Metai	Ambrozija	Apynys	Astriniai	Ažuolas	Balandiniai	Bastutiniai	Bukas	Erškėtiniai	Gyslotis	Gluosnis	Guoba	Kanapiniai	Kaštonas	Kiaulpienė	Kietis	Kiparisiniai	Klevas	Kvietys	Lazdynas	Liepa	Lipikas	Rykštenė	Rugys	Rugštyinė	Salieriniai	Skroblas	Šeivamedis	Švendriniai	Tuopa	Uosis	Viksvuoliniai	Viržis	
Klaipėda	2004	+	N	+	D	+	+	N	N	+	D	+	N	N	N	N	+	N	N	+	+	N	N	+	+	+	N	N	N	+	+	+	N	
Šiauliai		N	N	+	D	+	N	N	N	+	D	+	N	N	N	N	+	N	N	D	+	N	N	+	D	+	N	N	N	D	D	+	N	
Vilnius	2005	N	+	+	+	+	+	+	N	D	D	+	N	+	N	+	+	D	N	D	+	N	+	N	D	+	+	+	N	+	+	+	N	
Klaipėda		N	+	+	+	+	+	+	N	N	+	+	+	N	N	+	+	+	N	+	+	N	+	N	D	+	+	N	N	+	+	+	N	
Šiauliai	2006	+	+	+	+	+	+	+	N	+	D	+	N	+	+	+	+	D	N	+	+	N	+	+	D	D	+	+	+	+	+	+	+	N
Vilnius		+	+	+	D	+	+	+	+	+	D	+	+	+	N	N	+	D	+	D	+	N	+	+	D	+	+	N	N	D	+	+	+	N
Klaipėda	2007	+	+	+	D	+	+	+	+	D	+	N	+	N	N	N	+	+	N	+	+	N	+	+	D	+	+	N	N	D	+	+	+	N
Šiauliai		+	N	N	D	+	N	N	N	+	+	N	N	+	N	N	+	+	+	+	+	N	+	+	+	N	+	N	+	D	N	+	N	
Vilnius	2008	D	N	N	+	+	+	+	N	+	D	+	N	+	+	N	+	+	N	D	+	N	+	+	D	+	D	N	N	D	+	+	+	N
Klaipėda		+	N	+	+	+	+	D	N	+	D	+	N	+	+	N	+	+	+	+	+	N	+	+	+	N	+	N	+	+	+	+	+	+
Šiauliai	2009	+	N	+	D	+	+	+	+	D	D	N	+	N	N	+	+	+	+	+	N	+	+	+	N	+	N	+	+	+	+	+	+	N
Vilnius		+	N	+	D	+	+	+	+	D	D	+	N	+	N	N	D	D	N	D	+	N	+	+	D	+	+	N	+	D	D	N	N	
Klaipėda	2009	+	N	+	D	+	+	N	N	+	D	+	N	+	N	N	D	+	N	+	+	N	+	+	D	+	+	N	+	D	+	+	+	N
Šiauliai		+	N	D	D	+	+	N	N	D	D	+	+	+	N	N	D	+	+	D	D	N	+	+	D	+	+	N	+	D	D	+	+	+

+ – kai žiedadulkių indeksas per metus < 200

D – kai žiedadulkių indeksas per metus > 200

N – neužfiksuota/neidentifikuota

Atsižvelgiant į tai, kad stebimų žiedadulkių sąrašas 2004–2009 m. kasmet buvo papildomas (2.1 lent.), šią kategoriją atskirais metais sudarė skirtingi žiedadulkių morfotipai.

Analizuojant žiedadulkių koncentracijų dėsningumus mėnesio laikotarpiu, detalizuoti kategorijos „Kiti“ nereikia, kadangi, atliekant tokio pobūdžio tyrimus, svarbiausia išskirti gausiausiai fiksuojamų žiedadulkių morfotipą. Nedideliais žiedadulkių kiekiais pasižymintys žiedadulkių morfotipai, nagrinėjant žiedadulkių gausą, o ne įvairovę, yra mažiau aktualūs. Todėl nustatant žiedadulkių koncentracijų dėsningumus mėnesio laikotarpiu nei metodikos, nei darbo rezultatų skyriuje ši kategorija nedetalizuojama. Galima pabrėžti, kad visi žiedadulkių morfotipai, kurių apskaičiuotas žiedadulkių indeksas nesiekė 200, buvo susisteminti ir priskirti prie aukščiau minėtos kategorijos.

Žiedadulkių sklaidai nusakyti naudotasi paros žiedadulkių koncentracijos duomenimis, kurie yra išreiškiami žiedadulkėmis/m³ (naudojamas trumpinys žiedad./m³). Pušinių, kiparisinių šeimos augalai sporifikuoja ir skaičiuojamos jų mikrosporos. Atsižvelgiant į Europos mokslininkų vartojamus bendrinius terminus, disertacijoje pateikiamos vienodos sąvokos (žiedadulkių koncentracija, indeksas, kiekis) bei matavimo vienetai – žiedad./m³.

Bendrai mėnesio žiedadulkių situacijai įvertinti pasinaudota vidutinėmis mėnesio žiedadulkių koncentracijomis. Žiedadulkių sezonams apibrėžti taikytas plačiai naudojamas 2,5% kriterijus (Goldberg et al., 1988). Juo remiantis, atsižvelgiant į metinę suminę žiedadulkių koncentraciją, atmetami visi pavieniai atvejai. Žiedadulkių kiekis, kuris sudaro 95% bendro žiedadulkių kiekio yra vadinamas žiedadulkių sezonu.

Pasinaudojant 2,5% kriterijumi kiekvienam žiedadulkių morfotipui buvo apskaičiuotas konkrečių metų žiedadulkių sezonas. Žiedadulkių sezono duomenys naudoti bendrai žiedadulkių sklaidai Lietuvoje nusakyti, atgalinių trajektorijų, meteorologinių sąlygų poveikio žiedadulkių sklaidai įvertinti, ryšiui tarp fiksuojamų ore žiedadulkių ir žydinčių augalų Lietuvoje nustatyti bei tolimosios pernašos galimybei įvertinti.

Žiedadulkių koncentracijos variacijos analizėje panaudoti ir meteorologiniai Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos (LHMT) suteikti duomenys. Suskaičiuotas fiksuojamais gausiais žiedadulkių kiekiais išsiskiriančių augalų šeimų ir genčių žiedadulkių indeksas, žiedadulkių sezono trukmė (dienomis) ir vidutinės meteorologinių parametrų vertės žiedadulkių sezono metu: vidutinė oro temperatūra (°C), santykinis oro drėgnumas (%), vėjo greitis (m/s) bei suminis kritulių kiekis (mm).

Kadangi tirtų žiedadulkių koncentracijų duomenys nėra artimi Gauso skirstiniui (patikrinta pasinaudojus Kolmogorovo-Smirnovu testu) vidutinės meteorologinių parametrų vertės žiedadulkių sezono metu ir žiedadulkių koncentracijų bei žiedadulkių indekso ir žiedadulkių sezono trukmės koreliacijos koeficientai apskaičiuoti remiantis Spirmeno ranginės koreliacijos metodu (naudotasi STATISTICA paketu).

Nedideliais žiedadulkių kiekiais pasižyminčių augalų žiedadulkių kiekio fluktuacijos galimos priežastys sietinos su meteorologinių parametrų kitimu.

Išsamesnė žiedadulkių koncentracijos variacijos priklausomybės nuo meteorologinių veiksnių analizė atlikta *3.4. Meteorologinių sąlygų poveikio žiedadulkių sklaidai atmosferoje* poskyryje. Naudota metodika detalai aprašyta *2.4. Meteorologinių parametrų poveikio žiedadulkių koncentracijai nustatymas* poskyryje.

Atsižvelgiant į 2004–2009 m. žiedadulkių koncentracijos duomenis išskirtos maksimalios visų morfotipų žiedadulkių koncentracijos, įvertintas beržo genties slenkstinių verčių viršijimas dienomis. Remiantis K. Laaidi (2001a) beržo genties žiedadulkių slenkstinės vertės nusakytos žiedadulkių kiekiu apsunkinančiu žmonių savijautą.

2.2. Oru sklindančių žiedadulkių sezono ir augalų pražydimo palyginimas

Oru sklindančių žiedadulkių sezono ir augalų pražydimo palyginimui naudotasi 2004–2009 m. trijų aerobiologinių stotelių žiedadulkių koncentracijų ir Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos (LHMT) fenologiniais (pražydimo)

duomenimis. Lyginamajai analizei atlikti pasirinkti šie žiedadulkių morfotipai: lazdynas, beržas ir liepa. Vidutiniai žiedadulkių sezonai palyginti su paprastojo lazdyno, karpotojo beržo ir mažalapės bei didžialapės liepų pražydimu. Minėti augalai parinkti atsižvelgiant į galimybę įvertinti klimato kaitos poveikį augalų pražydimui. Įvertinus augalų pražydimo datų erdvinį pasiskirstymą Lietuvoje bei duomenų sekų ilgį, reikia akcentuoti, kad daugelis augalų rūšių negali būti analizuojamos, todėl parinktos būtent šios trys augalų grupės. Taigi remiantis fitofenologiniais ir aerobiologiniais duomenimis buvo palygintas pražydimas ir žiedadulkių sezono trukmė Lietuvoje. Šioje lyginamojoje analizėje pražydimas Lietuvoje apibūdintas, atsižvelgiant į anksčiausiai ir vėliausiai nustatytą LHMT stebimų augalų pražydimo datas. Remiantis Vilniaus, Klaipėdos ir Šiaulių aerobiologinių stotelių duomenimis apskaičiuotas bendras Lietuvoje trukęs žiedadulkių sezonas (atskirai lazdyno, beržo ir liepos genties augalų) ir vidutinės žiedadulkių koncentracijos. Augalų pražydimas ir žiedadulkių sezono trukmė palyginti kiekvieniems metams atskirai. Tai vienas iš paprasčiausių būdų, tačiau kol kas ir vienintelis, galintis atskleisti sąsajas tarp augalų pražydimo Lietuvoje ir ore fiksuojamų žiedadulkių.

2.3. Oro masių bei tolimosios pernašos įtakos žiedadulkių sklaidai nustatymas

Siekiant nustatyti žiedadulkių kiekio atmosferoje stebėsenos ir oro masių tolimosios pernašos analizės sąsajas, nubrėžtos oro masių atgalinės trajektorijos. Atgalinės trajektorijos nubraižytos pasinaudojus JAV NOAA Oro išteklių laboratorijos (ARL) tiekiamu HYSPLIT 4 modeliu (angl. *HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model*) (Draxler, Rolph, 2003). Pasitelkus šį modelį galima nustatyti atgalines ar į priekį (nuo pradinio taško) slenkančių oro masių trajektorijas, iliustruojant pavieniu oro srautu arba konvertuojant srautus laiko atžvilgiu. Šis modelis turi sąsajas su globaliniais ARL ir NCEP meteorologiniais duomenų serveriais. Trajektorijų iliustravimo principas paremtas oro masės pozicijos integracija, priklausomai nuo laiko

intervalo. Pasyvus oro masių pernešimas gali būti skaičiuojamas įvertinant tridimensinius vidutinius vėjo vektorius, kai dalelės yra pirminėje pozicijoje $P(t)$, o pirmoji aproksimuota pozicija yra $P'(t + dt)$ (Draxler, Hess, 1997) (kur P – slėgis, V – vėjo greitis, dt – integruotas laiko žingsnis). Greičio vektoriai yra interpoliuojami atsižvelgiant į erdvinį išsidėstymą ir laikotarpį. Pirmoji HYSPLIT 4 modelio aproksimuota pozicija apskaičiuojama pagal tokią lygtį (Draxler, Hess, 1997):

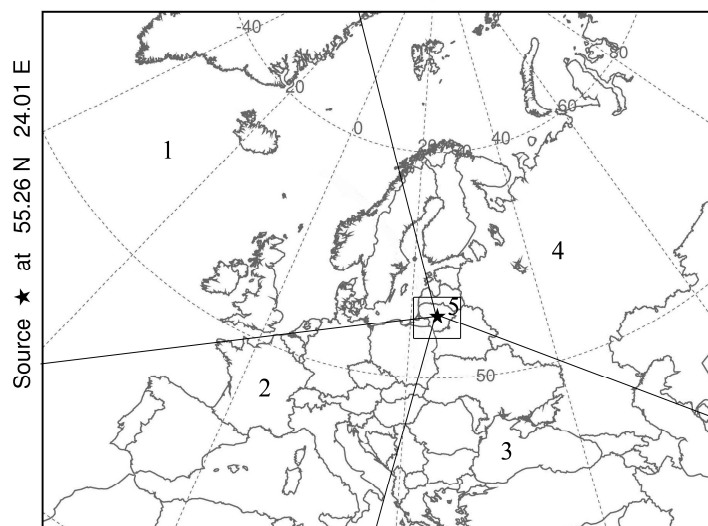
$$P'(t + dt) = P(t) + V(P, t)dt \quad [1].$$

Tačiau galutinė oro dalelių pozicija gali būti iliustruojama šia lygtimi (Draxler, Hess, 1997):

$$P(t + dt) = P(t) + 0,5[V(P, t) + V(P', t + dt)]dt \quad [2].$$

Žiedadulkių koncentracijos (2004–2009 m.) aerobiologinėse stotelėse variacijai įvertinti, atsižvelgiant į atgalinių trajektorijų vaizdavimo principus, remiantis S. Kazakevičium ir A Mikelinskiene (2001), Europa buvo padalyta į 5 rajonus.

Analizuojami duomenys iš trijų aeropalinologinių stotelių, esančių skirtingose Lietuvos vietose, taigi Europa padalyta į regionus geografinio Lietuvos centro atžvilgiu (2.3 pav.).



2.3 pav. Europos skirstymas į regionus, atsižvelgiant į atgalinių oro masių pernašų trajektorijas

1 Europos regionui priskiriamos oro masės, kurios dažniausia susiformuoja Šiaurės Atlante. Jos slenka per Skandinavijos pusiasalį, Didž. Britaniją, Daniją, Šiaurės, Norvegijos ir Baltijos jūras.

2 regionui priskiriamos oro masės, slenkančios per Centrinę Europą (Prancūziją, Vokietiją, Italiją, Čekiją, Lenkiją).

3 regionui priskiriamos oro masės, slenkančios per pietrytinę Europos dalį (Graikiją, Bulgariją, Rumuniją, Ukrainą, Baltarusiją).

4 regionui priskiriamos šiaurinės oro masės, slenkančios nuo Arkties vandenyno, Špicbergeno, Barenco jūros ir keliaujančios virš Suomijos, Karelijos, Estijos, Latvijos, Rusijos.

5 regionui priskiriamos vietinės oro masės (Lietuvos teritorija).

Kiekvienos aerobiologinės stotelės atžvilgiu HYSPLIT 4 modeliu buvo nustatytos 4 646 oro masių atgalinės trajektorijos 2004–2009 m. sausio-rugsėjo mėn. Pasirinkta 72 val. oro masių slinkimo trukmė, atgalinės trajektorijos konvertuotos laike (t. y. kas 3 val. modeliuojama nauja trajektorija). Vertikalaus judėjimo metodas paremtas meteorologinėmis sąlygomis. Atgalinės trajektorijos modeliuotos 20 valandai (UTC laiko skalė). Šio laiko pasirinkimą lėmė žiedadulkių duomenų interpretacijos galimybės, t. y. oro masių įtaka vertinama vidutinės paros žiedadulkių koncentracijos atžvilgiu. Preliminarus oro masės poveikis žiedadulkių gausumui Lietuvoje vertintas atsižvelgiant į vidutinę paros žiedadulkių koncentraciją. Pasirinktas 1500 m virš modelio lygio oro masių slinkties aukštis. M. Smith ir kt. (2005) nurodo, kad dėl kliūčių poveikio oro masių kelyje (reljefo ypatumai) ir galimo žemyneigio judėjimo susiformavimo, oro srautus žemiau kaip 500 m paviršiaus lygio analizuoti nevertėtų. Tačiau vertinant netoli žemės paviršiaus vykstančią pernašą, aukštį galima pažeminti.

Žiedadulkių kiekio kitimo sąsajai su oro masių slinkimu iš skirtingų Europos regionų atlikti buvo pasinaudota aerobiologinių stotelių žiedadulkių koncentracijos duomenimis. Bendrai mėnesio žiedadulkių kiekio variacijai įvertinti buvo naudotasi mėnesio žiedadulkių indeksu. Žiedadulkių indeksas nusakomas vidutine paros žiedadulkių koncentracijos suma per tiriamąjį

laikotarpį (Comtois, 1998). Konkrečiai atgalinei oro masių kryptčiai priskirtas mėnesinis žiedadulkių indeksas. Atskirų augalų šeimų ir genčių žiedadulkių koncentracijos variacijai, priklausomai nuo atgalinių oro masių trajektorijų kryptties, nustatyti pasinaudota žiedadulkių indeksu, kuris suskaičiuotas kiekvienam žiedadulkių morfotipui atskirai. Sąsajoms atlikti žiedadulkių indeksas buvo siejamas su atgaline oro masių trajektorija, kuri iliustruoja oro masių slinktį iš tam tikro Europos regiono. Žiedadulkių gausos priklausomybei nuo oro masių slinkimo kryptties įvertinimui buvo atrinkti labiausiai besiskiriantys rezultatai. Visi gauti rezultatai pateikti 1–3 prieduose.

Išanalizuoti žiedadulkių tolimąsias pernašas Lietuvoje pasirinktos ambrozijos ir beržo genčių žiedadulkės. Pasirinkimą lėmė šių anemofilinių augalų aerodinaminės žiedadulkių savybės, fenologiniai aspektai. Beržo ir ambrozijos genčių augalų žiedadulkių tolimosios pernašos galimybėms apibūdinti naudotasi dviem skirtingais modeliais. Naudojantis HYSPLIT 4 modeliu (Draxler, Rolph, 2003) suskaičiuotais ir grafiškai pavaizduotais atgalinių oro masių trajektorijų rezultatais, nustatyti galimi beržo ir ambrozijos genčių augalų žiedadulkių šaltiniai. Suomijos meteorologijos instituto oro kokybės ir perspėjimo dispersine modeliavimo sistema SILAM nustatyta beržo genties augalų žiedadulkių tolimoji pernaša. Žiedadulkių skaidai apskaičiuoti ir tikėtiniems žiedadulkių šaltiniams identifikuoti naudotasi dvejomis SILAM modelio versijomis. Pirmoji, Lagranžo versija, paremta atsitiktinių dalelių trajektorijų skaičiavimu, antroji, Eulerio versija, – bendrąja dispersijos lygtimi. Naudojant Lagranžo versiją, kiekvienam modeliuojamam atvejui, buvo suskaičiuotos 10 000 atsitiktinių dalelių trajektorijos. Žiedadulkių sklaidai modeliuoti buvo panaudoti skirtingų skaitmeninių oro prognozių modelių meteorologiniai duomenys.

2004–2007 m. beržo žiedadulkių ir 2004–2009 m. ambrozijos žiedadulkių tolimajai pernašai įvertinti HYSPLIT modeliu, naudojantis NCEP/NCAR (globalus padengimas nuo 1948 m.) ir GDAS meteorologiniais duomenimis (globalus padengimas nuo 2006 m.), apskaičiuotos atgalinės oro masių trajektorijos. GDAS duomenų bazė panaudota tik ambrozijos žiedadulkių

sklaidai analizuoti. Erdvinė NCEP/NCAR meteorologinių įvesties duomenų raiška apytiksliai yra 250 km, tuo tarpu GDAS – 111 km. 2004 m. atgalinės oro masių trajektorijos sumodeliuotos Klaipėdos ir Šiaulių aeropalinologinių stotelių atžvilgiu, o nuo 2005 m. – visų trijų stotelių. Oro dalelių judėjimas buvo apskaičiuotas atsižvelgiant į skirtingus aukščius, t. y. 500, 1000 ir 1500 m virš modelio paviršiaus lygio. Kai kuriais atvejais, siekiant išsiaiškinti netoli žemės paviršiaus vykstančią pernašą, buvo nustatytos ir 100 m virš modelio paviršiaus lygio atgalinės trajektorijos. Kiekvienas 24 val. laikotarpis buvo reprezentuojamas 12 atslenkančių oro masių, kas 2 val. pradedant vidurnakčiu. Trajektorių trukmė – 48–72 val.

SILAM, kaip ir HYSPLIT, gali būti naudojamas abiem skaičiavimo tipams (atgaliniam ir priekiniam). Šiame darbe pasinaudota atgalinėmis modeliavimo galimybėmis. SILAM modelyje yra du – Lagranžo ir Eulerio – skaičiavimo variantai. Lagranžo skaičiavimo branduolys yra paremtas atsitiktinių dalelių modeliavimu (Sofiev et al., 2006b), tuo tarpu Eulerio branduolys sudarytas remiantis M. Galperin advekcijos šablonu (1999, 2000), kuris, įvertinus pasipriešinimo analogą, buvo pratęstas M. Sofievo (2002). Sausas ir šlapias nusėdimas yra paremtas atmosferos pernašos dispersijos modeliu (DMAT) (Galperin et al., 1996; Galperin and Sofiev, 1998; Sofiev, 2000). Vertinant apskritai žiedadulkių sklaidos modeliavimo galimybes, šis modelis yra plačiai taikomas ir nustatant tolimosios pernašos suformuotų žiedadulkių kiekių galimus šaltinius, taip pat modeliuojant pačią žiedadulkių sklaidą (Sofiev et al., 2006a, 2008b; Siljamo et al., 2007, 2008b). Abi SILAM versijos (Lagranžo ir Eulerio) modeliavimo aspektais buvo suderintos. Kiekvienam atvejui žiedadulkių tolimoji pernaša buvo vertinta 72 val. laiko intervalu, naudojant 15 min. laiko žingsnį. Lagranžo dalelių modeliavimui buvo pasirinktas gerai besimaišantis atmosferos paribio sluoksnis ir laisvojoje troposferoje fiksuotas difuzijos intensyvumas. Sekant standartines Monte-Carlo procedūras, Lagranžo dalelių modeliavimas, turbulentiškumas reprezentuojamas išsibarsčiusių didelio skaičiaus dalelių (10 000) perkėlimu. Šios dalelės modelyje yra paleidžiamos kiekvienam atvejui atskirai. Eulerio

sistema buvo sukonfigūruota taip, kad apimtų 10 vertikalių tinklelių sluoksnius. Bendras viso sluoksnio aukštis siekė iki 4 km virš žemės paviršiaus, horizontalaus tinklelio ląstelė – 30 km.

Kadangi žiedadulkės savo aerodinaminėmis savybėmis iš dalies panašios į inertinius aerozolius (Sofiev et al., 2006a), buvo pasinaudota fiziniu-cheminiu aerozolio moduliu. Beržo žiedadulkių savybės prilygintos kietųjų dalelių savybėms. Vertikalus profilis buvo apibrėžtas santykiniu aukščiu, kuriame koncentracija nekinta, t. y. 18–100 m. Analizuojant žiedadulkių „pėdsakus“, vis dėlto daugiausia dėmesio buvo skirta žemiausiam sluoksniui (0–20 m). Naudojant SILAM buvo sumodeliuota žiedadulkių koncentracija, sausas, drėgnas nusėdimas ir tikimybiniai žiedadulkių „pėdsakai“, kurie nurodo potencialius žiedadulkių šaltinius.

SILAM modeliavimui svarbūs meteorologiniai duomenys, todėl buvo pasinaudota dviem meteorologinės informacijos šaltiniais: RCRHIRLAM prognozės (Regular Cycle Reference-High Resolution Limited Area Model, Undén et al., 2002) HIRLAM v.6.2.1 varianto modeliniais meteorologiniais duomenimis analizuotiems 2004 m. ir 2005 m. žiedadulkių tolimosios pernašos atvejams ir HIRLAM v.6.3.7 – 2006 m. Šio modelio skirtingų variantų horizontali rezoliucija siekia $0,2^\circ$, t. y. apie 20 km, ir turi apie 40 vertikalių hibridinių lygių. Antruoju atveju panaudotos Europos vidutinės trukmės orų prognozių centro (ECMWF, <http://www.ecmwf.int>) prognozės 2007 m. atvejams įvertinti. Horizontali rezoliucija – $0,25^\circ$, t. y. apie 25 km, ir turi apie 74 vertikalius hibridinius lygius. Taigi modeliavimui panaudoti trumpalaikių prognozių duomenys (3–6 val. (HIRLAM) ir 3–12 val. (ECMWF)), kurie 3 val. intervalu SILAM dispersijos modeliui suteikė meteorologinius laukus.

Tolimosios pernašos analizei atlikti panaudoti Vilniaus, Klaipėdos ir Šiaulių aerobiologinių stotelių paros žiedadulkių koncentracijos ir žiedadulkių sezono duomenys. Žiedadulkių pernašos vertinimui 2,5 % kriterijaus taikymas apriboja atnešamų žiedadulkių įvertinimo galimybes, kadangi atskirais atvejais didelės žiedadulkių koncentracijos yra tiesiog atmetamos. Ši situacija yra galima, kai žiedadulkių sezonas išsiskiria dideliais žiedadulkių kiekiais. Todėl

beržo genties žiedadulkių tolimosios pernašos analizei atlikti buvo panaudota „nenulinės“ žiedadulkių koncentracijos sąvoka. „Nenulinei“ žiedadulkių koncentracijos sąvokai nepriklauso pavieniai atvejai, t. y. 1–10 žiedadulkių/m³, kadangi tokios mažos koncentracijos, fiksuojamos žiedadulkių sezono pradžioje ar pabaigoje, alerginiu požiūriu nėra svarbios žmonėms (Laaidi, 2001a), kurie yra jautrūs beržo genties žiedadulkėms.

Tolimosios pernašos analizei atlikti pasinaudota ir 2 val. žiedadulkių duomenimis iš Latvijos (beržo) ir trijų Lietuvos aeropalinologinių stotelių. Interpretuojant beržo žiedadulkių tolimosios pernašos modeliavimo rezultatus pasinaudota EAN duomenų bazės informacija. Ši informacija reikalinga žiedadulkių sklaidai įvertinti ir atmesti arba priimti modelių suskaičiuotus potencialius žiedadulkių šaltinius, iš kurių galima tolimoji pernaša į Lietuvą.

2.4. Meteorologinių sąlygų poveikio žiedadulkių koncentracijai nustatymas

Meteorologinių veiksnių poveikiui žiedadulkių kiekiui nustatyti pasinaudota LHMT meteorologiniais duomenimis. Analizei pasirinkta vidutinė paros oro temperatūra, santykinis oro drėgnumas, kritulių kiekis ir vėjo greitis. Žiedadulkių koncentracijos ir meteorologinių parametrų duomenys buvo apdoroti statistiškai. Apdorojant gautus rezultatus statistiškai naudotasi programinės įrangos STATISTICA paketu. Pasinaudojus Kolmogorovo-Smirnovo testu, buvo nustatytas žiedadulkių sezonų duomenų atitikimas normaliajam skirstiniui. Kadangi žiedadulkių koncentracijų duomenys nebuvo artimi Gauso skirstiniui, meteorologinių parametrų ir žiedadulkių koncentracijų koreliacijos koeficientai apskaičiuoti remiantis Spirmeno ranginės koreliacijos metodu.

Meteorologinių sąlygų poveikiui žiedadulkių kiekiui atmosferoje įvertinti naudotasi daugialype regresine analize. Pirmiausiai, kad būtų galima pritaikyti šį metodą ir apskaičiuoti koreliacijos koeficientus žiedadulkių kiekiai buvo standartizuoti, kad atitiktų normalųjį skirstinį. Tuo tikslu, remiantis M. Recio ir kt. (1997) metodika, skaičiavimams panaudota $\log(p+1)$ išraiška, kur

p - žiedadulkių koncentracija. Taigi žiedadulkių koncentracijos duomenys buvo standartizuoti. Meteorologinių parametru įtaka žiedadulkių kiekiui įvertinta pasinaudojus sudarytomis daugialypės regresijos lygtimis. Naudojant daugialypę regresiją dažnai susiduriama su multikolinearumo problema, kuri atsiranda dėl to, kad prognozuojantis požymis koreliuoja tarpusavyje (Čekanavičius, Murauskas, 2002). Multikolinearumo problemos sprendimui kintamieji buvo eliminuojami atsižvelgiant į tai, kad pašalinus kintamąjį koreliacijos koeficiento reikšmės labai nesumažėtų. Daugialypės regresijos patikimumui nustatyti naudotasi Stjudento kriterijumi. Atrinkti ir analizuojami tik statistiškai patikimi atvejai, atsižvelgiant ne tik į daugialypės regresijos, bet ir į prognozuojančių požymių patikimumą ($p < 0,05$ ir $p < 0,01$).

Nagrinėjant meteorologinių parametru ir žiedadulkių sklaidą oro temperatūra, santykinė drėgmė, kritulių kiekis, vėjo greitis buvo suskirstyti į intervalus, atsižvelgiant į kiekvieno žiedadulkių morfotipo žiedadulkių koncentracijų kaitą nusakančias reikšmes. Siekiant išvengti žiedadulkių kiekio sumažėjimą dėl fenologinių aspektų, o ne dėl meteorologinių parametru pokyčių, buvo atrinktos dienos, kai žiedadulkių koncentracija viršijo vidutinę žiedadulkių koncentraciją žiedadulkių sezono metu. Remiantis šiais duomenimis, buvo atlikta žiedadulkių gausumo ir meteorologinių elementu analizė. Išskiriant skirtingu žiedadulkiu morfotipu panašumus, atsižvelgiant į konkrečių meteorologinių parametru intervalu procentinę išraišką, remtasi klasterine analize. Žiedadulkiu morfotipu dendrogramoms sudaryti naudotasi vertikaliu hierarchiniu vaizdavimu principu, kuris paremtas pilnosios jungties metodu išskirtais Euklido atstumais tarp tiriamuju žiedadulkiu morfotipu. Pasinaudojus šiuo metodu buvo nustatyti ryšiai tarp žiedadulkiu morfotipu, esant tam tikrom meteorologinėm sąlygom žiedadulkiu sezono metu.

2.5. Augalu žydėjimo dėsninumu ir terminio režimo įtakos tyrimai

Augalu žydėjimo dėsninumas nustatyti reikalingi fenologiniai daugiamečiai duomenys buvo surinkti iš LHMT archyvo. Kadangi žiedadulkiu

kiekiui ir sklaidai atmosferoje yra svarbios augalų žydėjimo tendencijos, todėl iš visų Lietuvoje stebimų augalų fenofazių analizei pasirinktas žydėjimo tarpsnis. Kitos fazės šiame darbe neanalizuojamos. Surinkti 39 metų laikotarpį (1961–1999 m.) apimantys žydėjimo pradžios duomenys iš 54 tuo laikotarpiu veikusių agrometeorologinių stočių ir postų. Po 1999 m. fenologiniai stebėjimai buvo nutraukti išardžius agrometeorologinių stočių ir postų tinklą. Suvokiant fenologinių duomenų svarbą, Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba 2003 m. atnaujino fenologinius stebėjimus, kurie dabar nuosekliai vykdomi 11 stočių. Surinktos istorinį laikotarpį (1961–1999 m.) iliustruojančios 33 augalų rūšių ir genčių pražydimo datos. Nepaisant pateikiamo plataus stebėtų augalų sąrašo, fenologiniai duomenys labai išsisklaidę, daugelis stebėtų augalų rūšių neturi visą laikotarpį apimančių duomenų sekų (< 10 metų) arba dėl neplataus stebėto tinklo negali reprezentuoti visos Lietuvos teritorijos. Kai kurios agrometeorologinės stotys buvo įtrauktos į sąrašą, tačiau duomenų apie stebėtus augalus neišliko. Atsižvelgiant į tai, kurios rūšys yra svarbios aeropalinologiniu požiūriu, stebėtų augalų sąrašas sumažėja iki 21 augalo rūšies. Iš stebėtų augalų svarbios būtų tokios rūšys kaip baltalksnis (*Alnus incana* (L.) Moench), baltoji tuopa (*Populus alba* L.), bekotis ąžuolas (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), blindė (*Salix caprea* L.), didžialapė liepa (*Tilia platyphyllos* Scop.), drebulė (*Populus tremula* L.), juodalksnis (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), juodoji tuopa (*Populus nigra* L.), karpotasis beržas (*Betula pendula* Roth), mažalapė liepa (*Tilia cordata* Mill.), paprastasis ąžuolas (*Quercus robur* L.), paprastasis kaštonas (*Aesculus hippocastanum* L.), paprastasis klevas (*Acer platanoides* L.), paprastasis lazdynas (*Corylus avellana* L.), paprastasis skirpstas (*Ulmus minor* Mill.), paprastasis uosis (*Fraxinus excelsior* L.), paprastoji eglė (*Picea abies* (L.) H. Karst.), paprastoji pušis (*Pinus sylvestris* L.), smailialapis gluosnis (*Salix acutifolia* Willd.), trapusis gluosnis (*Salix fragilis* L.). Šių augalų žiedadulkės yra įtrauktos į EAN duomenų bazę, t. y. žiedadulkių sklaida atmosferoje stebima Europos mastu.

Nagrinėjant klimato kaitos poveikį augalų pražydimui buvo pasirinktas 30 metų laikotarpis (1970–1999 m.). Atsižvelgiant į duomenų trūkumus ir stočių gausumą žydėjimo dėsninumu analizei atrinktos trys stebėtų augalų rūšys, kurių duomenų trūkis yra ne didesnis nei 7 metai, t. y. paprastasis lazdynas (anksčiausiai pražystantis), karpotasis beržas (vėliau) ir mažalapė liepa (vėliausiai). Be to, šie augalai pražysta skirtingu laiku, todėl yra tinkami klimato kaitos poveikio ankstyvųjų ir vėlyvųjų augalų rūšių vegetacijos analizei. Visos Lietuvos teritorijos duomenų pasiskirstymo atžvilgiu šie augalai buvo stebimi skirtingose Lietuvos vietovėse. Paprastojo lazdyno pražydimo duomenys buvo surinkti iš 14 stočių, karpotojo beržo – iš 15 stočių, mažalapės liepos – iš 13 stočių. Nuo 2003 m. atnaujinti LHMT stebėjimai yra tinkami tik kaip iliustracinė medžiaga. Atstačius Lietuvoje fenologinius stebėjimus, meteorologinių stočių darbuotojų iniciatyva stebimos augalų fenofazės. Rekonstravus LHMT fenologinį tinklą, duomenų tęstinumas neišlaikytas. 2003–2009 m. stebėjimo teritorijos nesutampa su stebėtomis vietovėmis 1970–1999 m., todėl, vertinant ateities klimato poveikį augalų žydėjimui, remtasi 30 metų laikotarpiu. Augalų žydėjimo duomenų sekose esantys trūkiai buvo rekonstruoti remiantis gretutinių stočių informacija, atsižvelgiant į terminį režimą. Kai kurių augalų rūšių žydėjimo duomenys buvo papildyti D. Romanovskajos (2003) straipsnyje publikuotais duomenimis, kurių vidutinės reikšmės apima 1961–2000 m. Dėl netolygaus erdvinio išsidėstymo, pavyzdžiui, trūksta pajūrio regiono fenologinių stebėjimų, dalis duomenų buvo interpoluoti panaudojant turimus stebėjimus ir atsižvelgiant į augalų pražydimui būtiną terminį režimą. Klaipėdoje paprastojo lazdyno pražydimo data rekonstruota, o iš D. Romanovskajos (2003) publikuotos informacijos pasinaudota Telšiuose nustatyta vidutine paprastojo lazdyno pražydimo data. Klaipėdos, Telšių, Vilniaus ir Kauno teritorijų karpotojo beržo pražydimo datos buvo rekonstruotos; mažalapės liepos – Klaipėdos ir Kauno pražydimo datos rekonstruotos; Vilniaus – paimta D. Romanovskajos (2003) publikuota vidutinė pražydimo data.

Fenologinių stebėjimų duomenų patikimumas priklauso nuo stebėtojo įgūdžių ir naudojamos metodikos. LHMT agrometeorologinių stebėjimų nuostatose (1998) nurodoma, kad, vykdant agrometeorologinius stebėjimus, duomenys yra surašomi į knygelę. Stebėjimų rezultatai užrašomi tuoj pat, atlikus stebėjimus. Lauko medžių ir krūmų fenologiniai stebėjimai atliekami parkuose, prie namų, kelių pamiškės, stebimų laukų – ten, kur būtų patogų juos stebėti. Kiekvienos rūšies augalų stebima ne mažiau kaip 3, kurie gali augti skirtingose vietose. LHMT stotyse, kur vykdomi fenologiniai stebėjimai, stebima augalų žydėjimo pradžia. Fenologiniai stebėjimai vykdomi kas antrą dieną. Medžių, kuriuos apdulkina vėjas, žydėjimo pradžia yra laikoma, kai supurčius šakelę, iš vyriškų žiedų pabyra dulkelės. Kadangi tokie stebėjimai yra vizualiniai (Bruns et al., 2003) ir priklauso nuo šiuos stebėjimus vykdančio specialisto, paklaidų išvengti neįmanoma.

Duomenų statistinei analizei atlikti pasinaudota STATISTICA paketu. Apskaičiuota augalų pražydimo ankstyviausia ir vėlyviausia datos, standartinis nuokrypis, vidutinė daugiametė reikšmė, mediana, moda, modos dažnis. Erdviniam vidutinių pražydimo datų (1970–1999 m.) pasiskirstymui Lietuvos teritorijoje iliustruoti naudotasi ArcView GIS 9.1 programiniu paketu.

Praeities sąlygų analizei panaudoti žydėjimo pradžios ir skirtingų meteorologijos stočių temperatūros duomenys suteikti LHMT. Nustatyti tiesiniai trendai pražydimo pokyčių dydžiui įvertinti. Trendų patikimumas nustatytas panaudojant Stjudento kriterijų (t). Apskaičiuotos mėnesio vidutinės oro temperatūros anomalijos. Skaičiavimui pasinaudota vidutine daugiametė oro temperatūra (t_v) (1961–1990 m. klimato norma), vidutiniu oro temperatūros kvadratinu nuokrypiu (σ) ir konkretaus mėnesio temperatūra (t). Buvo laikomasi tokio principo: mėnuo normalus, kai $t_v - \sigma < t < t_v + \sigma$, šiltas, kai $t_v + \sigma < t < t_v + 2\sigma$, šaltas, kai $t_v - \sigma > t > t_v - 2\sigma$, anomaliai šiltas, kai $t \geq t_v + 2\sigma$, anomaliai šaltas, kai $t \leq t_v - 2\sigma$ (Galvonaitė ir kt., 2007). Temperatūros įtakai pražydimo ankstyvėjimui įvertinti, išskirti 1970–1999 m. Biržuose šilti ir anomaliai šilti mėnesiai.

2.6. Klimato kaitos poveikio augalų pražydimui Lietuvoje tyrimas

Klimato kaitos poveikiui žydėjimo fazėms nustatyti pasinaudota LHMT meteorologiniais duomenimis. Ateities klimato pokyčių įtakos augalų vegetacijos pradžiai įvertinti pasirinkta temperatūros analizė. Šilumos vienetų interpretacijos dažnai naudojamos skaičiuojant augalų vystymosi greitį fenologijoje (Snyder et al., 1999). Nustatant oro temperatūros poveikį fitofenologinėms fazėms, taikomos skirtingos metodikos, kurios pritaikytos ir šiame darbe. Lietuvoje žemės ūkio kultūroms plačiai naudojama A. Bagdono ir R. Karalevičienės (1987) aprašyta temperatūrų sumos metodika. Išskiriamos dvejetainio tipo temperatūros – aktyvioji bei efektyvioji.

Aktyvioji temperatūra apskaičiuota remiantis šiomis lygtimis:

$$T_a = T_{vid}, \text{ jei } T_{vid} \geq T_s \quad [3]$$

$$T_a = 0, \text{ jei } T_{vid} < T_s, \quad [4]$$

čia: T_a – aktyvioji temperatūra (°C), T_{vid} – vidutinė paros oro temperatūra (°C) ir T_s – biologinis temperatūros minimumas arba slenkstinė temperatūra (°C).

Remiantis 3 ir 4 lygtimis, apskaičiuota laikotarpio aktyviųjų temperatūrų suma (T_{sum}), kuri iliustruojama kaip $T_{sum} = \sum_{i=1}^n T_{ai}$.

T_{ai} apibūdina aktyviają temperatūrą i -tuoju atveju.

Efektyvioji temperatūra (T_e) apskaičiuota remiantis šiomis lygtimis (Bagdonas, Karalevičienė, 1987; Heikinheimo, Lappalainen, 1997):

$$T_e = T_{vid} - T_s, \text{ jei } T_{vid} > T_s \quad [5]$$

$$T_e = 0, \text{ jei } T_{vid} \leq T_s \quad [6]$$

Apskaičiuota tiriamojo laikotarpio efektyviųjų temperatūrų suma.

Kitas skaičiavimas, nurodantis aktyviųjų temperatūrų sumą (GDD_1), buvo paremtas minimaliomis ir maksimaliomis paros oro temperatūrų reikšmėmis ($T_{i,\min}$, $T_{i,\max}$) (Črepinšek et al., 2006; McMaster, Wilhelm, 1997):

$$GDD_1 = \sum \left(\left(\frac{T_{i,\max} + T_{i,\min}}{2} \right) - T_s \right) \quad [7]$$

Jeigu apskaičiuota dalis $[(T_{i,\max} + T_{i,\min}) \times 0,5] < T_s$, tada $[(T_{i,\max} + T_{i,\min}) \times 0,5] = T_s$.

Taip pat naudojant 7 lygtį, galima sudaryti ketvirtą aktyviųjų temperatūrų skaičiavimo metodiką (GDD_2), kuri buvo panaudota darbe. Šiuo atveju tenkinamos kitos sąlygos (McMaster, Wilhelm, 1997): jei $T_{i,\max} < T_s$, tada $T_{i,\max} = T_s$ ir jei $T_{i,\min} < T_s$, tada $T_{i,\min} = T_s$.

Detalizuojant anksčiau aprašytus metodus, buvo pritaikytas ir pavienis trikampis skaičiavimo metodas, kuris sudarytas iš trijų atskirai skaičiuojamų lygčių (Snyder et al., 1999):

$${}^{\circ}D = 0, \text{ kai } T_s \geq T_{\max} \quad [8]$$

$${}^{\circ}D = \left(\frac{T_{\max} - T_s}{2} \right) \left(\frac{T_{\max} - T_s}{T_{\max} - T_{\min}} \right), \text{ kai } T_{\min} < T_s < T_{\max} \quad [9]$$

$${}^{\circ}D = \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) - T_s, \text{ kai } T_s \leq T_{\min} \quad [10]$$

Pasak V. Jato ir kt. (2004), remiantis tik maksimalia oro paros temperatūra, galima apskaičiuoti ir šilumos poreikį (HR):

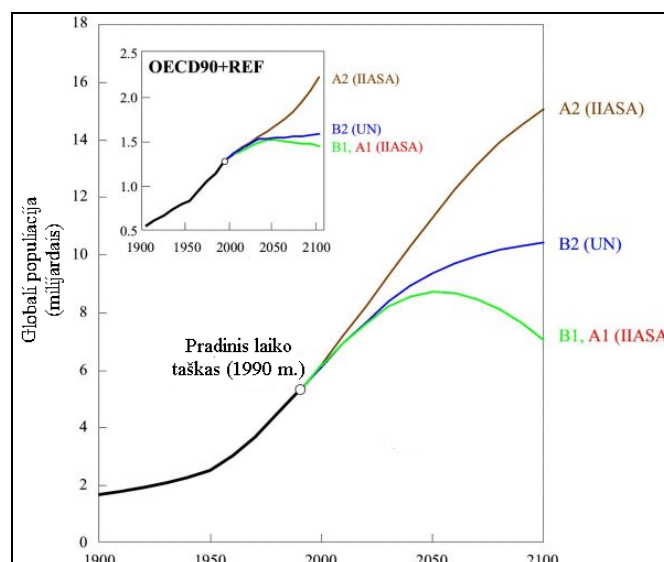
$$HR = \sum (T_{\max} - T_s), \text{ kai } T_{\max} \geq T_s \quad [11]$$

$$HR = 0, \text{ kai } T_{\max} \leq T_s \quad [12]$$

Ateities klimato poveikiui augalų pražydimui nusakyti atrinktas geriausiai terminį režimą, reikalingą augalų pražydimui, nusakantis metodas. Renkantis metodą pasinaudota meteorologinių stočių 1970–1999 m. oro temperatūros duomenimis ir, atsižvelgiant į augalo rūšį ir pražydimo datą, apskaičiuoti skirtingi terminiai indeksai pagal jau minėtas metodikas bei apskaičiuoti standartiniai šių indeksų nuokrypiai. Apskaičiuotos temperatūrų sumos: paprastojo lazdyno prie 0°C, karpotojo beržo prie 5°C ir mažalapės liepos prie 15°C. Tinkamiausias metodas apibrėžtas apskaičiuotu mažiausiu standartiniu nuokrypiu. Kadangi standartinis nuokrypis parodo duomenų sklaidą apie vidurkį, taigi, kuo standartinis nuokrypis mažesnis, tuo terminis indeksas mažiau kaitus ir yra tinkamesnis ateities klimato sąlygų poveikiui nusakyti.

Klimato kaitos poveikiui žydėjimo fazėms nustatyti panaudoti prognostiniai oro temperatūros išvesties duomenys, gauti iš ECHAM5 (Makso-Planko Meteorologijos instituto (MPI-M), Vokietija) ir HadCM3 (JK meteorologijos tarnybos Hadley centro) klimatinių modelių. HadCM3 modelio horizontalus pagrindas – $2,5 \times 3,75^\circ$ gardelės dydžio tinklelis virš sausumos ir $1,25 \times 1,25^\circ$ virš vandenyno, o ECHAM5 modelio horizontalus pagrindas – $1,865 \times 1,875^\circ$ gardelės dydžio tinklelis (Rimkus ir kt., 2007). HadCM3 modelyje vertikalia kryptimi išskiriama 19 sluoksnių atmosferoje ir 20 sluoksnių vandenyne, o ECHAM5 vertikalia kryptimi išskiriama 19 sluoksnių atmosferoje ir 23 sluoksniai vandenyne (Roeckner et al., 2003). Kaip nurodo E. Rimkus ir kt. (2007), remiantis linijinės ir daugialypės regresijos metodais, šių modelių išvesties duomenys buvo adaptuoti Lietuvos teritorijai.

Pagal ekonomikos vystymosi lygį ir šiltnamio dujų emisijos intensyvumą kitam šimtmečiui yra prognozuojami skirtingi klimato pokyčiai. Globaliniai atmosferos ir vandenyno cirkuliacijos modeliai meteorologinius parametrus ateičiai prognozuoja remdamiesi skirtingais šiltnamio dujų emisijų scenarijais, kurie sugrupuoti į pagrindines šeimas (Nakicenovic et al., 2000, 2.4 pav.).



2.4 pav. Numatoma žmonių populiacijos kaita: istoriniai duomenys nuo 1900 m. iki 1990 m. ir SRES scenarijų duomenys nuo 1990 m. iki 2100 m. (Nakicenovic et al., 2000)

Kiekvieną šeimą galima suskirstyti į smulkesnes grupes, pvz., A1, A2, B1, B2. A1 scenarijaus šeimoje demografiniai ir ekonominiai trendai glaudžiai susiję ir turi ryšį su ilgu gyvenimu bei mažomis šeimomis (žemas mirtingumas ir žemas vaisingumas), o iki 2050 m. populiacija išaugs iki 9 milijardų, iki 2100 m. sumažės iki 7 milijardų. 2.4 paveikslas iliustruoja žmonių populiacijos augimą pasaulyje ir Šiaurės Amerikoje, Vakarų Europoje, Centrinėje ir Rytinėje Europoje, naujose posovietinėse nepriklausomose valstybėse, Japonijoje ir Australijoje (OECD90+REF). A1 ir B1 emisijos scenarijuose pateikiama nedidelė žmonių populiacija, A2 – didelė. Tačiau visuose scenarijuose numatytas tam tikras populiacijos augimas.

Taigi A1B scenarijus numato labai greitą ekonomikos augimą, gyventojų skaičiaus didėjimą iki XXI a. vidurio, o vėliau mažėjimą, greitą modernių technologijų diegimą ir subalansuotą kuro naudojimą. A2 scenarijus numato vis dar labai heterogenišką pasaulį su nuolat didėjančiu gyventojų skaičiumi, tačiau ekonomikos augimas lėtas, o tarptautinis bendradarbiavimas numatomas mažesnis nei A1 ar B1 emisijos scenarijuose. B1 scenarijus numato staigią globalizaciją, gyventojų skaičiaus kaitą, panašią kaip A1B scenarijuje, mažiau vartotojišką visuomenę. Pastarasis scenarijus prognozuoja ypač greitą ekonominės sistemos vartimą informacine ir intensyvių naujų švarių technologijų diegimą (Nakicenovic et al., 2000; Rimkus ir kt., 2007).

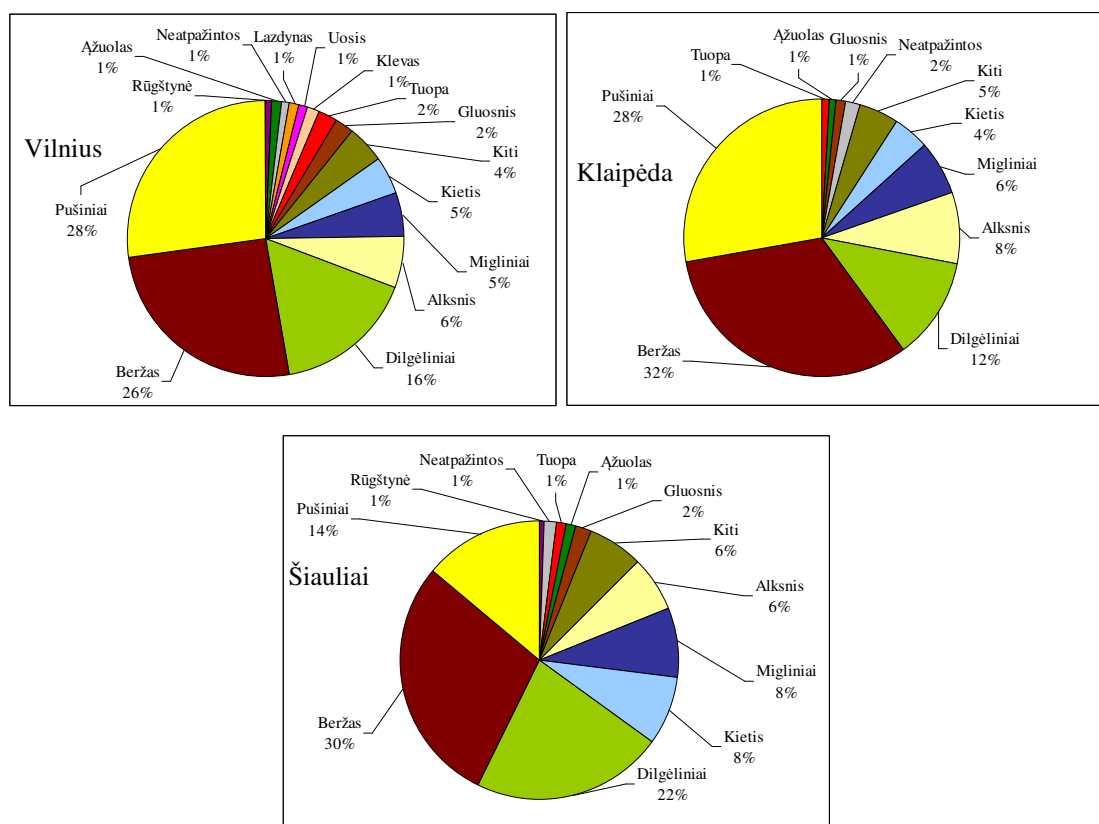
Nustatant paprastojo lazdyno, karpotojo beržo ir mažalapės liepos žydėjimo laikotarpį XXI a. buvo pasinaudota keliais šiltnamio dujų emisijų scenarijais (A1B, A2 ir B1). Siekiant geriau atskleisti klimato kaitos poveikį skirtingų augalų rūšių žydėjimo pradžiai Lietuvoje, XXI a. buvo suskirstytas į 30 metų laikotarpius (2001–2030 m., 2031–2060 m., 2061–2090 m.). Apskaičiuotas numatomų pražydimo datų skirtumas nuo vidutinės daugiametės augalų pražydimo datos. Skirtumas išreikštas dienomis. Naudojant ArcView GIS 9.1 programinį paketą buvo sudaryti paprastojo lazdyno, karpotojo beržo ir mažalapės liepos trijų skirtingų laikotarpių pražydimo datų skirtumo žemėlapiai (pagal HadCM3B1).

3. DARBO REZULTATAI

3.1. Žiedadulkių sklaidos atmosferoje analizė

Žiedadulkių sklaida atmosferoje sąlygojama meteorologinių veiksnių, atmosferos cirkuliacijos procesų, fenologinių dėsningumų. Kalbant apie žiedadulkių kaitą ore, visų pirma reikėtų išsiaiškinti bendrą aeropalinologinę situaciją Lietuvoje, t. y. kokių augalų žiedadulkės yra svarbios ir kokie jų kiekiai sudaro dalį Lietuvos bioaerolio. Taigi tuo tikslu buvo išanalizuota bendra aeropalinologinė situacija Lietuvoje, žiedadulkių kiekio kaita skirtingais mėnesiais. Apibūdinta aerobiologinėse stotelėse nustatytų žiedadulkių koncentracijų variacija.

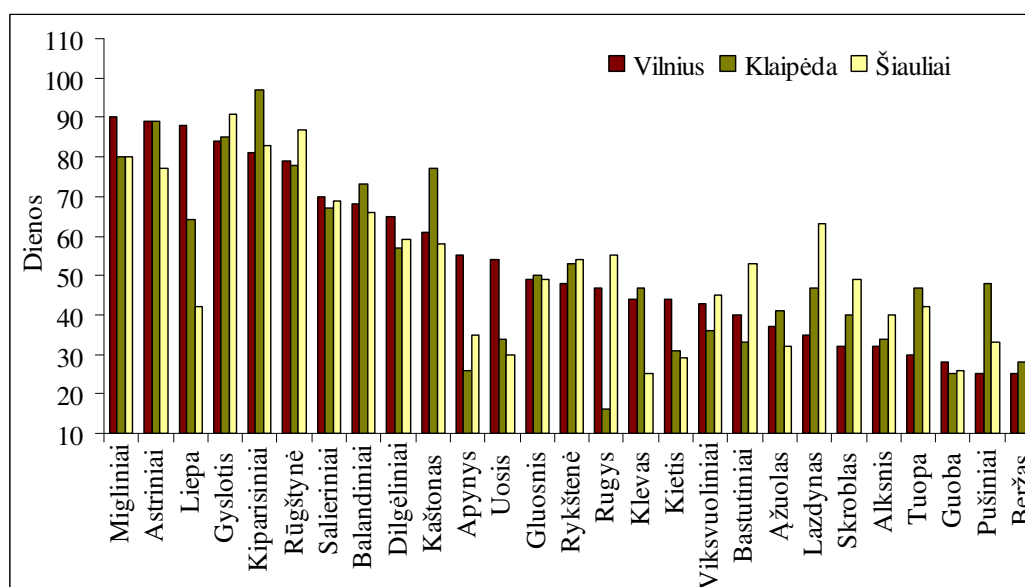
Siekiant nustatyti žiedadulkių sklaidą ore, atlikta 2004-2009 m. užfiksuotų žiedadulkių kiekybinė analizė. Pirmiausia, remiantis stotelėse fiksuotų žiedadulkių kiekiu, buvo išskirti dominuojantys žiedadulkių morfotipai Lietuvoje (3.1 pav.).



3.1 pav. Žiedadulkių morfotipų pasiskirstymas (%) aerobiologinėse stotelėse (2004-2009 m.)

Gauta procentinė išraiška, atsižvelgiant į žiedadulkių gausumą, reprezentuoja oru sklindančių žiedadulkių įvairovę Lietuvoje. Remiantis aeropalinologine informacija, nustatyta, kad ore identifikuojamos didelės beržo, pušinių, dilgėlinių, alksnio, miglinių, kiečio žiedadulkių koncentracijos. 3.1 paveiksle pateikti rezultatai rodo, kad skirtingi Lietuvos regionai pasižymi kitokia žiedadulkių įvairove ir žiedadulkių kiekiu. Atsižvelgiant į žiedadulkių gausumą ore, matyti, kad didžiausia žiedadulkių morfotipų įvairove pasižymi Vilniaus apylinkės (13 žiedadulkių morfotipų iš 37 stebimų). Klaipėdoje skirtingų žiedadulkių užfiksuojama mažiausiai – tik 9 žiedadulkių morfotipai. Nustatytos bendros tendencijos rodo, kokios žiedadulkės papildo Lietuvos atmosferos bioaerazolį augalų vegetacijos laikotarpiu.

Kita svarbi tyrimo dalis susijusi su žiedadulkių sezono trukme. Dalis augalų žiedadulkių alergizuoja žmogaus organizmą, todėl skirtingų augalų šeimų ir genčių žiedadulkių koncentracijų ore fiksavimo laikotarpis yra svarbus aspektas. Iš 3.2 paveiksle pateiktų rezultatų matyti, kad skirtingi žiedadulkių morfotipai skiriasi žiedadulkių sezono trukme. Žiedadulkių sezono trukmė Lietuvoje varijuoja nuo 28 iki 83 dienų.

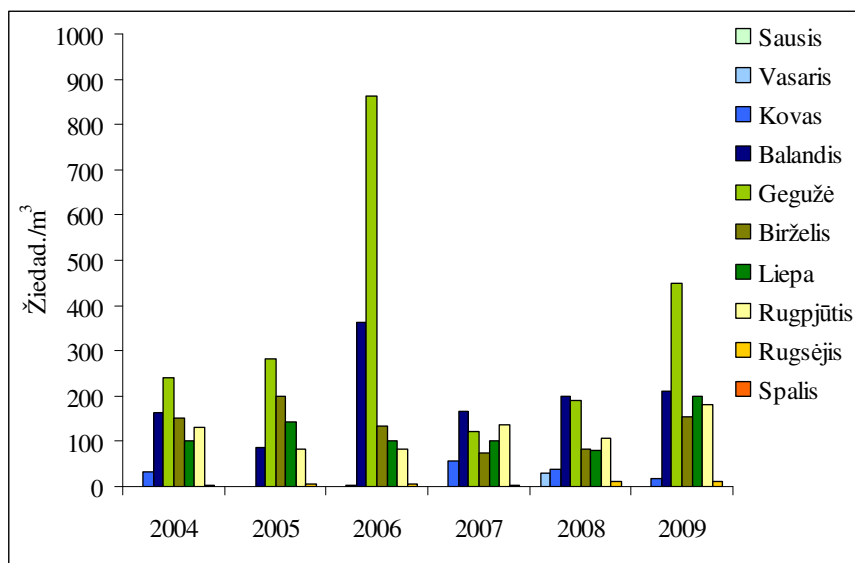


3.2 pav. Žiedadulkių sezono trukmė (dienomis) aerobiologinėse stotelėse 2004–2009 m.

Trumpiausias vidutinis žiedadulkių sezonas nustatytas Klaipėdoje rugio genties augalų žydėjimo laikotarpiu (16 d.), ilgiausias – kiparisinių (97 d.); Vilniuje trumpiausias – beržo (25 d.), ilgiausiais – miglinių (90 d.); tuo tarpu Šiauliuose trumpiausias – klevo (25 d.), ilgiausias – gysločio (91 d.). Tos pačios genties ar šeimos augalų žiedadulkių sezonas varijuoja priklausomai nuo vietovės. Pavyzdžiui, beržo genties augalų vidutinė žiedadulkių sezono trukmė (2004–2009 m.) kinta 25–31 d., o lazdyno – 35–63 d. intervale. Didžiausi skirtumai tarp aerobiologinių stotelių nustatyti liepos ir apynio genčių vidutinio žiedadulkių sezono trukmės atvejais (atitinkamai – 43 d. ir 29 d.). Daugiausia augalų genčių ir šeimų priskiriama prie tų, kurių žiedadulkių sezonai trunka nuo 30 iki 60 d. (48–56 % bendro skaičiaus). Ilgų sezonų, t. y. tų, kurie viršija 60 d., yra daugiau, lyginant su tais, kurių trukmė mažesnė nei 30 d. Trukmė priklauso nuo bendro žiedadulkių kiekio sezono metu, žiedadulkių gausumo ore, augalų genčiai ar šeimai būdingo stiebo pobūdžio.

Atsižvelgiant į stebimų žiedadulkių morfotipų gausą, bendrai aeropalinologinei situacijai nusakyti geriausiai panaudoti nedetalizuotas pagal augalų gentis ar šeimas vidutines žiedadulkių koncentracijas. Ne tik žiedadulkių sezono trukmė, bet ir žiedadulkių sklaidos laike tendencijos nustatymas svarbus žmonėms, sergantiems įvairiomis plaučių ligomis ar kenčiantiems nuo alerginių susirgimų, todėl išsamus sausio–spalio mėnesių žiedadulkių kiekio (3.3 pav.) atmosferoje įvertinimas yra itin aktualus.

Gauti rezultatai rodo, kad daugiausia žiedadulkių ore Lietuvoje būna nuo balandžio iki rugpjūčio mėnesio. Kiekvieną mėnesį aerobiologinėse stotelėse fiksuojamas skirtingas žiedadulkių kiekis. 2004–2009 m. balandį vidutinė žiedadulkių koncentracija Vilniuje siekė 292 žiedad./m³, Klaipėdoje – 152 žiedad./m³, o Šiauliuose – 173 žiedad./m³. Nustatomos vidutinės žiedadulkių koncentracijos skiriasi ir tarp metų. Iš 6 metų laikotarpio, remiantis visų aerobiologinių stotelių duomenimis, 2006 m. išsiskyrė didžiausiais užfiksuotais žiedadulkių kiekiais (3.3 pav.). Nustatytos žiedadulkių koncentracijos beveik 2 kartus viršijo vidutines metines balandžio mėnesio koncentracijas.



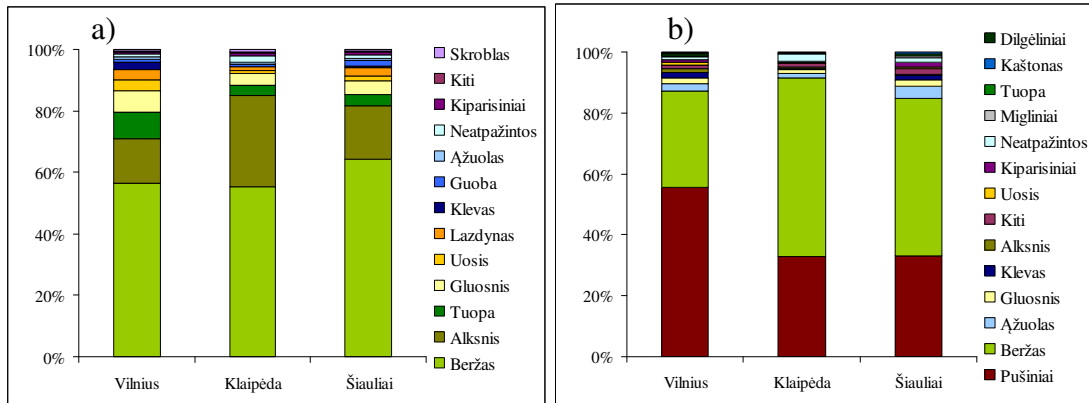
3.3 pav. Sausio–spalio mėnesių vidutinės žiedadulkių koncentracijos Lietuvoje (2004-2009 m.)

Labiausiai išsiskyrė gegužės mėnuo (3.3 pav.), kai 2006 m. gegužės mėnesį buvo užfiksuotos didžiausios žiedadulkių koncentracijos: 2–3 kartus viršijo vidutinę metinę gegužės mėnesio žiedadulkių koncentraciją aerobiologinėse stotelėse. Nustatytos tendencijos sietinos su beržo genties augalų žydėjimo dėsninumu. Pastarieji lėmė didelius Lietuvoje fiksuotus žiedadulkių kiekius. 2006 m. išsiskiria beržo žiedadulkių kiekiais ne tik Lietuvoje, bet ir kitose šalyse (Dąbrowska, 2008, Skjøth et al., 2009b). Tačiau daugiamečiais (1969–2007 m.) šveicarų stebėjimų duomenimis, 2006 m. šioje šalyje nėra išskirtiniai (žiedadulkių suskaičiuota apie 6 000 (žiedadulkių indeksas)). Kasmetiniai beržo genties žiedadulkių kiekio duomenys atskleidė, kad 1996 m. metinis žiedadulkių kiekis siekė daugiau nei 140 000 (Frei, Gassner, 2008a).

Bendrai Lietuvoje 2005–2009 m. balandžio mėnesį žiedadulkių kiekiai atmosferoje suformuoti beržo, alksnio, tuopos, gluosnio, uosio ir lazdyno augalų (3.4 pav.).

Nepaisant bendrų dėsninųjų Lietuvos teritorijai, egzistuoja ir regioniniai skirtumai. Pavyzdžiui, Vilniuje ir Šiauliuose nustatytas žiedadulkių koncentracijas balandžio mėnesį be jau minėtų lėmė ir guobos bei kiparisinių

augalų žydėjimo dėsninčiai, o Vilniuje, skirtingai nuo kitų aerobiologinių stotelių, žiedadulkių kiekio dydžiui turėjo poveikio ir ąžuolo, klevo bei skroblo genčių augalai. Nustatytos tendencijos atskleidžia, kad aerobiologinėse stotelėse skiriasi fiksuojamos žiedadulkių koncentracijos.



3.4 pav. Bendras žiedadulkių kiekio pasiskirstymas procentais aerobiologinėse stotelėse balandžio–gegužės mėnesiais pagal žiedadulkių morfotipus, atsižvelgiant į žiedadulkių kiekius ore (2005–2009 m.): a) balandis, b) gegužė

Gegužę Lietuvos atmosferoje sklaido daugiausia žiedadulkių. Remiantis aerobiologinių stotelių duomenimis, galima apibrėžti, kad didelius žiedadulkių kiekius lemia beržo, pušinių, ąžuolo, gluosnio ir kai kuriais atvejais – klevo, alksnio – augalų genčių ir šeimų dulkejimo periodai (3.4 pav.). Skirtumai tarp stotelių išlieka: Vilniuje daugiausia užfiksuota pušinių šeimos žiedadulkių, o Klaipėda ir Šiauliai išsiskiria dideliais beržo genties augalų žiedadulkių kiekiais. Įtakos turi ne tik geografinis augalų išsidėstymas, bet ir dulkejimo intensyvumas. M. Navasaičio ir kt. (2003) teigimu, liekninis beržas (*Betula humilis* Schrank) ir beržas keružis (*B. nana* L.) (nykstanti rūšis) labiau paplitęs Rytinėje Lietuvos dalyje, o plaukuotasis (*B. pubescens* Ehrh.) ir karpotasis beržas (*B. pendula* Roth) – visoje Lietuvoje. Remiantis A. Kuliešiu ir G. Kulboku (2009), beržynai yra koncentruoti Panevėžio, Šiaulių ir Utenos apskrityse. Tuo tarpu daugiau dviejų trečdalių Lietuvos pušynų yra sutelkta Vilniaus, Alytaus ir Utenos apskrityse. Taigi natūralu, kad pušies žiedadulkių

daugiau užfiksuojama Vilniaus aerobiologinėje stotelėje, o beržo – Šiaulių. Tačiau ir Klaipėda pasižymi dideliais beržo genties žiedadulkių kiekiais.

Vertinant pagal beržynų užimamą plotą, išsiskiria Vilniaus ir Panevėžio rajonai (Navasaitis ir kt., 2003). Taigi kai kuriais metais didelį žiedadulkių kiekį ore suformuoja beržynai, o beržo žiedadulkių sezonai balandžio pabaigoje ir gegužę skirtingose aerobiologinėse stotyse pasižymi skirtingais žiedadulkių kiekiais. Pavyzdžiui, bendrai didžiausi kiekiai 2004–2005 m. užfiksuoti Šiauliuose, 2006 m. – Klaipėdoje, o 2007–2009 m. – Vilniuje.

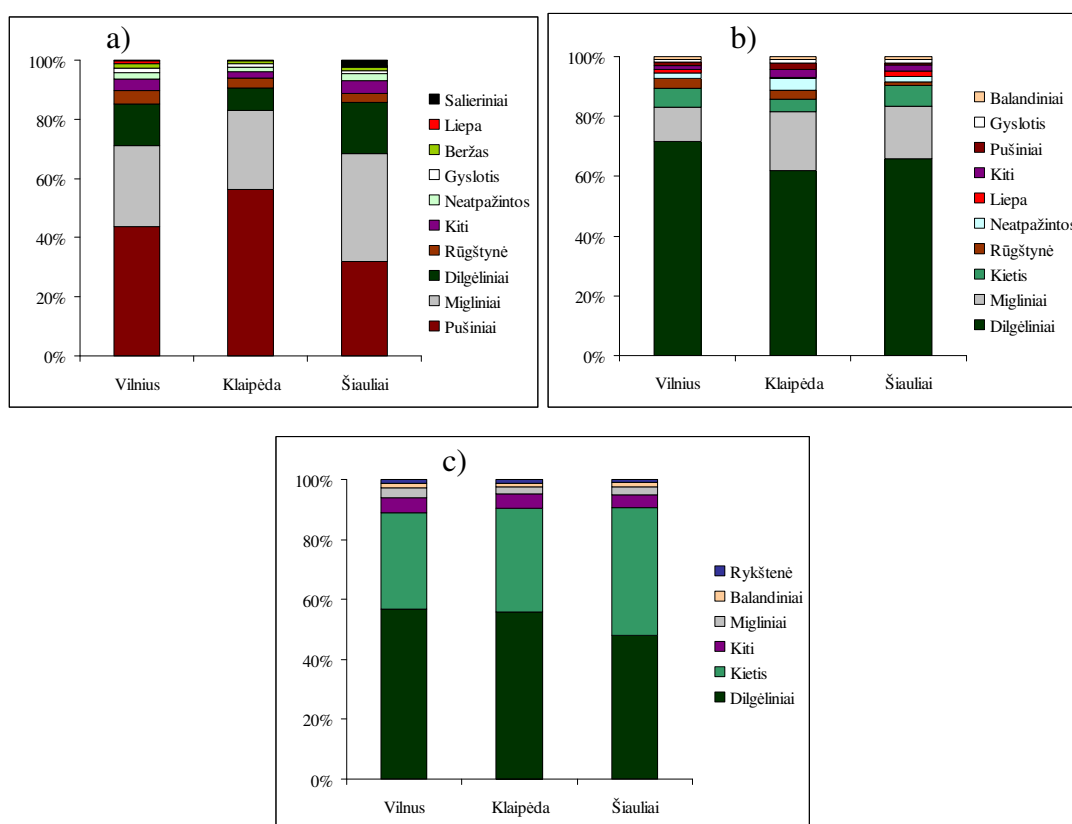
Žiedadulkių koncentracijos analizės rezultatai rodo (3.5 pav., a), kad birželį visose aerobiologinėse stotelėse užfiksuoti pakankamai skirtingi žiedadulkių kiekiai. Klaipėdoje birželio mėnesio žiedadulkių kiekius sąlygojo fiksuotos didelės pušinių augalų žiedadulkių koncentracijos. Tuo tarpu Vilnius labiausiai išsiskyrė liepos genties augalų (entomofilinis augalas) žiedadulkių kiekiu, o Šiauliai – salierinių. Lyginant su pušinių augalų žiedadulkių kiekiais, pastarieji suformuoja tik nedideles žiedadulkių koncentracijas. Bendrai Lietuvoje birželį fiksuojama nemažai miglinių ir dilgėlinių žiedadulkių.

Liepos–rugpjūčio mėnesiais žiedadulkių kiekiai atmosferoje sąlygoti vėlai žydinčių augalų dulkėjimo. Liepą (3.5 pav., b) daugiausia atmosferoje sklendo žolinių augalų žiedadulkės. Visose aerobiologinėse stotelėse nustatyti dideli dilgėlinių, miglinių ir kiečio žiedadulkių kiekiai. Palyginus aerobiologinių stotelių duomenis, pastebima, kad Vilnius išsiskiria didesniais rūgštyinės žiedadulkių kiekiais, o Šiauliai – liepos šeimos augalų žiedadulkėmis.

Rugpjūtį Lietuvoje žiedadulkių morfotipų įvairovė nedidelė (3.5 pav., c). Šį mėnesį taip pat daugiausia fiksuojama žolinių augalų žiedadulkių. 2005-2009 m. visose aerobiologinėse stotelėse buvo nustatyti dideli dilgėlinių ir kiečio žiedadulkių kiekiai. Aerobiologinių stotelių duomenys rugpjūtį skiriasi nežymiai.

Ši analizė yra vertinga Lietuvos teritorijai, kadangi augalų vegetacija priklauso nuo klimatinų sąlygų. Natūralu, kad kitose šalyse žiedadulkių koncentracijos ir žiedadulkių sezonai skiriasi. Pavyzdžiui, Lietuvoje daugiausia dilgėlinių šeimos žiedadulkių fiksuojama birželio–rugpjūčio mėnesiais, tuo

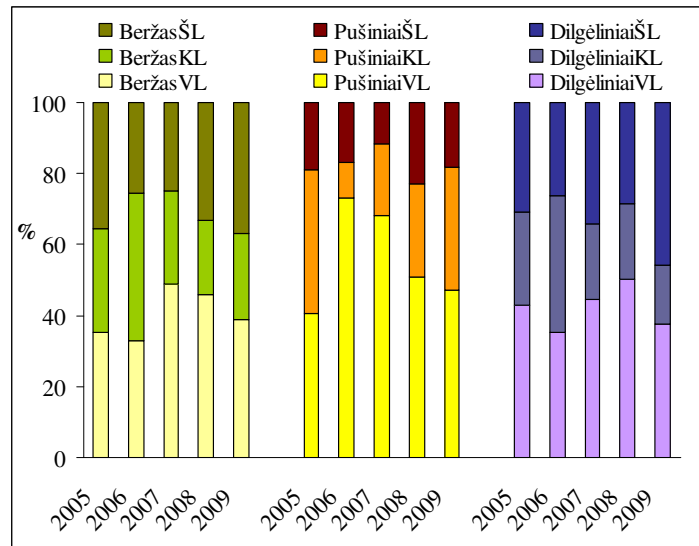
tarpu Poznanėje (Lenkija) dilgėlinių žiedadulkių sezonas prasideda gegužės mėnesį (Alcázar et al., 2009). Balandinių šeimos žiedadulkių Lietuvoje gausiai užfiksuojama liepos–rugpjūčio mėnesiais – taip pat kaip ir Lenkijoje (Alcázar et al., 2009). Ispanijoje balandinių žiedadulkės pasirodo jau balandžio–gegužės mėnesiais. Atsižvelgiant į tai, kad žiedadulkių sklaidimas atmosferoje neapsiriboja vienos valstybės sienomis, šie pateikti pavyzdžiai iliustruoja, kad žiedadulkių sklaidos modeliavimui reikalinga išsami ir kitų šalių aeropalinologinė informacija.



3.5 pav. Bendras žiedadulkių kiekio pasiskirstymas procentais aerobiologinėse stotelėse birželio–rugpjūčio mėnesiais pagal žiedadulkių morfotipus, atsižvelgiant į žiedadulkių kiekius ore (2005–2009 m.): a) birželis, b) liepa, c) rugpjūtis

Įvertinus fiksuojamų žiedadulkių gausumą (metinį ir mėnesinį) konkrečiose aerobiologinėse stotelėse, svarbu išskirti ir regioninius skirtumus. Taigi atlikta žiedadulkių koncentracijų analizė rodo (3.6 pav.), kad,

atsižvelgiant į aerobiologinių stotelių duomenis, išsiskiria ne tik tarpmetiniai žiedadulkių koncentracijų, bet ir tarp pačių stotelių skirtumai.



3.6 pav. Aerobiologinėse stotelėse 2005–2009 m. užfiksuotų beržo, pušinių ir dilgėlinių žiedadulkių kiekio pasiskirstymas (%) (indeksai: VL-Vilnius, KL-Klaipėda, ŠL-Šiauliai)

Šiai situacijai atskleisti parinkta aerobiologinėse stotelėse gausiai fiksuojamų augalų genčių ir šeimų žiedadulkių kiekio tarpmetinė analizė. Iš 3.6 paveiksle patektų duomenų matyti, kad daugiausia beržo genties žiedadulkių, lyginant su kitomis stotelėmis, užfiksuota Klaipėdoje. 2006 m. Vilniaus aerobiologinės stotelės duomenimis, didelės beržo žiedadulkių koncentracijos fiksuojamos kasmet. Tokios nustatytos tendencijos atskleidžia regioninius beržo genties augalų žiedadulkių sklaidos skirtumus. Lyginant su bendra aeropalinologine situacija (3.1 pav.), kur stočių skirtumai matyti tarp žiedadulkių morfotipų, nustatytos tendencijos tarp tos pačios augalų genties ir šeimos yra kitokios. Didelėmis pušinių šeimos žiedadulkių koncentracijomis išsiskiria Vilniaus stotelė, tuo tarpu dilgėlinių šeimos žiedadulkių skirtumai mažesni (3.6 pav.).

Tyrimais nustatyta, kad meteorologinės sąlygos, esančios dulokėjimo metu ir formuojantis žiedadulkėms, ar fiziologinės augalų savybės (Jato et al., 2000; Gioulekas et al., 2004; García-Mozo et al., 2006; Ranta et al., 2008;

Alcázar e al., 2009) turi poveikį žiedadulkių sklaidai atmosferoje. Žiedadulkių kiekio ore skirtingose Lietuvos vietovėse netolygumą galėjo lemti meteorologinės sąlygos, esančios dulkėjimo metu. Ieškant priežastinių ryšių buvo atlikta žiedadulkių sezono metu buvusių meteorologinių sąlygų analizė.

Meteorologinės sąlygos, buvusios žiedadulkių sezono metu, pateiktos 3.1 lentelėje. Gauti rezultatai atskleidžia, kad 2006 m. išsiskyrė ne tik beržo žiedadulkių koncentracijomis, bet ir meteorologinėmis sąlygomis, kurios ir sąlygojo didelį beržo žiedadulkių kiekį ore. Palyginus 2005–2009 m. buvusias meteorologines sąlygas žiedadulkių sezono metu, nustatyta, kad 2006 m. buvo aukščiausia vidutinė oro temperatūra. Šie metai pasižymėjo nedideliu kritulių kiekiu ir vidutiniu santykiniu oro drėgnumu. Iš pateiktų duomenų matyti, kad žiedadulkių kiekis atmosferoje yra sąlygotas ir augalų fiziologinių procesų, kadangi, esant panašioms meteorologinėms sąlygoms (pvz., 2009 m. beržo Šiauliuose), žiedadulkių indeksas per sezoną išlieka nedidelis. Iš 3.1 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad didžiausi žiedadulkių kiekiai priskirtini trumpiausiems žiedadulkių sezonams. Vadinasi, augalams subrandinant didelį žiedadulkių kiekį ir esant palankioms meteorologinėms sąlygoms, per trumpą laikotarpį į atmosferą paleidžiami dideli žiedadulkių kiekiai. Tačiau nustatyti koreliaciniai ryšiai tarp žiedadulkių indekso ir meteorologinių parametrų bei žiedadulkių indekso ir sezono trukmės šios tendencijos nepatvirtina (3.2 lent.). Mažas stebėjimų laikotarpis ir vidutiniai duomenys riboja gautų rezultatų interpretaciją.

3.1 lentelė. Žiedadulkių indeksas, žiedadulkių sezono trukmė (dienomis) ir vidutinės meteorologinių parametrų vertės žiedadulkių sezono metu: vidutinė oro temperatūra (C), santykinis oro drėgnumas (%), suminis kritulių kiekis (mm) ir vėjo greitis (m/s)

Metai	Žiedadulkių morfotipas	Oro temperatūra	Santykinis drėgnumas	Kritulių kiekis	Vėjo greitis	Žiedadulkių indeksas	Žiedadulkių sezono trukmė
Vilnius							
2005	Beržas	9,2	71,2	118,5	2,9	3194	25
2006		13,3	42,5	2,3	3,4	27441	18
2007		8,5	63,3	48,8	3,4	6005	30
2008		10,3	66,9	51,9	2,3	8091	27
2009		11,4	53,3	19,6	2,9	3067	25

3.1 lentelės tęsinys

Metai	Žiedadulkių morfotipas	Oro temperatūra	Santykinis drėgnumas	Kritulių kiekis	Vėjo greitis	Žiedadulkių indeksas	Žiedadulkių sezono trukmė
Klaipėda							
2005	Beržas	9,1	80,5	23,7	3,6	2607	22
2006		13,4	57,2	1,2	4,0	34067	15
2007		10,7	73,6	51,9	3,6	3221	43
2008		9,6	73,6	11,5	2,9	3802	37
2009		10,7	77,7	18,0	3,7	1926	27
Šiauliai							
2005	Beržas	10,1	68,1	30,4	2,5	3253	22
2006		13,1	56,4	3,1	2,7	20792	17
2007		11,8	68,5	74,5	2,6	3075	47
2008		10,2	67,1	34,8	2,0	5916	37
2009		12,3	59,7	16,9	2,5	2977	30
Vilnius							
2005	Pušiniai	14,9	70,8	45,2	2,9	10971	16
2006		13,7	67,9	59,5	3,0	10104	42
2007		18,1	66,7	33,7	2,3	5527	23
2008		14,2	65,5	62,3	2,4	7388	28
2009		14,6	68,0	26,6	3,2	16599	14
Klaipėda							
2005	Pušiniai	13,8	78,7	37,6	3,6	10906	24
2006		16,7	77,0	144,8	3,1	1520	111
2007		17,0	73,2	54,5	3,0	1612	37
2008		15,7	72,0	110,8	3,5	3831	80
2009		13,3	81,6	27,5	3,9	12039	18
Šiauliai							
2005	Pušiniai	14,7	67,8	32,0	2,3	5089	32
2006		14,5	72,2	72,4	2,3	2332	50
2007		17,7	68,0	29,5	1,9	1071	25
2008		13,3	61,7	12,5	2,0	3359	31
2009		13,0	67,4	32,7	2,6	6455	28
Vilnius							
2005	Dilgėliniai	18,1	70,7	269,4	2,5	4841	57
2006		19,8	66,1	143,7	2,5	3392	63
2007		17,9	74,9	221,0	2,8	5896	56
2008		17,2	71,5	140,9	2,8	5618	73
2009		17,1	74,7	225,2	2,4	10360	77
Klaipėda							
2005	Dilgėliniai	18,6	79,2	277,1	4,0	3102	56
2006		19,3	75,3	54,0	2,7	3735	64
2007		18,4	82,8	182,8	3,7	2819	53
2008		18,0	79,4	209,1	4,0	2408	62
2009		19,1	77,2	92,0	3,6	4619	49
Šiauliai							
2005	Dilgėliniai	17,8	74,7	96,0	1,9	3522	59
2006		19,5	74,4	216,6	1,9	2550	69
2007		18,6	75,4	111,6	2,2	4521	45
2008		17,4	73,7	213,6	2,1	3174	72
2009		18,0	74,2	90,2	1,9	12756	54

3.2 lentelė. Spirmeno koreliacijos koeficientas (r_s) tarp meteorologinių parametų žiedadulkių sezono metu ir žiedadulkių indekso bei sezono trukmės

Žiedadulkių morfotipas	ŽI ir ŽST	Oro temperatūra	Santykinis drėgnumas	Kritulių kiekis	Vėjo greitis	ŽST
Beržas	ŽI	0,29	-0,58*	-0,31	-0,07	-0,36
	ŽST	-0,30	0,43	0,57*	-0,29	-
Pušiniai	ŽI	-0,48	0,03	-0,30	0,52*	-0,68**
	ŽST	0,09	0,08	0,67**	-0,08	-
Dilgėliniai	ŽI	-0,42	-0,37	-0,17	-0,25	-0,04
	ŽST	-0,35	-0,50	0,23	-0,22	-

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$. ŽI – žiedadulkių indeksas, ŽST – žiedadulkių sezono trukmė.

Pušinių šeimos augalų žiedadulkių didžiausi indeksai nustatyti žiedadulkių sezono metu vidutinei oro temperatūrai pakilus 13-14,6 °C. Vilniuje ir Klaipėdoje didžiausi pušinių šeimos žiedadulkių kiekiai nustatyti, kai žiedadulkių sezonu iškrito mažiausiai kritulių. Tuo tarpu Šiauliuose, lyginant su Vilniumi, užfiksuojama 2–5 kartais mažiau žiedadulkių, mažesnis kritulių kiekis nenulėmė didesnio žiedadulkių kiekio. Statistinės analizės rezultatai rodo (3.2 lent.), kad nustatytas patikimas teigiamas koreliacijos koeficientas tarp žiedadulkių indekso ir vėjo greičio, o tai parodo, kad stipresnis vėjo greitis lemia didesnę pušinių žiedadulkių kiekį. Šio ryšio interpretaciją palengvina tai, kad šios šeimos augalai pasižymi didelėmis žiedadulkėmis (2.1 lent.) ir yra prisitaikiusios būti pernešamos dideliais atstumais.

Dilgėlinių šeimos augalų žiedadulkių sezonai pasižymi mažiau kaičiais žiedadulkių indeksais aerobiologinėse stotelėse (3.1 lent.). Atlikta analizė rodo, kad 2009 m. buvo užfiksuoti didžiausi 2005–2009 m. žiedadulkių kiekiai, tačiau meteorologinės sąlygos žiedadulkių sezono metu, lyginant su kitais metais, neišsiskyrė. Bendrai dilgėlinių šeimos augalų žiedadulkių sezono metu, lyginant su anksčiau analizuotais žiedadulkių morfotipais, iškrito didelis kritulių kiekis. Dilgėlės genties augalų žiedadulkės išsiskiria savo mažu dydžiu (13 x 15 μm), todėl žiedadulkių kiekis priklauso nuo lietaus intensyvumo.

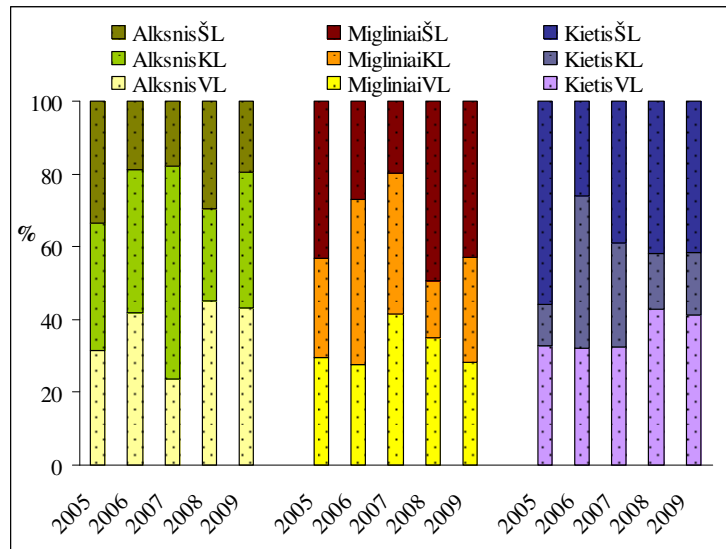
Atlikta statistinė analizė rodo (3.2 lent.), kad tarp dilgėlinių žiedadulkių koncentracijos ir meteorologinių sąlygų apskaičiuoti koreliacijos koeficientai yra nepatikimi ir neparodo egzistuojančio ryšio tarp kintamųjų.

Žiedadulkių kiekį atmosferoje lemia daugelis veiksnių: augalų vegetacijos laikotarpis, augalų paplitimas, apdulkinimo būdas, meteorologinės sąlygos dulkėjimo ir žiedadulkių formavimo metu, biologinės augalų savybės. Analizuojant žiedadulkių sklaidą Lietuvoje, didžiausiais žiedadulkių kiekiais išsiskiriantys žiedadulkių morfotipai yra augalų, kurie apdulkinami vėjo, todėl žiedadulkės yra prisitaikiusios įveikti didelius atstumus. M. Kabailienė (1979) teigė, kad pušies ir beržo žiedadulkės yra toliausiai nunešamos. Palyginus šių augalų žiedadulkių produktyvumą, matyti, kad pušis subrandina daugiau žiedadulkių, tuo tarpu beržo augalai – mažiau. Pavyzdžiui, paprastasis skroblas, alksnis produkuoja didesnę žiedadulkių kiekį nei karpotasis beržas. Tačiau atsižvelgiant į šių augalų paplitimą Lietuvoje, užfiksuojami dideli beržų genties augalų žiedadulkių kiekiai. Iš dilgėlinių šeimos Lietuvoje yra svarbūs dilgėlės genties augalai, kurie plačiai paplitę. Alerginiu požiūriu kitose Europos šalyse pavojingos sienžolės genties augalų žiedadulkės (Galán et al., 2000; Crimi et al., 2004; D'Amato et al., 2007a, b), tačiau mūsų šalyje šių augalų neaptikta (Galinis, 1984; Gudžinskas, 1999; Vilkonis, 2001).

Be beržo, pušinių ir dilgėlinių žiedadulkių kiekių atmosferoje išsiskiria ir alksnio, miglinių bei kiečio augalų žiedadulkių gausa. Priklausomai nuo aerobiologinės stotelės, šių augalų žiedadulkių kiekis, lyginant su kitais žiedadulkių morfotipais, sudaro 4–8 % bendro Lietuvoje vegetacijos metu suformuojamo žiedadulkių kiekio ore (3.1 pav.), todėl gali būti traktuojama kaip antroji pagal gausumą žiedadulkių grupė.

Didelių tarpmetinių skirtumų tarp šių augalų žiedadulkių koncentracijos įvairiose aerobiologinėse stotelėse nenustatyta (3.7 pav.). Alksnio genties žiedadulkių kiekiai Lietuvoje žiedadulkių sezono metu yra panašūs. Nepriklausomai nuo to, kad alksnio paplitimas Lietuvoje nėra tolygus, didžiausia juodalksnynų dalis (54,1 % Lietuvos juodalksnynų) yra Marijampolės, Kazlų Rūdos ir Šakių urėdijose, o baltalksnynų – Utenos ir

Biržų urėdijose (19,2 % medynų ploto) (Navasaitis ir kt., 2003). Remiantis aerobiologinių stotelių duomenimis, didelių regioninių skirtumų (išskyrus 2007 m.) tarp žiedadulkių kiekio nėra.



3.7 pav. Aerobiologinėse stotelėse 2005–2009 m. užfiksuotų alksnio, miglinių ir kiečio žiedadulkių kiekio pasiskirstymas (%) (indeksai: VL-Vilnius, KL-Klaipėda, ŠL- Šiauliai)

Žolinių augalų žiedadulkių koncentracijų pasiskirstymas rodo (3.7 pav.), kad Lietuvoje plačiai paplitusių augalų žiedadulkių kiekiai varijuoja. Miglinių žiedadulkių koncentracijos duomenys atskleidė, kad 2008 m. Klaipėdoje, lyginant su kitų stotelių duomenimis, užfiksuoti mažesni šios šeimos augalų žiedadulkių kiekiai (15,4 % bendro kiekio). Kiečio genties žiedadulkių kiekiai, šios aerobiologinės stotelės duomenimis, taip pat yra mažesni. Žinant, kad kiečio genties augalai yra svarbūs alergijos protrūkiams Lietuvoje (Dubakienė, 2002) ir yra traktuojami kaip piktžolės, pavyzdžiui, dirvoninis kietis (*Artemisia campestris* L.), esantis dažna laukų piktžolė (Galinis, 1984), galima teigti, kad žaliųjų erdvių tvarkymosi aspektais labiausiai išsiskiria Klaipėdos regionas.

3.3 lentelės duomenys atskleidžia meteorologines sąlygas, kurios lėmė alksnio, miglinių ir kiečio žiedadulkių sklaidos dėsninumus Lietuvoje. Natūralu, kad anksti žydinčių alksnio genties augalų žiedadulkės fiksuojamos vidutinei oro temperatūrai nesiekiant 10 °C. Tačiau šių augalų žiedadulkės

užfiksuotos ir esant žemoms oro temperatūroms. Pavyzdžiui, 2008 m. vidutinė oro temperatūra sezono metu siekė 1,6–3,2 °C, tuo tarpu Vilniaus ir Šiaulių aerobiologinėse stotelėse, lyginant su kitais metais, žiedadulkių kiekis skiriasi nežymiai (3.7 pav., 3.3 lent.). Išsiskiria ir 2007 m., kada, remiantis Šiaulių aerobiologinės stotelės duomenimis, užfiksuotos žiedadulkių koncentracijos ir vidutinė oro temperatūra rodo šių metų išskirtinumą. Tačiau tokią situaciją nusakyti (mažiausias 5 metų žiedadulkių indeksas) žemos oro temperatūros poveikiu būtų klaidinga, kadangi dėl nedidelio žiedadulkių kiekio tais metais apibrėžtas labai ilgas alksnio žiedadulkių sezonas. Iš pateiktų rezultatų matyti (3.3 lent.), kad žiedadulkių sezono trukmė nenusako žiedadulkių gausos, t. y. jei žiedadulkių sezonas ilgas (pvz., > 40 dienų), žiedadulkių kiekis panašus arba net mažesnis nei trumpesnio sezono metu. Žiedadulkių koncentracijos dydis ir žiedadulkių sezono metu iškritęs kritulių kiekis tiesinės priklausomybės neturėjo. Tai patvirtina ir statistinės analizės rezultatai (3.4 lent.). Tuo tarpu žiedadulkių sezono trukmė yra tiesiogiai proporcinga kritulių kiekiui, t. y. kuo daugiau kritulių iškrito alksnio žiedadulkių sezono metu, tuo žiedadulkių sezonas labiau išsitiesęs ($r_s = 0,66$, $p < 0,01$).

3.3 lentelė. Žiedadulkių indeksas, žiedadulkių sezono trukmė (dienomis) ir vidutinės meteorologinių parametrų vertės žiedadulkių sezono metu: vidutinė oro temperatūra (C), santykinis oro drėgnumas (%), suminis kritulių kiekis (mm) ir vėjo greitis (m/s)

Metai	Žiedadulkių morfotipas	Oro temperatūra	Santykinis drėgnumas	Kritulių kiekis	Vėjo greitis	Žiedadulkių indeksas	Žiedadulkių sezono trukmė
Vilnius							
2005	Alksnis	8,8	66,1	27,6	3,1	1824	19
2006		8,1	60,2	45,5	3,0	3147	35
2007		5,7	64,9	25,4	3,4	903	30
2008		2,7	78,1	84,8	3,9	2428	41
2009		7,7	61,3	15,8	2,7	2624	36
Klaipėda							
2005	Alksnis	5,5	71,6	9,3	3,4	2041	24
2006		7,2	74,6	32,5	3,8	2946	41
2007		6,0	72,2	27,7	4,0	2202	26
2008		3,2	83,7	84,0	5,4	1364	40
2009		5,7	79,5	29,7	3,2	2248	35

3.3 lentelės tęsinys

Metai	Žiedadulkių morfortipas	Oro temperatūra	Santykinis drėgnumas	Kritulių kiekis	Vėjo greitis	Žiedadulkių indeksas	Žiedadulkių sezono trukmė
Šiauliai							
2005	Alksnis	6,8	72,4	22,4	2,4	1913	22
2006		7,9	69,0	39,3	2,5	1397	42
2007		-1,1	79,6	55,2	2,5	677	69
2008		1,6	84,2	68,3	3,3	1575	43
2009		7,3	63,1	20,6	2,3	1193	36
Vilnius							
2005	Migliniai	17,6	70,0	297,0	2,5	1803	68
2006		17,1	67,3	227,3	2,7	725	106
2007		17,7	72,5	284,6	2,7	2522	74
2008		16,1	70,7	263,4	2,6	1769	123
2009		15,8	73,6	338,1	2,6	2385	117
Klaipėda							
2005	Migliniai	17,7	76,9	98,1	3,4	1665	40
2006		19,1	75,4	55,4	2,7	1200	70
2007		17,2	78,8	272,6	3,8	2354	62
2008		16,1	75,9	275,7	3,7	767	127
2009		17,3	77,9	215,2	3,8	2468	97
Šiauliai							
2005	Migliniai	18,0	70,6	52,5	1,9	2629	49
2006		19,4	74,2	218,4	1,9	715	78
2007		17,8	75,2	300,0	2,2	1201	92
2008		17,0	69,6	155,0	2,0	2482	76
2009		16,4	73,7	222,5	2,0	3656	102
Vilnius							
2005	Kietis	17,4	75,0	225,9	2,6	1459	35
2006		17,5	78,5	178,7	2,7	1052	39
2007		18,7	74,3	42,4	2,7	1893	31
2008		16,2	74,4	112,3	2,7	1404	71
2009		16,6	73,3	98,6	2,4	2516	43
Klaipėda							
2005	Kietis	17,9	82,9	184,6	4,0	515	30
2006		18,7	80,4	100,7	3,1	1375	44
2007		19,0	81,0	72,0	3,6	1664	27
2008		17,3	81,6	165,3	4,0	461	50
2009		19,5	70,1	20,1	3,0	1052	15
Šiauliai							
2005	Kietis	17,1	77,6	79,8	1,9	2507	34
2006		18,3	81,7	164,2	1,7	855	30
2007		18,6	76,9	93,4	2,2	2275	30
2008		18,3	73,8	98,1	2,0	1367	32
2009		17,6	73,6	44,8	1,9	2559	29

Miglinių šeimos augalų žiedadulkių kiekio kitimo tendencijos, priklausomai nuo meteorologinių sąlygų, yra šiek tiek kitokios (3.3 lent.). Šios šeimos augalams būdingi ilgai trunkantys žiedadulkių sezonai. Kadangi

žiedadulkių sezonų metu, ne kiekvieną dieną yra fiksuojamos žiedadulkės (dėl nevienalaikio augalų žydėjimo), todėl vidutinis kritulių kiekis, vertinant bendrą žiedadulkių kiekio situaciją sezono metu, negali atskleisti tiesinės priklausomybės tarp žiedadulkių ir kritulių kiekio.

Žiedadulkių indeksas skiriasi tarp metų ir stotelių. Pavyzdžiui, mažiausiomis miglinių žiedadulkių koncentracijomis Vilniuje ir Šiauliuose išsiskiria 2006 m., o Klaipėdoje – 2008 m., tačiau ryškių skirtumų tarp meteorologinių sąlygų tarp minėtų metų nenustatyta. Statistinė analizė neparodė jokių ryšių tarp žiedadulkių sezono vidutinių meteorologinių parametrų ir žiedadulkių koncentracijos (3.4 lent.). Nustatyta sąsaja tarp vidutinės oro temperatūros ir žiedadulkių sezono trukmės, kuri parodo, kad kuo aukštesnė oro temperatūra, tuo trumpesnis miglinių žiedadulkių sezonas. Tą patvirtina ir T. Frei (1998) atlikti tyrimai. Žolinių augalų žiedadulkių kiekiui yra svarbūs krituliai.

3.4 lentelė. Spirmeno koreliacijos koeficientas (r_s) tarp meteorologinių parametrų žiedadulkių sezono metu ir žiedadulkių indekso bei sezono trukmės

Žiedadulkių morfotipas	ŽI ir ŽST	Oro temperatūra	Santykinis drėgnumas	Kritulių kiekis	Vėjo greitis	ŽST
Alksnis	ŽI	0,34	-0,21	-0,03	0,23	-0,19
	ŽST	-0,42	0,46	0,66**	-0,02	-
Migliniai	ŽI	-0,21	-0,16	-0,09	-0,19	-0,21
	ŽST	-0,68**	-0,12	0,43	0,05	-
Kietis	ŽI	-0,14	-0,55*	-0,53*	-0,49	-0,11
	ŽST	-0,68**	0,09	0,54*	0,14	-

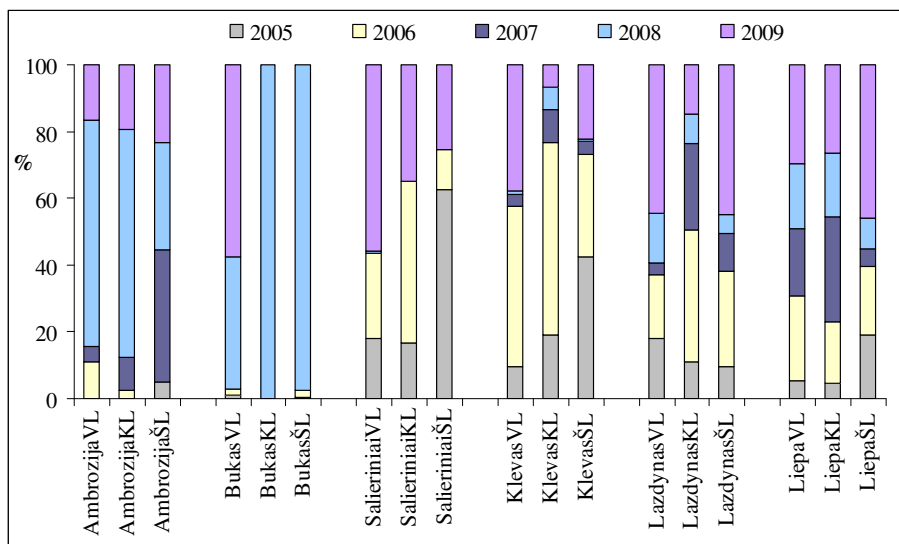
* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$. ŽI – žiedadulkių indeksas, ŽST – žiedadulkių sezono trukmė.

Kiečio genties žiedadulkių sezono metu buvusios meteorologinės sąlygos skyrėsi tarp vietovių. Didžiausi skirtumai – tarp Vilniaus ir Klaipėdos. Žiedadulkių sezono vidutinė oro temperatūra varijuoja iki 2,9 °C, Klaipėdoje, kaip ir būdinga pajūrio regionui, šiek tiek aukštesnis santykinis oro drėgnumas ir intensyvesnis vėjo greitis. Taigi ne tik meteorologinės sąlygos gali lemti augalų žiedadulkių sklaidą, ypač urbanizuotose teritorijose, kur žolinių augalų žiedadulkių koncentracijos priklauso nuo teritorijų prižiūrėjimo lygio.

Tinkamas teritorijų tvarkymas (pvz., šienavimas) gali būti viena priežasčių, lėmusių šios genties augalų žiedadulkių kiekio nevienodumą.

Kiečio genties augalų žiedadulkių ir meteorologinių sąlygų statistinė analizė atskleidė, kad kuo mažesnė vidutinė santykinė oro drėgmė žiedadulkių sezono metu, tuo daugiau žiedadulkių yra fiksuojama ($r_s = -0,55$, $p < 0,05$). Tačiau dėl mažos duomenų apimties griežtos ribos tarp šio meteorologinio parametro ir žiedadulkių brėžti negalima. Panašią tendenciją parodė ir koreliacija tarp žiedadulkių sezono iškritusių kritulių kiekio ir kiečio žiedadulkių gausumo ($r_s = -0,53$, $p < 0,05$). Be to, gauti panašūs rezultatai kaip ir miglinių, t. y. kuo aukštesnė oro temperatūra, tuo trumpesnis žiedadulkių sezonas ($r_s = -0,68$, $p < 0,01$).

Ne tik aukščiau analizuoti žiedadulkių morfotipai, kurie išsiskiria didelėmis žiedadulkių koncentracijomis, pasižymi tarpmetinėmis variacijomis, bet ir nedidelius žiedadulkių kiekius ore Lietuvoje suformuojančių augalų žiedadulkių koncentracijos skiriasi kasmet (3.8 pav.).



3.8 pav. Aerobiologinėse stotelėse 2005–2009 m. užfiksuotų skirtingų augalų žiedadulkių kiekio pasiskirstymas (%) (indeksai: VL-Vilnius, KL-Klaipėda, ŠL-Šiauliai)

Šiai situacijai išanalizuoti buvo parinkti labiausiai išsiskiriantys atvejai (ambrozija, bukas, salietriniai, klevas). Lyginant 2005-2009 m. nustatytus

žiedadulkių kiekius (3.8 pav.), pastebima, kad 2006 m. užfiksuota daugiausiai klevo genties augalų žiedadulkių Lietuvoje, o 2008 m. – ambrozijos ir buko. 2005 m. pastebėti salietrinių šeimos augalų žiedadulkių kiekio regioniniai skirtumai, kurie tolesniais metais nebuvo nustatyti.

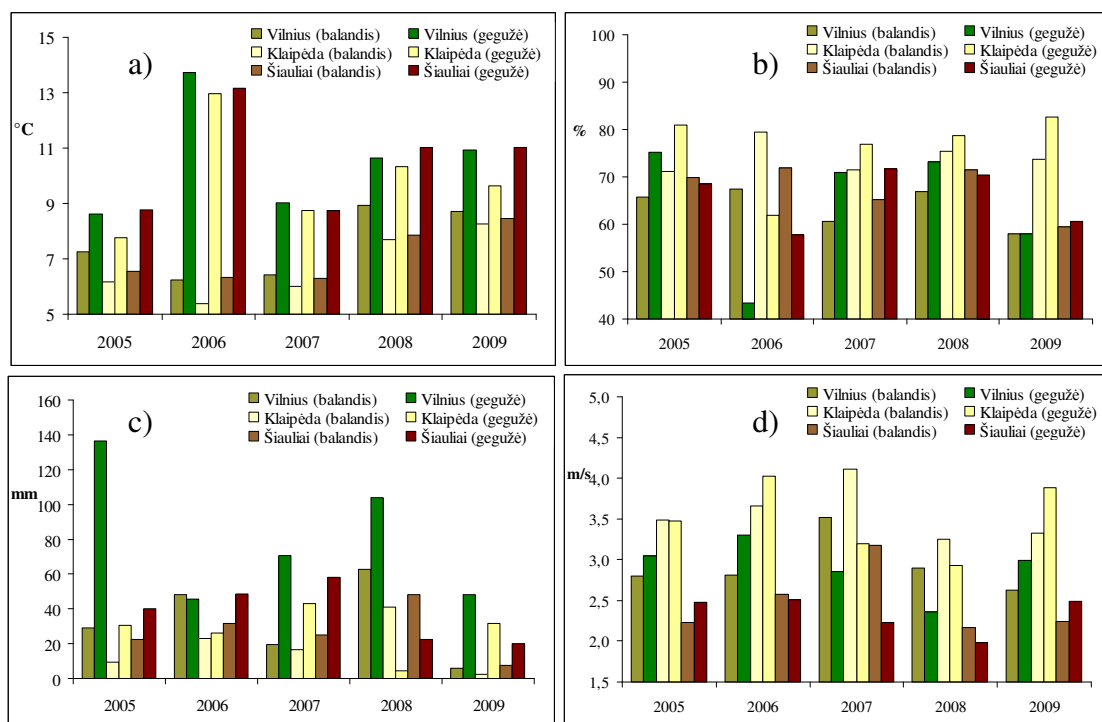
Šie pateikti pavyzdžiai iliustruoja tam tikrus išskirtinius atvejus, kurie gali būti siejami su žiedadulkių sklaidai tinkamomis sąlygomis ar tolimą žiedadulkių pernaša (pavyzdžiui, ambrozijos). Buko genties augalų žiedadulkės yra didelės (2.1 lent.), sunkios, morfologiškai neprisitaikiusios būti pernešamos tolimais atstumais (Kabailienė, 1979). Be to, buko genties augalai nėra plačiai paplitę Lietuvoje: auginami parkuose, dekoratyviniuose želdynuose, botanikos soduose (Navasaitis ir kt., 2003).

Buko genties žiedadulkių sezonas 2008 m. bendrai Lietuvoje prasidėjo balandžio 16 d. ir tęsėsi iki gegužės 12 d. Balandį Vilniuje užfiksuota apie 46 % žiedadulkių, Klaipėdoje – 19 %, o Šiauliuose – 3 %. Vadinasi, tais metais gegužės pradžioje užfiksuotos žiedadulkės sudarė daugiausia buko genties žiedadulkių. Siekiant įvertinti susiklosčiusią situaciją, nusakytos balandžio ir gegužės mėnesių meteorologinės sąlygos (3.9 pav.).

Rezultatai rodo, kad vidutinės meteorologinių parametrų reikšmės varijuoja tarp metų. Tačiau 2008 m. meteorologinės sąlygos ypač nesiskiria, kad būtų galima teigti, jog tik dėl palankių meteorologinių sąlygų Lietuvoje nustatytos netipiškos žiedadulkių koncentracijos (3.8 ir 3.9 pav.).

Gauti rezultatai rodo, kad 2008 m., nors labai nedaug, tačiau išsiskyrė aukštesnėmis balandžio mėnesio vidutinėmis oro temperatūromis bei santykinio oro drėgnumu ir didesniu kritulių kiekiu, tačiau gegužę – žemesnėmis temperatūromis, žemesniu santykinio oro drėgnumu ir mažesniu kritulių kiekiu. Šios bendros tendencijos iš dalies gali pagrįsti gegužės mėnesį užfiksuotą didesnę buko genties augalų žiedadulkių kiekį.

2006 m. išsiskiria klevo genties augalų žiedadulkių kiekis (3.8 pav.). Tais metais žiedadulkių sezonas truko 15–60 dienų. Remiantis aerobiologiniais duomenimis, 2006 m. Lietuvoje gegužę užfiksuota 88–100 % žiedadulkių, likusi procentinė dalis tenka balandžio pabaigai arba birželiui.



3.9 pav. Balandžio ir gegužės mėnesių meteorologės sąlygos: a) vidutinė oro temperatūra, b) vidutinis santykis oro drėgnumas, c) suminis kritulių kiekis, d) vidutinis vėjo greitis

Bendra meteorologinė 2006 m. gegužės mėnesio situacija neišsiskiria (3.9 pav.), išskyrus kritulių kiekis, kuris Vilniuje 2006 m. yra mažiausias (2,4-90,6 mm). Laikotarpis be lietaus galėjo sąlygoti, kad daugiau klevo žiedadulkių pateko į gaudyklę, juo labiau, kad klevo genties augalų žiedadulkės nepritaikytos būti pernešamos dideliais atstumais.

Salierinių šeimos augalų žiedadulkių daugiau užfiksuota 2005 m. Tam įtakos turėjo nelietingas laikotarpis. Lietuvoje neužfiksuojami dideli šių augalų žiedadulkių kiekiai. Beveik visi salietriniai yra žoliniai (Galinis, 1984), apdulkinami vabzdžių, todėl didelių kiekių nei gaudyklėse, nei ore nesusidaro.

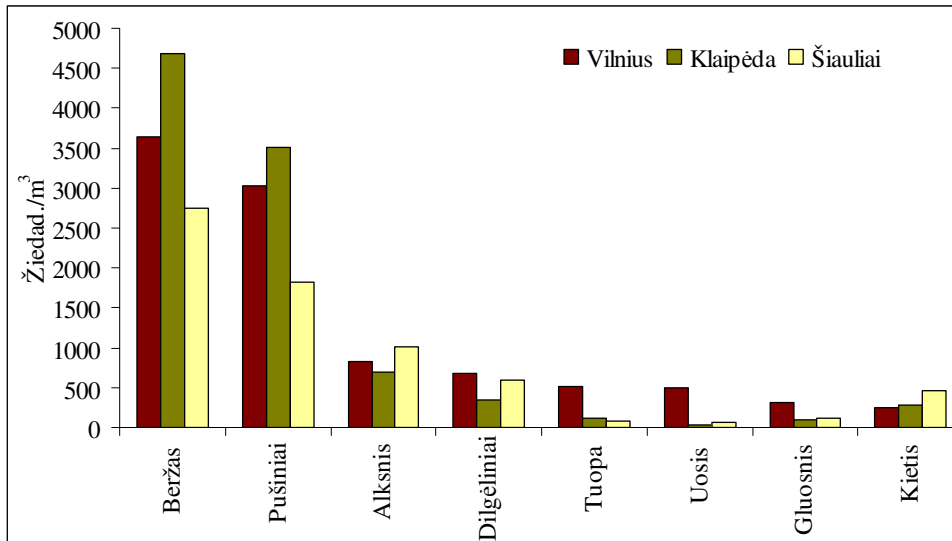
Lazdyno ir liepos genčių augalų žiedadulkių ryškių tarpmetinių skirtumų nenustatyta (3.8 pav.), tačiau žiedadulkių kiekis varijuoja, priklausomai nuo aerobiologinės stotelės. Lazdyno genties augalų žiedadulkių daugiausia užfiksuota Vilniuje. Palyginus skirtingais metais nustatomą žiedadulkių kiekį, pastebėta, kad Vilniuje ir Šiauliuose ypač išsiskiria 2009 m. (daugiau nei 44 % visų metų bendro lazdyno žiedadulkių kiekio). Klaipėdoje išsiskiria 2006 m.,

kai užfiksuota 40 % lazdyno žiedadulkių kiekio (2005–2009 m.). Liepos genties augalų žiedadulkių daugiausia užfiksuojama Vilniuje. Labiausiai išsiskiria 2009 m., kadangi Šiaulių aerobiologinėje stotelėje nustatyta bendra metinė žiedadulkių koncentracija sudarė 46 % bendro 2005-2009 m. kiekio. Kitose stotelėse žiedadulkių koncentracijos pasiskirstė tolygiai.

Gautų rezultatų analizė atskleidė, kad ne tik nuo augalų apdulkinimo būdo skiriasi žiedadulkių kiekiai atmosferoje ir žiedadulkių užfiksavimas gaudyklėse. Augalai, kurie priskiriami prie anemofilinių, pavyzdžiui, ambrozijos, buko, lazdyno genčių augalai, didesnės žiedadulkių koncentracijos nustatomos tik epizodiškai. Tos žiedadulkės, kurios prisitaikiusios nuskrieti didelius atstumus, pavyzdžiui, ambrozijos, gali būti paaiškinamos tolimosios pernašos atvejais. M. Kabailienė (1979) nurodė, kad buko ir lazdyno žiedadulkės nenunešamos labai toli. Tačiau D. D. Rousseau (2008) atlikti tyrimai parodė, kad užfiksuotos lazdyno žiedadulkės (3–4 žiedad.) į Grenlandiją atskrido iš Šiaurės Amerikos. Taigi tokie epizodiški žiedadulkių pagausėjimai Lietuvoje gali būti siejami su palankiomis meteorologinėmis sąlygomis. Entomofilinių augalų (klevo, salietrinių, liepos) užfiksuojami nedideli žiedadulkių kiekiai gaudyklėse parodo, kad žydėjimo metu dalis vabzdžių pernešamų žiedadulkių oro srautų yra pernešami toliau nuo augalų.

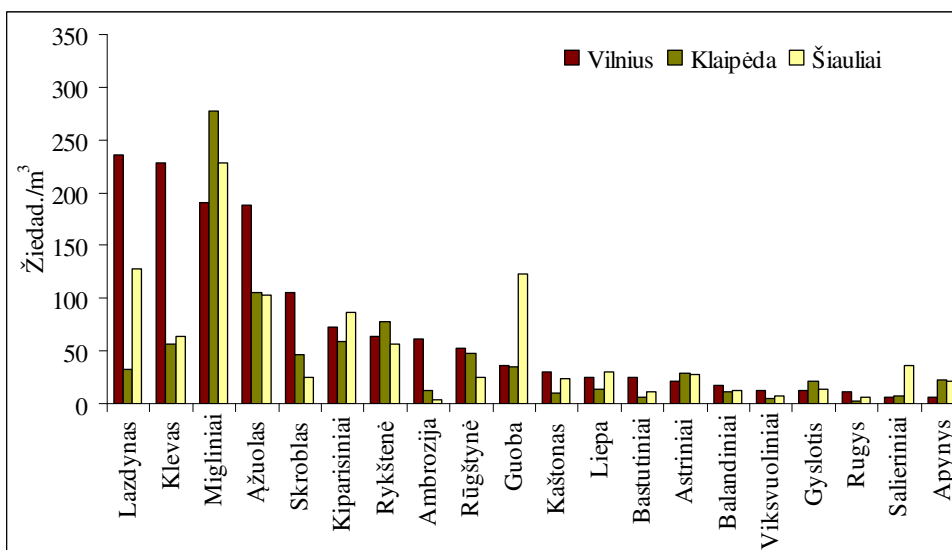
Apibendrinus gautus rezultatus matyti, kad daugeliu atveju (darbe paaiškinti išskirtiniai atvejai) vidutinės meteorologinių veiksnių reikšmės neatskleidžia žiedadulkių kiekio variacijos priklausomybės nuo meteorologinių sąlygų. Todėl detali analizė yra būtina. Išsamesnė meteorologinių veiksnių poveikio žiedadulkių kiekiui analizė yra pateikiama *3.4. Meteorologinių sąlygų poveikis žiedadulkių sklaidai atmosferoje* poskyryje.

Iš aukščiau minėtų rezultatų pastebima, kad Lietuvoje augalų vegetacijos laikotarpiu yra nustatomos skirtingos vidutinės žiedadulkių koncentracijos. Aktualu išskirti ir didžiausią paros žiedadulkių koncentraciją, atsižvelgiant į skirtingus žiedadulkių morfotipus (3.10 ir 3.11 pav.).



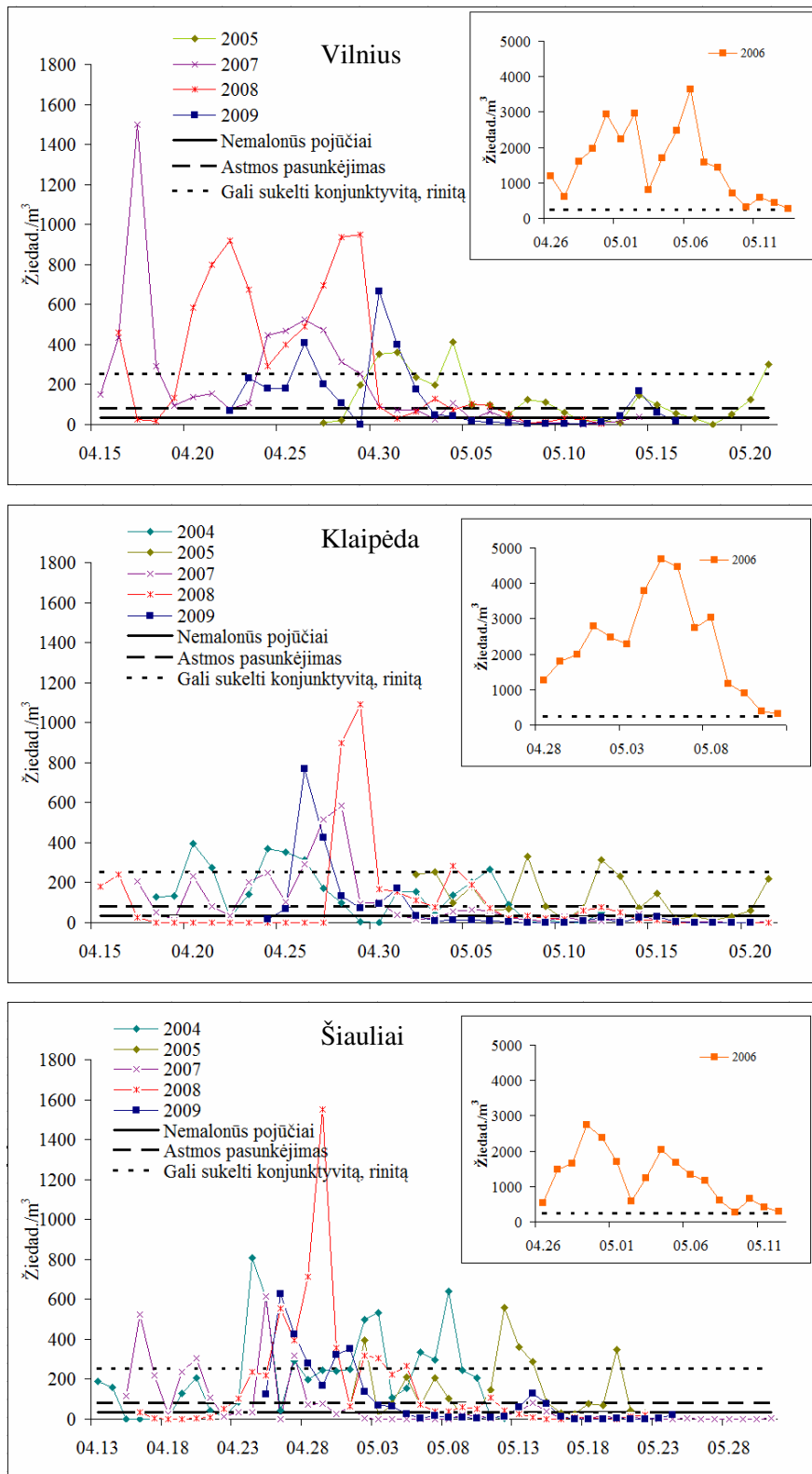
3.10 pav. Aerobiologinėse stotelėse užfiksuota didžiausia paros žiedadulkių koncentracija (>300 žiedad./m³) 2004–2009 m.

3.10 ir 3.11 paveiksluose pateikti rezultatai atskleidė, kad sezono metu užfiksuojamos labai skirtingos maksimalios žiedadulkių koncentracijos – nuo 2 žiedad./m³ iki 4 680 žiedad./m³. Didžiausiomis paros žiedadulkių koncentracijomis pasižymi beržo genties augalai Lietuvoje. Šiauliuose per parą buvo užfiksuota 2 754 žiedad./m³, Vilniuje – 3 649 žiedad./m³, o Klaipėdoje – 4 680 žiedad./m³. Didelėmis žiedadulkių koncentracijomis išsiskiria ir pušinių šeimos augalai (Vilniuje – 3 515 žiedad./m³).



3.11 pav. Aerobiologinėse stotelėse užfiksuota didžiausia paros žiedadulkių koncentracija (<300 žiedad./m³) 2004–2009 m.

3.12 paveikslas iliustruoja, kad konjunktyvitui ir rinitui sukelti reikalingas beržo genties augalų žiedadulkių kiekis Lietuvoje dažnai viršijamas.



3.12 pav. Beržo genties žiedadulkių sezonas aerobiologinėse stotelėse 2004–2009 m. ir slenkstinės žiedadulkių vertės

Įvertinus, kad nemalonus pojūčius žmonės patiria, kai beržo žiedadulkių skaičius per parą siekia 35 žiedad./m³, o astma sergantiesiems ligos eiga pasunkėja, kai fiksuojama 68–81 žiedad./m³, konjunktyvitą ir rinitą sukelia 81-252 žiedad./m³ (Laaidi, 2001a), slenkstinės žiedadulkių vertės Lietuvoje yra ypač viršytos (3.12 pav.). 2005–2009 m. Vilniuje nemalonus pojūčius sukeliančios beržo žiedadulkių koncentracijos buvo viršytos 91 dieną. 2004-2009 m. Klaipėdoje šis kiekis buvo viršytas 88 dienas, Šiauliuose – 105 dienos. Vilniuje nustatytos 74 dienos, kada tikėtinas astma sergančių ligonių būklės blogėjimas, Klaipėdoje – 66 dienos, Šiauliuose – 79 dienos. Konjunktyvitą, rinitą galinčios sukelti žiedadulkių koncentracijos nustatytos 45 dienas Vilniuje, Klaipėdoje – 31 dieną, Šiauliuose – 47 dienas. Šie skaičiai gauti atsižvelgiant į slenkstinių verčių didžiausias koncentracijas. 2006 m. išsiskiria dideliu beržo genties žiedadulkių kiekiu, kada beržo genties žiedadulkių sezonu Lietuvoje visi užfiksuoti kiekiai viršijo 252 žiedad./m³. Tokie dideli fiksuojami kiekiai kelia pavojų žmonėms, kenčiantiems nuo alergijos.

Miglinių šeimos augalų skirtingi žiedadulkių kiekiai gali sukelti šienligės požymius. Alergiškiems žmonėms neigiamus pojūčius sukelia 50 žiedad./m³ (D'Amato et al., 2007a). Remiantis aerobiologinių stotelių duomenimis, didžiausios paros žiedadulkių koncentracijos viršija šį dydį beveik 4–6 kartus (3.11 pav.). Žinoma, Lietuvos atmosferoje fiksuojamų žiedadulkių tipų alergiško lygmenys skiriasi – nuo visiškai nealergiškų arba labai žemo alergiško, pavyzdžiui, liepos žiedadulkės, iki labai aukšto alergiško, pavyzdžiui, miglinių, beržo, kiečio, ambrozijos žiedadulkės (Jäger, 2004a; Pashley et al., 2009). Todėl išsamūs oru sklindančių žiedadulkių tyrimai yra reikalingi ir būtini.

Nepaisant to, kad kai kuriais atvejais fiksuojamos žemos žiedadulkių koncentracijos (3.11 pav.), vis dėlto didelis fiksuojamų žiedadulkių kiekis atmosferoje rodo, kad augalų vegetacijos laikotarpiu, esant palankioms meteorologinėms sąlygoms, žiedadulkių sklaida ore yra pakankamai intensyvi.

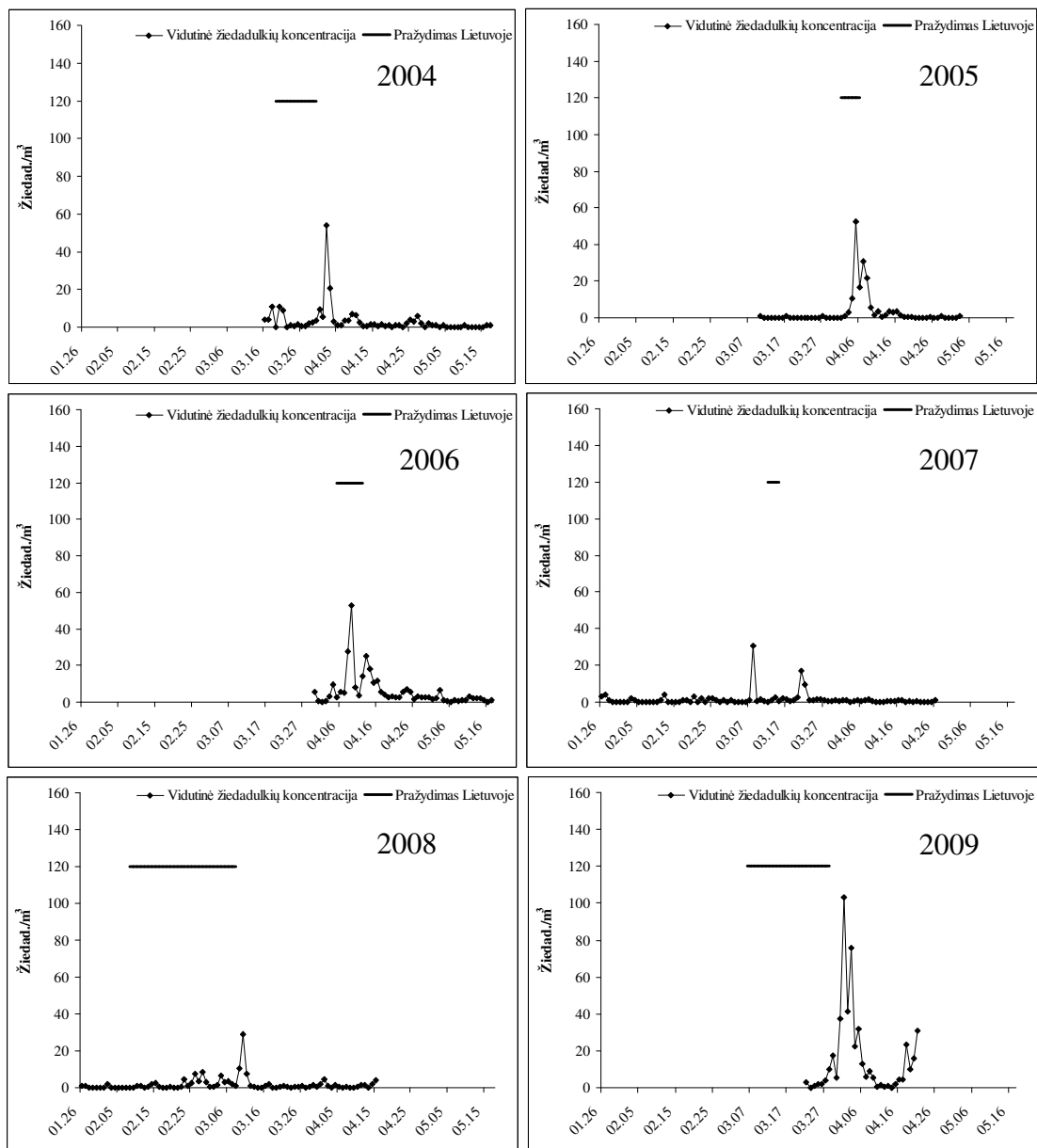
3.2. Oru sklindančių žiedadulkių sezono ir augalų pražydimo analizė

Vertinant žiedadulkių sklaidą atmosferoje, svarbu nustatyti ne tik meteorologinių sąlygų, atmosferos cirkuliacijos poveikį žiedadulkių kiekio kitimui ore, bet ir fenologinį aspektą, t. y. žydėjimo dėsningumą svarbą tam tikrų augalų genčių bei šeimų žiedadulkių sezonui. Analizuojant fenologinius stebėjimus, kurie yra sistemingi, išryškėja tendencija, kad stebėjimo metu nustatomos vieno ar kelių augalų konkrečioje teritorijoje žydėjimo pradžios datos. Todėl augalų pražydimas ir tų augalų žiedadulkių sezonas gali nesutapti. Remiantis ankstesniais rezultatais atskleista, kad žiedadulkių sezono trukmė varijuoja priklausomai nuo žiedadulkių morfotipo ir gali trukti nuo keliolikos dienų iki keleto mėnesių. Tuo tarpu konkrečioje vietovėje atlikti fenologiniai stebėjimai neleidžia objektyviai įvertinti žiedadulkių sklaidos šioje teritorijoje. Siekiant išsiaiškinti, ar fitofenologinė informacija reprezentuoja aerobiologinę situaciją Lietuvoje, buvo atlikta lyginamoji analizė tarp žiedadulkių sezono ir žydėjimo pradžios datų. Šiai analizei atlikti buvo naudotasi paprastojo lazdyno, karpotojo beržo ir mažalapės bei didžialapės liepų žydėjimo ir lazdyno, beržo bei liepos genties augalų žiedadulkių koncentracijų duomenimis. Tokį pasirinkimą sąlygojo fenologinių stebėjimų trūkumas Lietuvoje.

Atliekant analizę augalų pražydimas Lietuvoje apibūdinamas kaip konkrečiais metais susistemintos augalų dulkėjimo pradžios datos (fenologiniai duomenys).

Iš LHMT fenologinių postų surinktos visos žydėjimo datos ir konkrečiais metais išvestas bendras visai Lietuvai augalų pražydimas. Pirmasis pražydimo taškas iliustruoja anksčiausiai Lietuvoje užfiksuotą žydėjimo datą, o paskutinis – vėliausiai. Pirmoji ir paskutinė pražydimo datos buvo sujungtos ir paveiksluose pražydimas Lietuvoje, kuris neturi žiedadulkių koncentracijos mato vieneto, pavaizduotas tiesia linija.

Palyginus paprastojo lazdyno žydėjimą ir lazdyno genties augalų žiedadulkių sezono trukmę (3.13 pav.), paaiškėjo, kad fenologinių stebėjimų duomenys negali reprezentuoti lazdyno žiedadulkių sezono.



3.13 pav. Lazdyno genties augalų žiedadulkių sezonas ir paprastojo lazdyno pražydimas Lietuvoje 2004–2009 m.

Gauti rezultatai atskleidžia, kad lazdyno genties augalų žiedadulkių sezonas nesutampa su paprastojo lazdyno pražydimu Lietuvoje. Matyti, kad paprastojo lazdyno pražydimas nustatomas anksčiau nei aerobiologinėse stotelėse užfiksuojamos maksimalios žiedadulkių koncentracijos (3.13 pav. 2004 m., 2008 m., ir 2009 m.). Lietuvoje savaime paplitęs tik paprastasis lazdynas (Navasaitis ir kt., 2003), todėl šios rūšies adekvatūs fenologiniai stebėjimai leidžia įvertinti lazdyno genties žiedadulkių sklaidą.

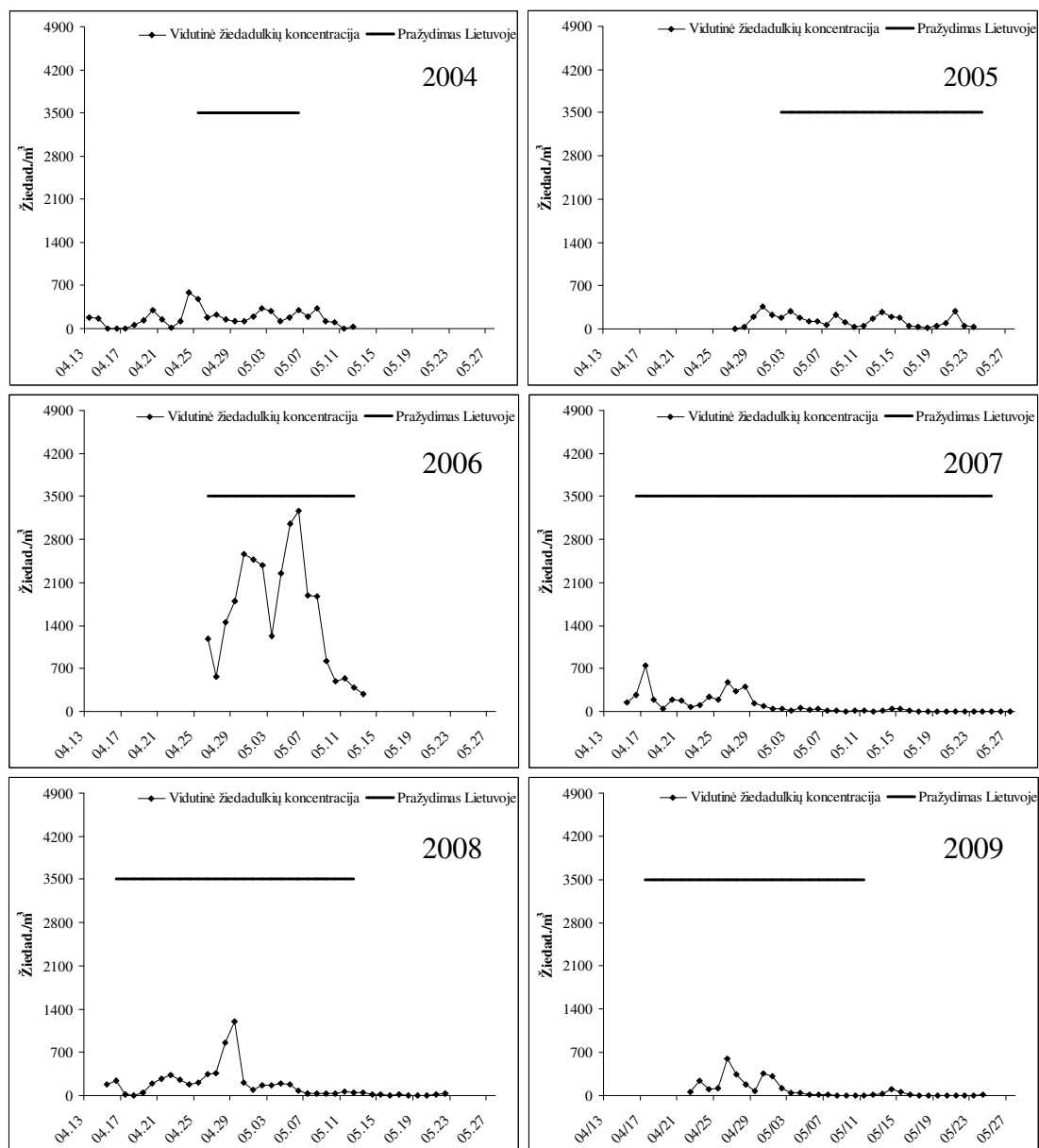
Palyginus žiedadulkių sezono ir pražydimą Lietuvoje, galima teigti, kad 2004–2009 m. LHMT fenologinio stebėjimo tinklo nepakanka – jis nereprezentatyvus. LHMT stotyse paprastojo lazdyno pražydimas yra stebimas Dūkšte (2004–2005 m.), Lazdijuose, Nidoje, Panevėžyje, Kybartuose (2009 m.). Nors šie stebėjimo taškai geografiškai reprezentatyvūs, tačiau, palyginus su aerobiologine informacija, akivaizdu, kad Lietuvoje 3–4 fenologinių postų, skirtų paprastajam lazdynui stebėti, neužtenka.

Lyginamoji analizė tarp beržo genties žiedadulkių koncentracijos ore ir fenologinės informacijos pateikta 3.14 paveiksle. Fenologinių duomenų analizė atskleidė, kad karpotojo beržo pražydimas Lietuvoje 2004–2009 m. kito nuo 11 iki 27 dienų, tuo tarpu beržo genties žiedadulkių sezonas varijavo nuo 15 iki 41 dienos.

Žydėjimo pradžios datos ir žiedadulkių sezono trukmė atskleidė, kad beržo genties augalų vidutinis žiedadulkių sezonas dalinai sutampa su karpotojo beržo pražydimu Lietuvoje. Karpotasis beržas labiausiai paplitęs Lietuvoje (Navasaitis ir kt., 2003), todėl yra tinkamas žiedadulkių analizėje.

2004 m. išsiskiria beržo genties žiedadulkių sezonas ir pražydimas Lietuvoje. 3.14 paveikslas iliustruoja beržo genties augalų galimus žiedadulkių tolimosios pernašos atvejus, kadangi žiedadulkių sezonas prasidėjo anksčiau nei užfiksuota ankstyviausia žydėjimo pradžia Lietuvoje. Remiantis 2005 m. duomenimis, nesutapimas tarp žiedadulkių sezono ir pražydimo taip pat gali būti laikomas tolimosios pernašos pavyzdžiu. Šie atvejai analizuoti 3.3. skyriuje *Tolimosios pernašos įtaka žiedadulkių koncentracijai Lietuvoje*.

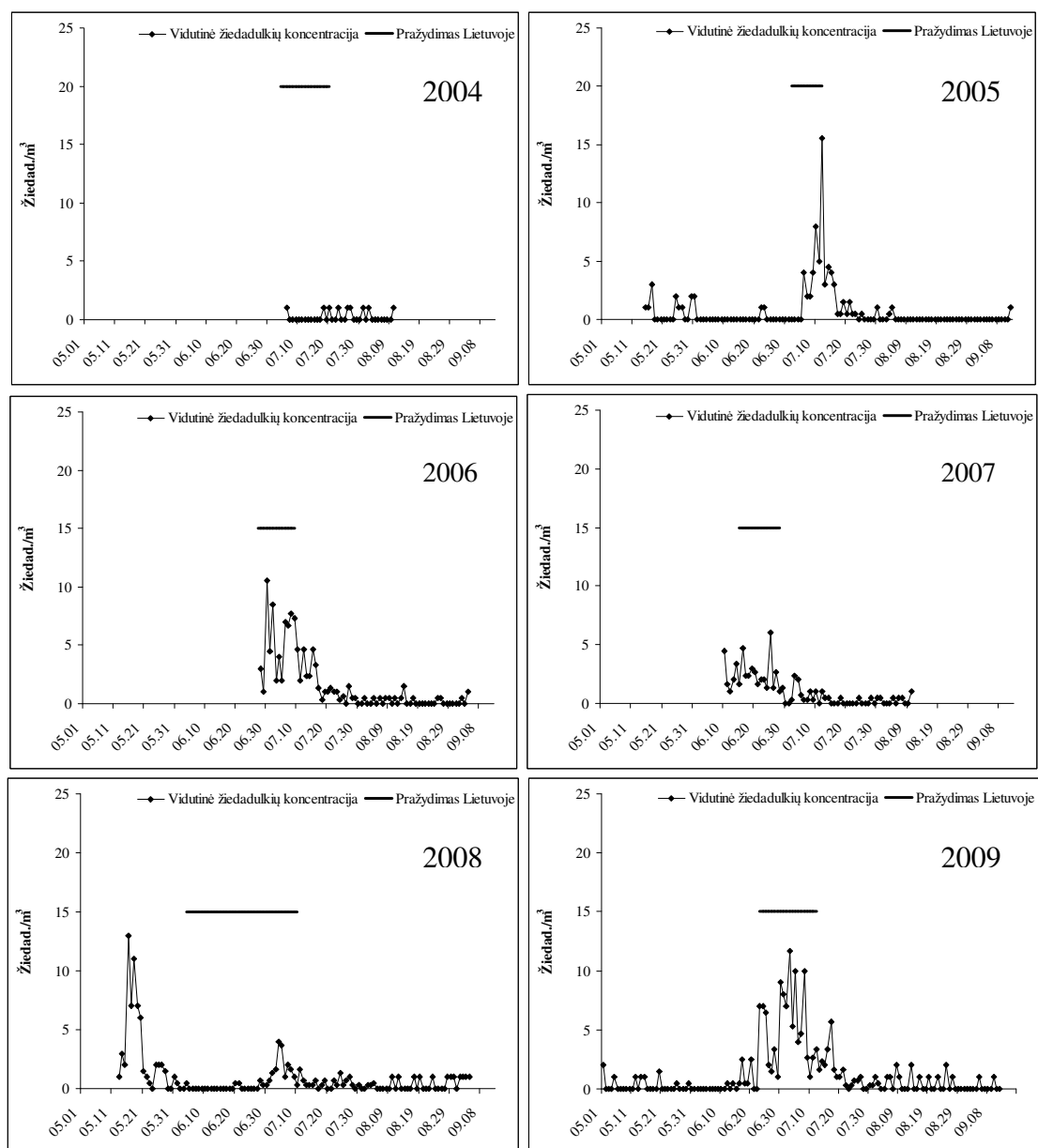
3.14 paveiksle pavaizduoti rezultatai atskleidžia fenologinių duomenų svarbą. Lietuvoje trijų aerobiologinių stotelių beržo genties augalų žiedadulkių sezonų trukmė tarp stotelių varijuoja kelių dienų intervalu. Vadinasi, kaip ir lazdyno genties augalams, taip ir beržo nėra galimybės parinkti vienos fenologinės stoties, kuri reprezentuotų vienos aerobiologinės stotelės žiedadulkių duomenis.



3.14 pav. Beržo genties augalų žiedadulkių sezonas ir karpotojo beržo pražydimas Lietuvoje 2004–2009 m.

Norint lygiagrečiai įvertinti vietinių augalų žydėjimo poveikį žiedadulkių sklaidai konkrečiame mieste ar visoje Lietuvos teritorijoje, reikia nuoseklių Lietuvos teritoriją reprezentuojančių fenologinių stebėjimų. Lyginant su paprastojo lazdyno fenologiniu tinklu, 2004–2009 m. karpotojo beržo LHMT fenologinių stočių tinklas yra reprezentatyvus ir gali būti panaudotas vertinant beržo genties augalų žiedadulkių sklaidą. Kadangi žiedadulkių sklaida yra susijusi su meteorologiniais procesais atmosferoje (Clot, 2001; Emberlin et al., 2002; Rasmussen, 2002; Skjøth et al., 2007; Siljamo et al., 2008b), todėl gausi

fenologinė informacija kaip tik papildo aeropalinologinius duomenis (Jato et al., 2002; Estrella et al., 2006). Siekiant, kad fenologinė informacija papildytų aerobiologinius duomenis, reikia, kad fenologinio tinklo postai būtų išdėstyti taip, kad galėtų reprezentuoti visą teritoriją ne tik geografiniu, bet ir skirtingų augalų rūšių žydėjimo aspektu.



3.15 pav. Liepos genties augalų žiedadulkių sezonas ir pražydimas Lietuvoje 2004–2009 m.

Iš 3.15 paveiksle pateiktų duomenų matyti, kad Lietuvoje nustatomos nedidelės liepos genties žiedadulkių koncentracijos, kadangi šios genties augalų žiedadulkės nėra prisitaikiusios būti pernešamos vėjo. Nepaisant to, žiedadulkių koncentracijos ir fenologinių duomenų lyginamoji analizė rodo, kad liepos genties žiedadulkių sezonai nesutampa su pražydimu Lietuvoje.

Lietuvoje LHMT fenologiniuose postuose yra stebimos mažalapė ir didžialapė liepos. Mažalapė liepa Lietuvoje yra labiausiai paplitusi (Navasaitis ir kt., 2003).

Viena žiedadulkių sezono ir pražydimo Lietuvoje nesutapimo priežasčių gali būti ribotas 2,5 % kriterijaus pritaikymas. Aerobiologinėse stotelėse yra fiksuojamos nedidelės liepos genties augalų žiedadulkių koncentracijos, o pagal 2,5 % kriterijų nustatyti sezonai būna ilgi. Šis kriterijus labiau tinkamas anemofilinių augalų žiedadulkių sezonams nustatyti, nes pastarieji pasižymi didelėmis žiedadulkių koncentracijomis ore. Vis dėlto iš 3.15 paveikslo matyti, kad LHMT stebimų liepų fenologinis tinklas su kai kuriomis išimtimis gali iliustruoti fiksuojamų liepos genties augalų žiedadulkių kaitą Lietuvoje.

Taigi, apibendrinus gautus rezultatus, galima teigti, kad viena fenologinė stotis negali reprezentuoti vienos aerobiologinės stoties duomenų, kadangi kiekvienoje aerobiologinėje stotelėje nustatyti žiedadulkių sezonai yra ilgi. Remiantis žiedadulkių sklaidos duomenimis, pastaruosius konkrečioje aerobiologinėje stotelėje gali papildyti tik fenologinė informacija, kuri apima visos Lietuvos stebėjimų tinklą.

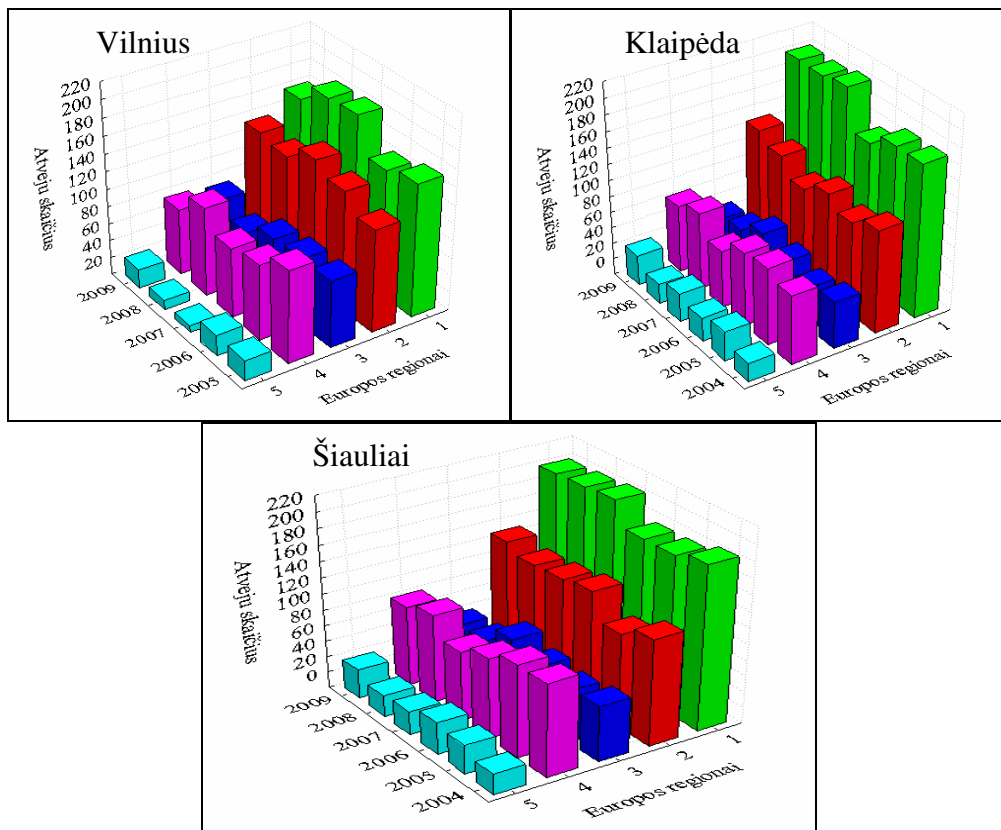
3.3. Oro masių bei tolimosios pernašos įtakos žiedadulkių sklaidai vertinimas

Aerobiologinėse stotelėse nustatomos žiedadulkių koncentracijos yra sietinos su žiedadulkėmis, kurios sudaro atmosferos bioaerozolį, t. y. tos, kurios sklaido ore. Vadinasi, visi žiedadulkių morfotipai, kurių žiedadulkės užfiksuojamos aerobiologinėse stotelėse, yra tų augalų, kurių žiedadulkės gali būti pernešamos įvairiausiais atstumais. Oro masių judėjimo įvertinimas yra labai svarbus žiedadulkių cirkuliacijos atmosferoje aspektas. Tam tikslui buvo

atlikta 2004–2009 m. atgalinių trajektorijų ir žiedadulkių kiekio sąsajos analizė, įvertintos ambrozijos ir beržo žiedadulkių tolimosios pernašos galimybės.

3.3.1. Atgalinių trajektorijų ir žiedadulkių kiekio Lietuvoje analizė

Atgalinių oro masių trajektorijų modeliavimo rezultatai (3.16 pav.) parodo, kad daugiausia Lietuvą pasiekia oro masės (1 Europos regionas), kurios dažniausia susiformuoja ties Islandija ir slenka virš Atlanto vandenyno per Didž. Britaniją, Norvegijos jūrą, Daniją, Norvegiją, Švediją ir Baltijos jūrą (35–45 %).



3.16 pav. Iš įvairių Europos regionų aerobiologines stoteles pasiekusios oro masės. 2004–2009 m. sausio–rugsėjo mėnesiais (Europos skirstymas į 1–5 regionus pavaizduotas 2.3 pav.)

Remiantis atgalinių trajektorijų rezultatais, nustatyta, kad mažesnis procentas (26–28 %) tenka oro masėms, slenkančioms per Centrinę Europą

(2 regionas). Susisteminti rezultatai atskleidė, kad nors ir retai (3–4 %), tačiau pasitaiko atveju, kai oro masės susiformuoja virš Lietuvos esant ciklono ar anticiklono centrui arba mažo gradiento bariniam laukui (Kazakevičius, Mikelinšienė, 2001). Tai vietinės oro masės (5 regionas, 2.3 pav.). Žinoma, pačioje Lietuvoje nebūna sąlygų susiformuoti ciklonams ir anticiklonams, tačiau ji yra tarptautinių oro masių apykaitos kelyje (Galvonaitė ir kt., 2007). Tai svarbu ne tik oro ar klimatinėms Lietuvos sąlygoms, bet ir dalelių pernašai.

Atgalinių trajektorijų iliustruojamas vietinių oro masių judėjimas virš Lietuvos sąlygoja žiedadulkių pagausėjimą atmosferoje. Tai ypač svarbu augalų dulkėjimo laikotarpiu. Tokiais atvejais iš miškingų teritorijų, pievų į atmosferą patekusios žiedadulkės gali būti pernešamos į urbanizuotas teritorijas ir fiksuojamos aerobiologinių stotelių gaudyklėse.

Palyginus oro masių atgalinių trajektorijų rezultatus pastebima, kad Klaipėdoje ir Šiauliuose būdinga panaši oro masių slinktis (3.16 pav.). Tuo tarpu virš Centrinės Europos (2 Europos regionas) slenkančių oro masių Vilniaus aerobiologinę stotelę pasiekia daugiau, lyginant su kitomis aerobiologinėmis stotelėmis. Panašiais tyrimais, kai buvo įvertintos 1980-1994 m. Preilą pasiekusios oro masės, S. Kazakevičiaus ir A. Mikelinšienės (2001) iniciatyva atskleista, kad 39 % visų tirtų oro masių Preilą pasiekė iš 1 Europos regiono ir 38 % – iš 2 Europos regiono. Remiantis 6 metų atliktų tyrimų rezultatų analize ir 15 m. Preiloje atliktais tyrimais, matyti, kad didelių regioninių skirtumų nenustatyta. Vyraujanti oro masių pernaša Lietuvoje yra Vakarų krypties.

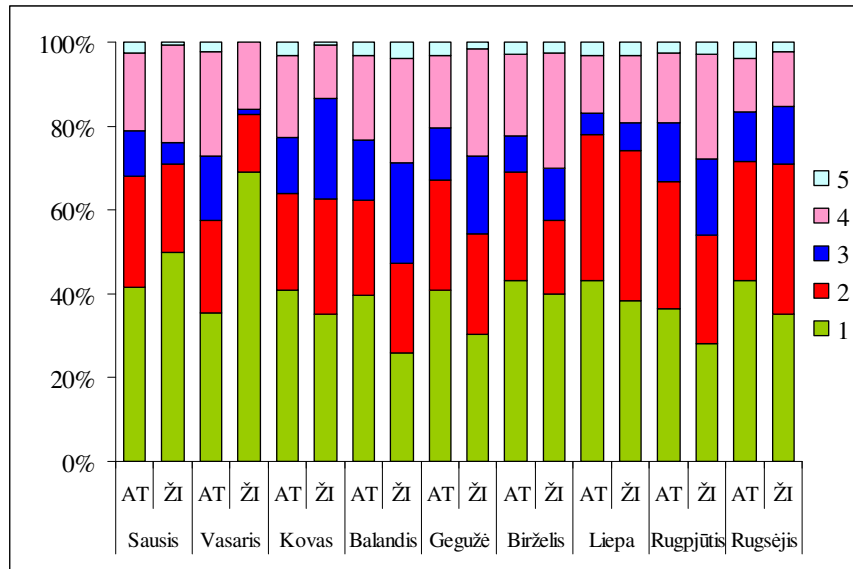
Susisteminti 6 metų duomenys rodo, kad nustatoma nemažai atveju, kai atgalinės trajektorijos iliustruoja oro masių slinktį virš kontinento, t. y. virš Europos teritorijų, kuriose paplitę skirtingų augalų sąžalynai, potencialūs žiedadulkių šaltiniai. Vadinasi, oro masių judėjimo svarbą žiedadulkių kiekiui galima analizuoti dvejopai: kaip papildomų arba advekcinės kilmės žiedadulkių atnešimą lemiantį veiksni bei tam tikrų oro sąlygų žiedadulkių sklaidai sudarymą. Norint sužinoti oro masių poveikį žiedadulkių koncentracijų pasiskirstymui, reikia išskirti pagrindinius atmosferos

cirkuliacijos bruožus kiekvienos aerobiologinės stotelės, kuriose fiksuotas tam tikras žiedadulkių kiekis, atžvilgiu.

Žiedadulkių kiekio kaitos tikėtinioms priežastims nustatyti atlikta žiedadulkių koncentracijos kaitos analizė, naudojant oro masių atgalinių trajektorijų modeliavimo rezultatus. Bendri žiedadulkių sklaidos ore dėsningumai nusakyti atsižvelgiant, virš kurio Europos regiono slinko oro masės (2.3 pav.) ir kryptis aerobiologinės stotelės atžvilgiu.

Vertėtų atkreipti dėmesį ne tik į oro masių judėjimo kryptį, bet ir į pačių oro masių savybes. Šiaurės rytų, rytų krypties oro masės (4 regionas) pasižymi sausumu, apima gana didelį plotą, o vėjo greitis tomis dienomis yra mažas (Galvonaitė, 1994). Joms praeinant gali susidaryti palankios meteorologinės sąlygos kauptis žiedadulkėms. Oro masės, susiformavusios ties Islandija, pasižymi dideliu turbulentiškumu, jos yra jūrinės kilmės (Galvonaitė, 1994), o Vilniaus teritoriją pasiekia praslinkdamos didelę Lietuvos teritorijos dalį. Šio tipo oro masės gali formuoti didesnes žiedadulkių koncentracijas, kurios sietinos su vietinių augalų žydėjimu. 2 ir 3 Europos regiono oro masės yra labiau žemyninės, todėl daugiausia savo savybių įgyja slinkdamos per pietines Europos teritorijos dalis. Tai lemia ne tik tolimąją žiedadulkių pernašą, bet ir gali suteikti palankias sąlygas vietinės kilmės žiedadulkių sklaidai.

Siekiant išanalizuoti situaciją, pirmiausia apibūdinta bendra mėnesio žiedadulkių kiekio kaitos situacija Lietuvoje. Remiantis aerobiologinių stotelių duomenimis, gauti rezultatai susisteminti ir pateikti 3.17 paveiksle. Žiedadulkių kiekius, siejant su oro masėmis, matomas labai panašus vaizdas tarp atslinkusių oro masių ir oro masių, lėmusių didesnes mėnesio žiedadulkių indekso vertes. Daugiau kaip pusė nustatytų atvejų siejama su pernaša iš 1 ir 2 Europos regiono: iki 78 % tenka atgalinėms oro masių trajektorijoms, pasiekusioms aerobiologines stoteles, ir iki 83 % žiedadulkių fiksuojama, kai atgalinės oro masių trajektorijos nurodo oro masių pernašos kryptį iš 1 ir 2 Europos regionų.



3.17 pav. Atgalinių oro masių trajektorijų ir žiedadulkių kiekio pasiskirstymas (%) įvairiais mėnesiais Lietuvoje (2004–2009 m.): AT – atgalinės trajektorijos; ŽK – žiedadulkių indeksai (1–5 Europos regionai)

3.17 paveikslas atskleidžia ir tai, kad žiedadulkių pagausėjimas ore susijęs su skirtinga oro masių slinkties kryptimi, o didžiausios koncentracijos, nustatytos nevyraujančios oro masės krypties atvejais. Didžiausi skirtumai nustatyti vasarį, kai 1 Europos regionui tenka 35 % visų įvertintų atvejų ir 22 % – 2 Europos regionui, tuo tarpu žiedadulkių daugiausia užfiksuota, kai oro masės atslinko būtent iš 1 Europos regiono (69 % visų atvejų). Žinoma, vasario mėnuo, kaip ir sausis (nustatomi tik pavieniai žiedadulkių atvejai), nepasižymi dideliu žiedadulkių kiekiu. Tik išskirtiniais atvejais, kada pražysta ankstyvieji pavasario augalai, galima tikėtis atmosferoje žiedadulkių pagausėjimo.

Pavyzdžiui, Vilniuje 2005–2009 m. ankstyvu žiedadulkių pasirodymu atmosferoje pasižymėjo 2008 m., kada alksnis ir lazdynas mėnesio pabaigoje suformavo didelius žiedadulkių kiekius (žiedadulkių indeksas siekė daugiau nei 1 500). Lazdyno ir alksnio genčių augalai yra anemofiliniai, jų žiedadulkės prisitaikiusios būti pernešamos vėjo. Be to, paprastasis lazdynas ir baltalksnis bei juodalksnis yra paplitusios rūšys beveik visoje Europoje (Navasaitis ir kt., 2003). Vadinasi, galima tikėtis žiedadulkių pagausėjimo iš aplinkinių Europos

teritorijų. Alksnio, kaip ir beržo bei pušies žiedadulkės, gali nukeliauti didelius atstumus (Kabailienė, 1979), todėl žiedadulkių pagausėjimas gali būti siejamas su piečiau esančiomis Europos teritorijomis.

Vis dėlto nustatytos panašios tendencijos kitose aerobiologinėse stotelėse (žiedadulkių indeksas siekia daugiau nei 400) leidžia teigti, kad tokios ankstyvos žiedadulkių koncentracijos yra sąlygotos ir vietinių augalų žydėjimo. Šį poveikį anksti suformuojamų žiedadulkių kiekiui gali įrodyti ir LHMT atliekamų fenologinių stebėjimų duomenys. Jų duomenimis, 2008 m. paprastasis lazdynas anksčiausiai pradėjo žydėti vasario 8 d. Nidoje, tuo tarpu vasario 22 d. pražydo Panevėžyje, o Lazdijuose – tik kovo 8 d. Remiantis pateiktais duomenimis, galima teigti, kad užfiksuotos žiedadulkės yra susijusios su lazdyno pražydimo perėjimu per Lietuvą. Dėl alksnio genties augalų fenologinės informacijos trūkumo priskirti užfiksuotas žiedadulkės prie vietinės ar advekcinės kilmės žiedadulkių yra pakankamai sudėtinga.

Kovo–rugsėjo mėnesiais pastebimi nedideli skirtumai (iki 14 %) tarp atmosferos cirkuliacijos ir atgalinės oro masių trajektorijos krypties, sąlygojusios didesnę žiedadulkių kiekį aerobiologinėse stotelėse (3.17 pav.).

Nežymūs skirtumai tarp aerobiologinių stotelių egzistuoja. Pavyzdžiui, kovo mėnesį iš visų Vilnių pasiekusių oro masių daugiau nei 60 % slinko virš 1 ir 2 Europos regiono ir užfiksuota daugiau kaip 64 % 5 metų suminio žiedadulkių kiekio. Šiauliuose kovo mėnesį situacija panaši į Vilniaus, kai daugiau žiedadulkių užfiksuota oro masėms atslinkus iš 1 ir 2 Europos regiono (64 %). Kovą Klaipėdoje užfiksuotos didelės žiedadulkių koncentracijos yra sietinos su oro masėmis, kurios slinko virš skirtingų Europos regionų (35 % – virš 1 regiono, 24 % – virš 2 regiono ir 28 % – virš 3 regiono). Pagal skirstymą 2 ir 3 Europos regionai apima didžiąją Europos teritorijos dalį: centrinę, pietvakarinę ir pietrytinę. Oro masių poveikis žiedadulkių pagausėjimui ore Klaipėdoje gali būti siejamas su kai kurių žiedadulkių morfotipais. Pavyzdžiui, alksnio žiedadulkės išskiriamos kaip pagrindinės žiedadulkės, kovą sklendančios Klaipėdos atmosferoje. Pietinėse Europos dalyse alksnio žiedadulkės pradamos fiksuoti jau gruodžio mėnesį, o ypač didelės

žiedadulkių koncentracijos – sausio–vasario mėnesiais (Iglesias, 2003). Dėl atmosferos dinaminių reiškinių alksnio žiedadulkių gausėjimas Klaipėdoje yra tikėtinas. Oro masės, slinkdamos virš 3 Europos regiono, Klaipėdą pasiekia praslinkdamos virš Lietuvoje gausiausiai paplitusių juodalksnynų dalies. Taigi atgalinės oro masių trajektorijos, iliustruojančios oro masių slinktį ir nurodančios 3 Europos regiono kryptį, suteikia informacijos dėl šios genties augalų žiedadulkių variacijos Klaipėdoje.

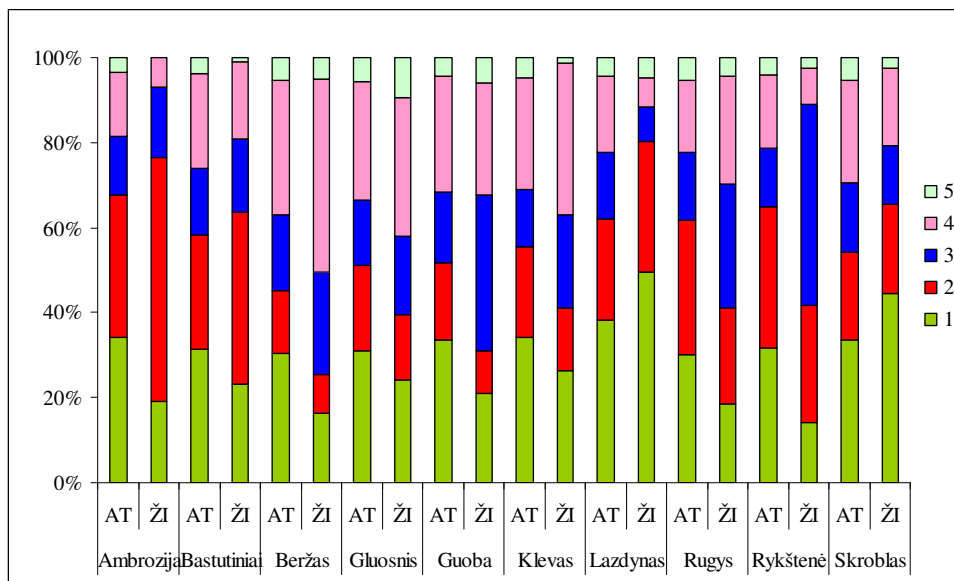
Sulyginus 3.17 paveiksle pateiktus duomenis pastebima, kad bendrai Lietuvoje šiek tiek išsiskiria balandis, kadangi didesnės žiedadulkių koncentracijos buvo sąlygotos oro masių, kurios slinko virš 4 Europos regiono. Kadangi šiuo laikotarpiu vis dar fiksuotos nemažos alksnio ir lazdyno žiedadulkių koncentracijos, tikėtina, kad dėl šiaurinių oro masių pernašos dalis žiedadulkių galėjo pasiekti aerobiologines stoteles.

Balandžio–gegužės mėnesiais fiksuojamos didelės beržo genties žiedadulkių koncentracijos. Balandį, kai oro masės atslenka iš 1, 2, 3, ir 4 Europos regionų, žiedadulkių indekso vertės yra didelės (daugiau kaip 20% bendro kiekio, priskirto prie 1–4 regionų). Tai rodo, kad neišsiskiria pastovi pernašos kryptis, kuri galėtų sąlygoti fiksuojamų žiedadulkių kiekio variacijas. Gegužį dideli žiedadulkių kiekiai susieti su oro masių pernaša iš 1 ir 4 Europos regionų (3.17 pav.).

Birželį daugiausia žiedadulkių fiksuojama (pušinių, miglinių, dilgėlinių), kai oro masės slenka virš 1 Europos regiono, tačiau taip pat užfiksuoti nemaži kiekiai, kai oro masės slenka virš 4 Europos regiono. Liepą–rugsėį, ore sklindant žolinių augalų žiedadulkėms (dilgėlinių, miglinių, kiečio), daugiau žiedadulkių fiksuojama, kai oro masės praslenka virš 1 ir 2 Europos regionų.

Be to, reikia įvertinti ir tai, kad oro masės, slenkančios virš 1 Europos regiono, pasiekia Vilniaus aerobiologinę stotelę, dalį laiko praleisdamos virš Lietuvos teritorijos. Taigi Vilniaus aerobiologinėje stotelėje išskirtinis žiedadulkių spektras (3.1 pav.) suformuotas ne tik iš aplink esančių augalų, jų sąžalynų, bet iš dalies žiedadulkių, kurios atkeliauja iš tolesnių Lietuvos teritorijos dalių.

Taigi susisteminti duomenys atskleidžia pagrindinius dėsningumus, tačiau išsamesnė analizė leidžia detalizuoti oro masių poveikį žiedadulkių sklaidai. Siekiant atlikti išsamesnę analizę, išskirti fiksuojamų žiedadulkių morfotipų žiedadulkių sezonai (nepriklausomai nuo žiedadulkių koncentracijos dydžio) ir atliktos sąsajos su oro masėmis, kurios pasiekė aerobiologines stoteles, slinkdamos virš skirtingų Europos regionų (3.18 pav.).



3.18 pav. Atgalinių oro masių trajektorijų ir žiedadulkių kiekio, nustatyto Vilniaus aerobiologinėje stotelėje, pasiskirstymas (%) žiedadulkių sezonu (2005–2009 m.): AT –atgalinės trajektorijos; ŽI –žiedadulkių indeksai (1–5 Europos regionai)

Situacijos analizei atlikti atrinkti žiedadulkių morfotipai, kurie išsiskyrė netipiniu žiedadulkių indeksų procentiniu pasiskirstymu, atsižvelgiant į oro masių slinkties kryptį, t. y. nepanašiu į žiedadulkių sezonu nustatytu atgalinių oro masių trajektorijų krypčių procentiniu pasiskirstymu. Visų nagrinėtų žiedadulkių morfotipų rezultatai pateikti 1–3 prieduose.

Vilniaus aerobiologinės stotelės žiedadulkių duomenis, sugretinus su oro masių atgalinių trajektorijų duomenimis, atskleista, kad atsižvelgiant į žiedadulkių morfotipus, sezono metu nustatomi skirtingi žiedadulkių kiekiai, oro masėms pasiekus stotelę slenkant virš įvairių Europos regionų (3.18 pav. ir

1 pried.). Daug žiedadulkių užfiksuojama tomis dienomis, kai atgalinės trajektorijos iliustruoja oro masių slinktį virš 2, 3 ir 4 Europos regionų.

Gautų rezultatų analizė rodo, kad ambrozijos ir bastutinių žiedadulkių sezonai (3.18 pav.) išsiskiria didesniais žiedadulkių kiekiais, kai oro masės aerobiologinę stotelę pasiekia slinkdamos virš Centrinės Europos (2 regionas). Reikėtų atkreipti dėmesį, kad ambrozijos genties augalai nėra plačiai paplitę Lietuvoje (Saar et al., 2000), lyginant su kitomis Europos šalimis, pvz., Prancūzija ar Vengrija (Bohren, 2009). Per 5 metus užfiksuota tik keletas atvejų, kada ambrozijos sezonas išsiskyrė didesnėmis žiedadulkių koncentracijomis (2008 m.). Tai vienas tolimosios oro masių pernašos pavyzdžių, kuris analizuojamas kitame darbo poskyryje.

Bastutinių šeimos augalų žiedadulkių sezonas taip pat neišsiskiria gausiais žiedadulkių kiekiais. Per pastaruosius 2 metus fiksuotos didesnės žiedadulkių koncentracijos (žiedadulkių indeksas mažesnis kaip 150). Pietvakarinėse Europos dalyse, iš kur atgalinių trajektorijų rezultatai iliustruoja oro masių slinkties kryptį, fiksuojami taip pat nedideli (žiedadulkių indeksas didesnis kaip 180) bastutinių šeimos augalų žiedadulkių kiekiai (Giner et al., 2002), todėl sąsajos su tolimąja oro masių pernaša yra mažai tikėtinos.

Guobos ir rykštenės genčių žiedadulkių sezonai išsiskiria tuo, kad didžiausios žiedadulkių koncentracijos užfiksuotos, kai oro masės Vilniaus aerobiologinę stotelę pasiekė slinkdamos virš 3 Europos regiono (3.18 pav.). Šių genčių augalų žiedadulkių sezonai Lietuvoje nepasižymi didelėmis žiedadulkių koncentracijomis. Guobos genties augalų žiedadulkių indeksas 2005-2009 m. buvo <182, o rykštenės – <186. Pietrytinėje Europoje, pvz., Kroatijoje, nustatomos labai nedidelės guobos ir rykštenės žiedadulkių koncentracijos (Stefanic et al., 2007), o Turkijoje (Izmiro mieste) guobos žiedadulkės sudaro apie 0,2 % bendro sumedėjusių augalų žiedadulkių kiekio atmosferoje (Guvensen, Ozturk, 2003). Nors guobos žiedadulkės yra nunešamos šiek tiek toliau nei liepos (Kabailienė, 1979), tačiau yra mažiau prisitaikiusios būti pernešamos didelius atstumus dėl dydžio (2.1 lent.) ir formos (Winkler et al., 2001) ypatumų. Rykštenės genties žiedadulkių

užfiksuojama labai nedaug per sezoną (maksimalus kiekis siekia >50 žiedad./m³, 3.11 pav.). Pagal savo formą žiedadulkės yra nedidelės (2.1 lent.) ir apvalios, todėl gali būti pernešamos iš aplinkinių teritorijų.

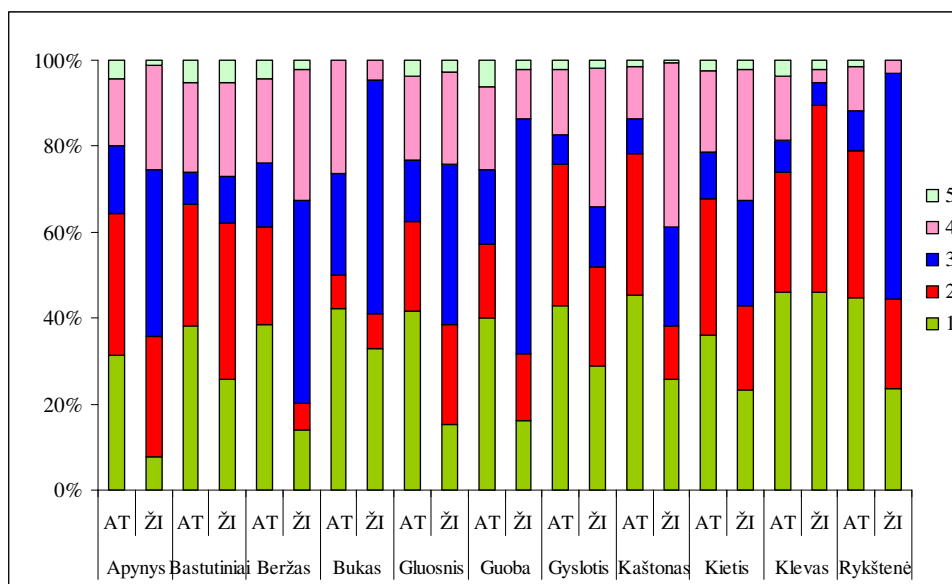
Beržo, gluosnio ir klevo genčių žiedadulkių sezonai Vilniaus aerobiologinėje stotelėje išsiskiria didelėmis koncentracijomis, kai oro masės pasiekia stotelę slinkdamos virš 4 Europos regiono (3.18 pav.). Labiausiai išsiskiria beržo genties augalų fiksuojami žiedadulkių kiekiai, kai oro masės pasiekia aerobiologinę stotelę iš 4 Europos regiono (45 % bendro žiedadulkių kiekio). Vilniuje fiksuojami šios genties augalų žiedadulkių kiekiai gali būti sąlygoti oro masių pernašos iš šiaurinių, šiaurės rytinių Lietuvos dalių. Tolimoji oro masių pernaša iš šiaurinių Europos dalių (vyraujant oro masių pernašai iš 4 Europos regiono) tikėtina tik žiedadulkių sezono pabaigoje. Taigi beržo genties augalų žiedadulkių dideli kiekiai ore gali būti suformuojami ne tik vietinių augalų, bet ir Šiaurės rytinėje Europoje (Siljamo et al., 2008b) ir Suomijoje (Yli-Panula et al., 2009) žydint beržo genties augalams. Tuo tarpu gluosnio genties žiedadulkės, lyginant su beržo, pernešamos mažesnius atstumus, tačiau, lyginant su kitų medžių ir krūmų žiedadulkių pernešimo nuotoliais, yra nunešamos pakankamai toli (Kabailienė, 1979). Kai kurios gluosnio genties rūšys yra plačiai paplitusios visoje Europoje, todėl atmosferoje vykstantys cirkuliaciniai procesai lemia žiedadulkių kiekių variacijas. Klevo genties augalų žiedadulkės neprisitaikiosios įveikti tolimus atstumus, todėl žiedadulkių kiekio kaita priklauso nuo vietinių augalų žydėjimo ypatumų.

Tuopos, buko, salierinių, astrinių, miglinių, kiparisinių, kaštono, viksvuolinių, alksnio, skroblo ir lazdyno žiedadulkių sezono metu Vilniaus aerobiologinėje stotelėje fiksuojami didesni žiedadulkių kiekiai, kai oro masės pasiekia stotelę slinkdamos virš 1 Europos regiono (3.18 pav. ir 1 pried., 31-50 % visų fiksuotų žiedadulkių per sezoną). Per Lietuvą eina paprastojo skroblo (*Carpinus betulus* L.) šiaurinė arealo riba (Vilnius į šį arealą nepatenka) (Navasaitis ir kt., 2003), todėl didelė tikimybė, kad fiksuojami šių anemofilinių augalų žiedadulkių kiekiai Vilniuje atnešami iš Lietuvoje esančio

skroblo arealo. Kitas panašus pavyzdys – lazdyno genties augalų žiedadulkių kiekio variacija. Paprastasis lazdynas – vienas labiausiai mūsų šalies miškuose paplitusių krūmų (Navasaitis ir kt., 2003), todėl tikėtina, kad Vilniuje fiksuojamos didelės lazdyno žiedadulkių koncentracijos taip pat gali būti sietinos su vietinių augalų žydėjimu.

Ažuolo, uosio, gysločio, rūgštytės, liepos žiedadulkių sezonų metu didesnės žiedadulkių koncentracijos yra nustatomos, kai oro masės Vilniaus aerobiologinę stotelę pasiekia slinkdamos virš 1 ir 2 Europos regionų, o kiečio, pušinių ir dilgėlinių – virš 2 Europos regiono (1 pried.). Kiečio genties ir dilgėlinių šeimos augalai paplitę Europoje, todėl didesni žiedadulkių kiekiai gali būti siejami su atmosferoje vykstančiais dinaminiais procesais ir oro masių pernaša iš Centrinės Europos.

Panašios tendencijos nustatytos ir Klaipėdos aerobiologinėje stotelėje (2 pried.), tačiau kai kuriais atvejais galima išskirti ir skirtingų, savitų broožų (3.19 pav.), kurie priklauso nuo Klaipėdos geografinės padėties ir atstumo nuo Baltijos jūros.



3.19 pav. Atgalinių oro masių trajektorijų ir žiedadulkių kiekio, nustatyto Klaipėdos aerobiologinėje stotelėje, pasiskirstymas (%) žiedadulkių sezonui (2005–2009 m.): AT –atgalinės trajektorijos; ŽI –žiedadulkių indeksai (1-5 Europos regionai)

Apynio genties augalai yra anemofiliniai (Small, 1978). Šių augalų žiedadulkės yra nedidelės (2.1 lent.), tačiau sezono metu nustatomos mažos žiedadulkių koncentracijos (3.11 pav.). Klaipėdoje šios genties žiedadulkių, skirtingai nei kitose aerobiologinėse stotelėse, užfiksuojama daugiau, kai atgalinės oro masių trajektorijos iliustruoja oro masių slinktį iš 2–4 Europos regiono (3.19 pav.), o tai parodo, kad žiedadulkių kiekio didėjimas siejamas su pernaša iš aplinkinių teritorijų.

Klaipėdoje, kaip ir Vilniuje, guobos ir rykštenės žiedadulkių didesni kiekiai fiksuojami, kai oro masės atslenka iš Pietrytinės Europos (3.18 ir 3.19 pav.), todėl jau šiame darbe aptarti dėsningumai tinkami ir Klaipėdoje fiksuotoms žiedadulkėms. Tuo tarpu buko genties augalų žiedadulkių daugiau nustatoma, kai oro masės aerobiologinę stotelę pasiekia iš 3 Europos regiono. Šios genties augalai nėra savaiminiai Lietuvoje (Navasaitis ir kt., 2003), jie labiau paplitę Centrinėje ir Rytinėje Europos dalyse (Belmonte et al., 2008). Be to, šios genties augalų žiedadulkės dažnai analizuojamos kaip galimi tolimosios pernašos atvejai Ispanijoje (Belmonte et al., 2008). Tikėtina, kad augalų žydėjimo metu, oro masėms slenkant iš 3 Europos regiono, Klaipėdos aerobiologinėje stotelėje gali padidėti buko žiedadulkių koncentracija.

Bastutinių žiedadulkių sezonai (3.19 pav.), kaip ir Vilniuje, išsiskiria didesniais žiedadulkių kiekiais, kai oro masės stoteles pasiekia slinkdamos virš 2 Europos regiono (Centrinė Europa). Tuo tarpu beržo ir gluosnio, skirtingai nei Vilniuje, – virš 3 Europos regiono. Oro masėms slenkant virš 3 Europos regiono, pastarosios pasiekia Klaipėdos aerobiologinę stotelę, ilgą laiką slinkdamos virš Lietuvos teritorijos (2.3 pav.). Taigi beržo ir gluosnio genties augalų didesnio žiedadulkių kiekio Klaipėdoje galima tikėtis, kai oro masės žiedadulkių sezono metu atslenka iš minėto regiono.

Klevo, salierinių, dilgėlinių, miglinių ir balandinių didesnės žiedadulkių koncentracijos Klaipėdos aerobiologinėje stotelėje nustatomos, kai oro masės pasiekia stotelę slinkdamos virš 1 ir 2 Europos regionų (3.19 pav. ir 2 pried.). Klevo genties augalai irgi daugiausia yra priskiriami prie vabzdžių apdulkinamų augalų, tačiau kai kurios rūšys išlaiko ir anemofilinių, ir

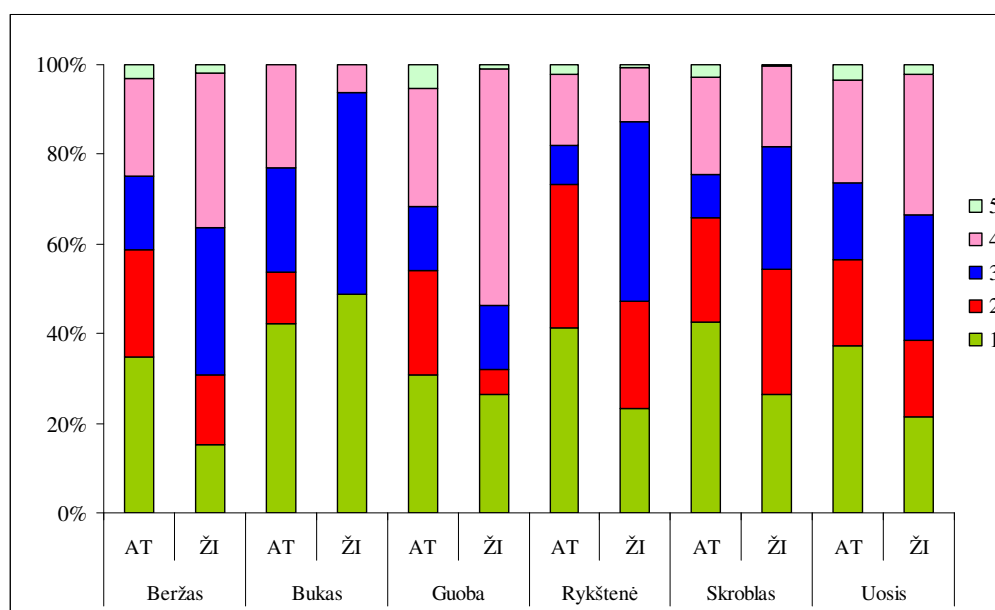
entomofilinių augalų bruožų (Lewis, 1986; Tal, 2006). Todėl vietinių augalų žydėjimo poveikis šių augalų žiedadulkių kiekiui ore yra akivaizdus. Kai kurie mokslininkai nurodo, kad žolinių augalų žiedadulkės, lyginant su anemofilinių sumedėjusių augalų žiedadulkėmis, yra ne tokios mobilios (Estrella et al., 2006), tačiau apie žolinių augalų žiedadulkių pernašas yra pateikiama nemažai įrodymų (pvz., miglinių šeimos ar ambrozijos genties) (Smith et al., 2005; Cecchi et al., 2007). Vis dėlto tikėtina, kad daugelis žiedadulkių, suformuojančių salierinių, dilgėlinių, miglinių ir balandinių žiedadulkių sezonus, yra susijusios su vietinių augalų žydėjimo dėsningumais.

Klaipėdoje ažuolo, lazdyno, rugio, liepos, alksnio, astrinių, kiparisinių ir pušinių žiedadulkių didesni kiekiai sietini su oro masių pernaša iš 1 Europos regiono (2 pried.) (41-69 % fiksuotų žiedadulkių per sezoną). Kai kuriais atvejais, pavyzdžiui, lazdyno, alksnio ar pušinių didesnių žiedadulkių kiekių galima tikėtis susiklosčius palankioms pernašai sąlygoms (t. y. dienomis be kritulių, oro masėms slenkant iš regionų, kurie pasižymi gausiais augalų sąžalynais). Šių anemofilinių augalų žiedadulkės yra prisitaikiusios įveikti didelius atstumus, todėl nedideli lazdyno žiedadulkių kiekiai išskirtiniais atvejais gali būti siejami su Britų salynu (Emberlin et al., 2007), Danija ar pietinėmis Skandinavijos dalimis. Baltalksnio augalų žiedadulkių pagausėjimo negalima sieti su minėtais regionais, kadangi pastarųjų paplitimo arealas nesiekia šių teritorijų (Navasaitis ir kt., 2003). Pušinių didesnės žiedadulkių koncentracijos gali būti nustatomos vyraujant pernašai iš pietinės Skandinavijos dalies, dėl šioms teritorijoms būdingų didelių žiedadulkių kiekių (El-Ghazali et al., 1993). Liepos genties atstovai – entomofiliniai augalai. O. Tal (2006) nurodo, kad vėjas irgi gali dalyvauti dulkėjimo procese. Vis dėlto šios genties augalų žiedadulkės nėra prisitaikiusios būti pernešamos dideliais atstumais, todėl aerobiologinėse stotelėse nustatomos žiedadulkių koncentracijos yra sietinos su vietinių augalų žydėjimo dėsningumais.

Rūgštyinės žiedadulkių sezono didesni žiedadulkių kiekiai nustatomi, kai oro masės pasiekia Klaipėdos aerobiologinę stotelę, slinkdamos virš 2 Europos regiono (36 % ir 38 % visų fiksuotų žiedadulkių per sezoną), kai tuo tarpu

skroblo – virš 3 Europos regiono (55–33 %) (2 pried.). Dalis nustatomų skroblo genties augalų žiedadulkių tikėtinos dėl žydinčių vietinių augalų, o kita dalis gali būti atnešamos. Paprastasis skroblas (anemofilas) – ypač paplitusi rūšis Ukrainoje (Navasaitis ir kt., 2003), todėl oro masių pernaša suformuoja didesnius fiksuojamus žiedadulkių kiekius, kai oro masės aerobiologinę stotelę pasiekia slinkdamos virš 3 Europos regiono. Kaštono, gysločio, viksvuolinių ir kiečio didesni žiedadulkių kiekiai fiksuojami, kai oro masės atslenka iš 4 Europos regiono (3.19 pav. ir 2 pried.). Tikėtina, kad šių augalų žiedadulkių sezonai susiję su vietinių augalų žydėjimo tendencijomis.

Panašūs žiedadulkių sklaidos dėsningumai nustatyti ir Šiauliuose (3.20 pav. ir 3 pried.). Beržo, uosio žiedadulkių sezonai išsiskiria didesnėmis žiedadulkių koncentracijomis, kurios nustatytos, kai atgalinės trajektorijos iliustravo oro masių slinktį iš 3 ir 4 Europos regionų (3.20 pav.). Gauti rezultatai atskleidė, kad šių genčių augalų žiedadulkių kiekio variacija panaši į Vilniaus ir Klaipėdos (3.18–3.19 pav. ir 1–2 pried.).



3.20 pav. Atgalinių oro masių trajektorijų ir žiedadulkių kiekio, nustatyto Šiaulių aerobiologinėje stotelėje, pasiskirstymas (%) žiedadulkių sezonu (2005–2009 m.): AT –atgalinės trajektorijos; ŽI –žiedadulkių indeksai (1-5 Europos regionai)

Buko genties augalų žiedadulkių kiekio variacijos ir atgalinės oro masių trajektorijos nurodomos krypties rezultatai sutampa su Klaipėdos rezultatais.

Rykštenės augalų žiedadulkių kiekio sąsajos su atgalinėmis trajektorijomis parodė, kad Šiauliuose dėsningumai tokie pat, kaip ir kitose Lietuvos teritorijose, t. y. didesnės žiedadulkių koncentracijos nustatomos, kai oro masės atslinko iš 3 Europos regiono (3.20 pav.). Guobos žiedadulkių sezonas išsiskiria didesnėmis žiedadulkių koncentracijomis, kai oro masės, pasiekusios aerobiologinę stotelę, slinko virš 4 Europos regiono (53 % visų fiksuotų žiedadulkių per sezoną).

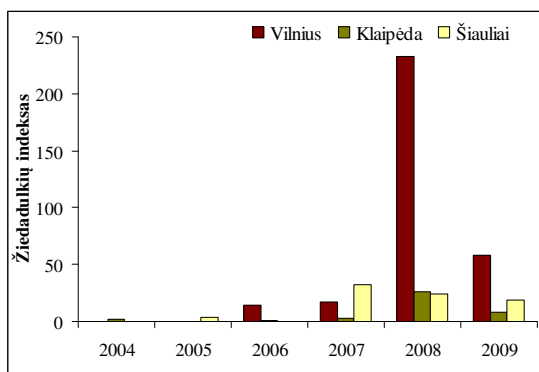
Skroblo genties augalų didesnės žiedadulkių koncentracijos fiksuotos, kai oro masės slinko virš 1–3 Europos regionų (3.20 pav.), o kiekio ir apynio – 1 ir 4 regionų (3 pried.). 34–52 % žiedadulkių per sezoną fiksuotų žiedadulkių koncentracijų nustatyta, kai oro masės aerobiologinę stotelę pasiekė slinkdamos virš 1 Europos regiono (>64 % visų stotelėje išskirtų žiedadulkių morfotipų). Taigi Šiauliuose žiedadulkių daugiausia užfiksuojama vyraujant vakarinei pernašai.

Apibendrinus gautus rezultatus galima teigti, kad Klaipėdoje ir Šiauliuose daugiau oro masių pasiekia iš 1 Europos regiono, o Vilnių – iš skirtingų Europos regionų. Nustačius žiedadulkių sklaidos dėsningumus ir atsižvelgiant į atgalinių oro masių trajektorijų rezultatus, matyti, kad žiedadulkių kiekio variacija atmosferoje priklauso nuo oro masių pernašos iš tam tikrų Europos regionų. Taigi bendra nustatyta sausio–rugsėjo mėnesiais vyraujanti oro masių pernaša (pvz., 1 Europos regionas), iš dalies susiejama su žiedadulkių koncentracijos kaita aerobiologinėse stotelėse žiedadulkių sezono metu. Tačiau dalies aerobiologinėse stotelėse fiksuojamų žiedadulkių dideli kiekiai gali būti siejami su oro masėmis atslinkusiomis iš skirtingų Europos regionų. Vis dėlto žiedadulkių kiekiui poveikį turi oro masių slinktis virš tam tikrų teritorijų, kuriuose gausu tiriamų augalų sąžalynų, todėl tiek vietinės kilmės, tiek ir advekcinės kilmės žiedadulkės sudaro dalį Lietuvos bioaerolio augalų vegetacijos metu.

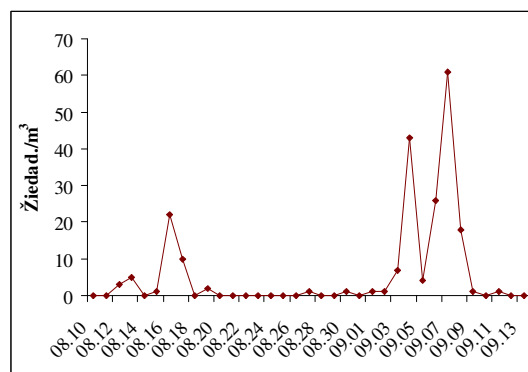
3.3.2 Tolimosios pernašos įtaka žiedadulkių koncentracijai Lietuvoje

Tolimosios pernašos įtaka žiedadulkių sezonams arba žiedadulkių koncentracijoms yra viena plačiausiai apžvelgiamų problemų (Sofiev et al., 2006a; Cecchi et al., 2007; Ranta et al., 2006; Siljamo et al., 2007; Skjøth et al., 2007; Belmonte et al., 2008; Smith et al., 2008; Skjøth et al., 2009c), susijusių ne tik su žiedadulkių pagausėjimu atmosferoje, bet ir su galimais alergijos protrūkiais. Siekiant įvertinti žiedadulkių tolimąją pernašą, reikalingi žiedadulkių ir fenologiniai (augalų žydėjimo) duomenys. Remiantis fenologine informacija, galima išskirti tolimosios pernašos suformuotus žiedadulkių kiekius, atsižvelgiant į vietinių augalų žydėjimo dėsninumus. Tokiais atvejais, kada gaudyklėse yra fiksuojamos tai šaliai netipiškos žiedadulkės, tai galima traktuoti, kad pastarosios buvo atneštos iš kitų regionų, kur šio žiedadulkių tipo augalai yra gausiai paplitę. Tokiu būdu buvo atrinkti du žiedadulkių morfotipai, t. y. ambrozijos ir beržo, tinkantys iliustruoti tolimosios pernašos mechanizmą Lietuvoje.

Pirmiausia, įvertinus ambrozijos žiedadulkių sklaidą, reikėtų akcentuoti, kad šios genties augalai Lietuvoje iš dalies gali būti traktuojami kaip invaziniai ir tyrinėjami jau nuo 1987 m., tačiau retai aptinkamos didelės šios genties augalų populiacijos (Saar et al., 2000). Ambrozijos genties augalai labiausiai paplitę ir subręsta dulkėjimui Pietų, Centrinės Europos šalyse. Yra žinoma, kad karštą ir saulėtą vasarą bei rudenį ambrozijos augalai gali pasiekti dulkėjimo stadiją ir Šiaurinėse Europos dalyse (Dahl et al., 1999; Saar et al., 2000). Tačiau tai nėra dažnas reiškinys. Europoje ambrozija – vienas pavojingiausių alergiją sukeliančių žiedadulkių tipų (D'Amato et al., 2007a). Nuo 2004 m., pradėjus rinkti sistemingą aerobiologinę informaciją, Lietuvoje pradėdama fiksuoti ambrozijos žiedadulkių (3.21 pav.). Gauti rezultatai rodo, kad ambrozijos žiedadulkių koncentracija ore varijuoja. Dėl šios genties augalų paplitimo įvertinimo ir fenologinių duomenų stygiaus labai sudėtinga palyginti žiedadulkių sklaidą su vietinių augalų žydėjimo tendencijomis. Palyginus gautus rezultatus matyti, kad Lietuvoje ambrozijos fiksuojami žiedadulkių kiekiai nuo 2007 m. pradėjo didėti (3.21 pav.).



3.21 pav. Kasmetiniai ambrozijos žiedadulkių indeksai aerobiologinėse stotelėse (2004-2009 m.)



3.22 pav. Ambrozijos žiedadulkių koncentracija Vilniaus aerobiologinėje stotelėje 2008 m.

Vertinant ambrozijos žiedadulkių kiekius per parą, pastebėta, kad Lietuvoje šių žiedadulkių koncentracijos nėra labai didelės, t. y. tik kai kuriais atvejais viršija 20 žiedad./m³. Vis dėlto šis žiedadulkių morfotipas yra išskirtinis, ambrozijos žiedadulkių sklaidos analizė yra būtina. Svarbą sustiprina mokslininkų nustatyti dėsniumai, kad net ir kelios aukšto alergiškumo ambrozijos žiedadulkės gali sukelti jautrumą kiečio žiedadulkėms (Dahl et al. 1999; Asero et al. 2006; D’Amato et al., 2007a). Kiečio genties augalų žiedadulkės Lietuvoje – dažnas reiškinys. Vidutiniškai per metus kiečio žiedadulkių indeksas siekia iki 2 000 ir daugiau, priklausomai nuo aerobiologinės stotelės. Todėl kyla grėsmė ne tik dėl ambrozijos žiedadulkių alergiškumo, bet ir dėl kryžminės reakcijos su kiečio žiedadulkėmis.

Iš 3.21 paveiksle pateiktų duomenų matyti, kad 2008 m. išsiskiria didžiausia ambrozijos žiedadulkių koncentracija. Įvertinus laikotarpį, kada buvo fiksuotos ambrozijos žiedadulkės, nustatyta, kad atskiromis dienomis buvo sugauti ypač dideli žiedadulkių kiekiai. 3.22 paveikslas iliustruoja, kad maksimali 61 žiedad./m³ koncentracija buvo nustatyta rugsėjo 7 d. ir tai sudarė net 27 % viso laikotarpio žiedadulkių kiekio. Tokios ir dar didesnės ambrozijos žiedadulkių koncentracijos rugpjūčio–rugsėjo mėnesiais yra būdingos Centrinės Europos šalims, ypač Vengrijai (Peeters, 2000; Makra et al., 2005; Peternel et al., 2006), todėl gali būti, kad didelius žiedadulkių kiekius 2008 m.

suformavo tolimoji pernaša. Kadangi tikėtina ir sudaryta prielaida, kad Lietuvoje augančių ambrozijos augalų dulkėjimas nustatyto žiedadulkių kiekio (3.22 pav.) suformuoti negalėjo, todėl visiems šiems atvejams analizuota žiedadulkių tolimosios pernašos galimybė. Be to, įvertinta situacija ir atsižvelgiant į 2 valandų žiedadulkių duomenis.

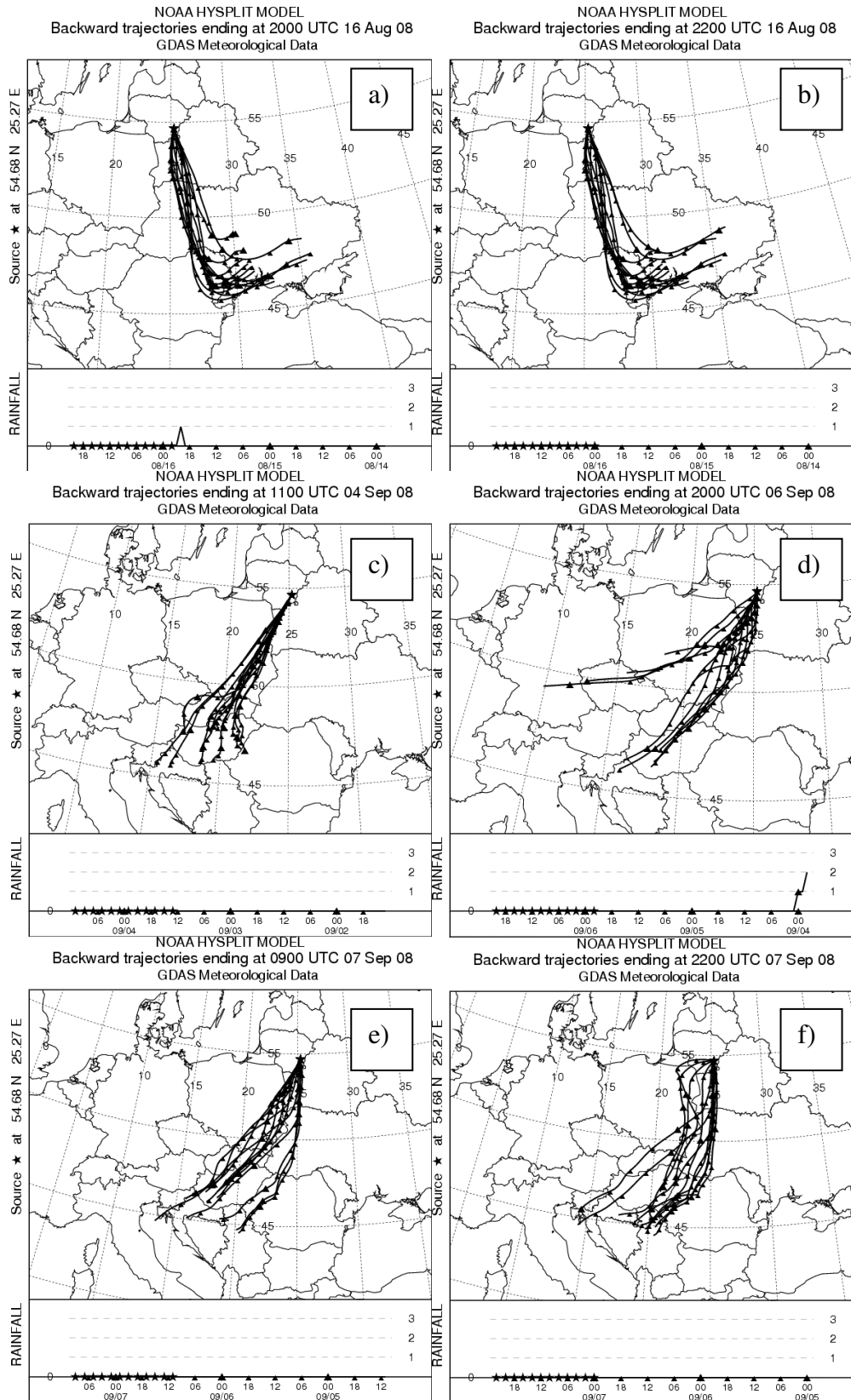
Pasinaudojus HYSPLIT 4 modeliu, nubraižytos atgalinės oro masių trajektorijos, kurios parodė, kad dienomis, kai žiedadulkių kiekis ore viršijo 3 % metų suminio kiekio, oro masės atslinko iš Centrinės ir Pietų Europos (3.23 pav.). Taigi galima teigti, kad žiedadulkės buvo atneštos, kadangi ši teritorija pasižymi gausiais ambrozijos sąžalynais, keliančiais nerimą visai Europai (Mosyakin, Yavorska, 2002; Apatini et al., 2008; Pyšek et al., 2009).

Atlikta oro masių tolimosios pernašos analizė rodo, kad oro masių kelyje nebuvo kritulių, todėl atneštos žiedadulkės iš Centrinės Europos galėjo būti užfiksuotos Vilniaus aerobiologinėje stotelėje (3.22 ir 3.23 pav.).

Vertinant 2 valandų aerobiologinius duomenis, pastebėta, kad žiedadulkių pliūpsniai buvo nepastovūs, o fiksuoti tik tam tikromis valandomis. Kadangi žiedadulkės gaudyklėje fiksuotos nepastoviai, o su pertrūkiais, tai sustiprina žiedadulkių advekcinės (nevietinės) kilmės įrodymą. Panašius tyrimus atlikę M. Smith ir kt. (2008) nustatė, kad 2005 m. Lenkijoje fiksuotos ambrozijos žiedadulkės gali būti kildinamos iš Centrinės Europos.

Vertinant oro masių įtaką Lietuvos ambrozijos žiedadulkių sklaidai, galima daryti prielaidą, kad iš aptariamų regionų, kuriose gausu ambrozijos žiedadulkių šaltinių, rugpjūčio–rugsėjo mėnesiais atslenkančios oro masės turėtų sąlygoti šios genties augalų žiedadulkių ore daugėjimą. Vis dėlto aerobiologiniai duomenys nurodo, kad ne visais metais buvo sugauta tiek daug ambrozijos žiedadulkių (3.21 pav.).

Susidariusiai situacijai vertinti buvo sumodeliuotos viso tiriamojo laikotarpio (2004–2009 m.) atgalinės oro masių trajektorijos (3.5 lent.), kurios nurodo oro masių slinkties kryptį.



3.23 pav. Atgalinės oro masių trajektorijos (500 m aukštyje), pasiekusios Vilniaus aerobiologinę stotelę (2008 m.): a) rugpjūčio 16 d.; b) rugpjūčio 17 d.; c) rugsėjo 4 d.; d) rugsėjo 6 d.; e) rugsėjo 7 d., f) rugsėjo 8 d.

Atlikti tyrimai parodė, kad daugiau nei pusę tiriamojo laikotarpio dominavo oro masės, kurios aerobiologines stoteles pasiekė slinkdamos virš 1 Europos regiono, t. y. susiformavusios Šiaurės Atlante ties Islandija (3.5 lent.). Šioje teritorijoje aptinkamos ambrozijos augalų žiedadulkės paprastai mokslininkų minimos kaip epizodai, susiję su tolimąja pernaša (Skjøth et al., 2009a). Todėl šis regionas neturėtų būti potencialus ambrozijos žiedadulkių šaltinis. Beveik ketvirtadalis tiriamojo laikotarpio atslinkusių oro masių pagal atgalines trajektorijas buvo priskirtos 2 Europos regionui, kur nustatytos didelės ambrozijos augalų populiacijos.

3.5 lentelė. Dominuojančios atgalinių trajektorijų kryptys aerobiologinių stotelių atžvilgiu (2004-2009 m.) (1–5 Europos regionai; 2.3 pav.)

Aerobiologinė stotelė	Metai	Laikotarpiai			
		Rugpjūčio 10–20 d.	Rugpjūčio 20–31 d.	Rugsėjo 1–10 d.	Rugsėjo 10–20 d.
Vilnius	2005	1	3	1	1
	2006	3	2	1	1
	2007	3	1	1	1/2
	2008	2	2	2	4
	2009	1	1	2/3	3/4
Klaipėda	2004	1/4	2	1	2
	2005	1	1	1	1
	2006	2	1	1	2
	2007	1	1	1	1
	2008	2	1	2	4
	2009	1	1	2	1
Šiauliai	2004	4	2	1	2
	2005	1	1	1	1
	2006	4	4	1	2
	2007	1	1	1	1
	2008	2	1	2	4
	2009	1	1	2	1

Prancūzijos, Čekijos, Vengrijos ir kitų šio Europos regiono šalių mokslininkai nuolat tiria didėjančius ambrozijos žiedadulkių kiekius (Peeters, 2000; Makra et al., 2005; Peternel et al., 2006; Déchamp et al., 2009). Šios teritorijos ir yra potencialus Lietuvoje fiksuotų žiedadulkių šaltinis. Šią prielaidą sustiprina ir tai, kad ambrozijos žiedadulkės aerobiologinėse gaudyklėse Lietuvoje fiksuotos esant oro masių pernašai iš 2 Europos regiono. Tokia pat situacija buvo nustatyta ir 2008 m., tačiau ypatingu ambrozijos

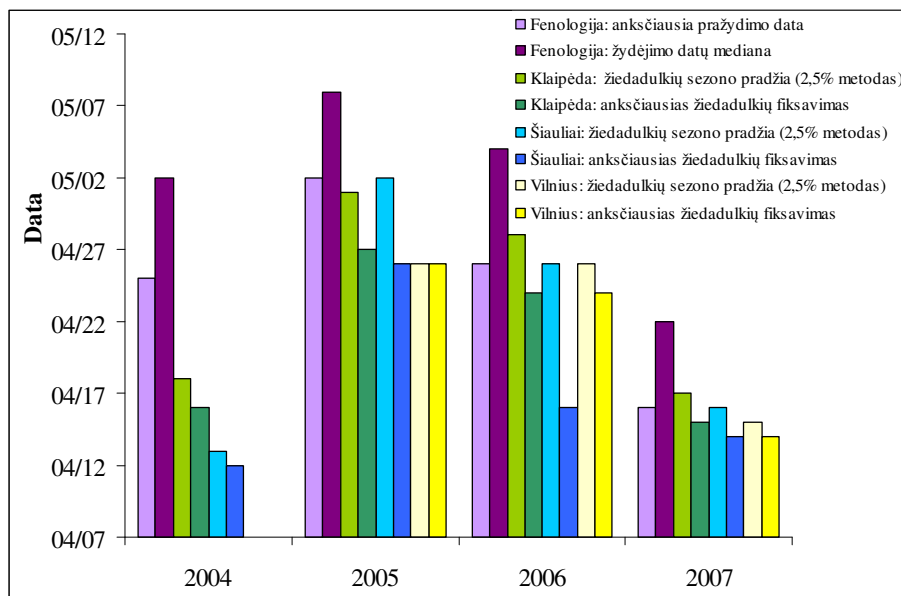
žiedadulkių gausumu išsiskyrė mėginiai, kuriuose užfiksuotos ambrozijos žiedadulkės Vilniaus aerobiologinėje stotelėje (3.21 pav.). Sudėtinga tiksliai įvertinti, kodėl didesnės žiedadulkių koncentracijos nustatomos Vilniuje, o ne Klaipėdoje ar Šiauliuose. M. Saar ir kt. (2000) nurodo, kad 1996 m. Vilniaus apylinkėse aptikta grupė kietinės ambrozijos (*Ambrosia artemisiifolia* L.) augalų (apie 100 augalų), kurie buvo padengę apie 100 m². Autoriai teigia, kad 1993–1997 m. atlikti tyrimai nerodė ambrozijos populiacijos pokyčių Lietuvoje: grupės ambrozijos augalų aptiktos Vievyje (1987 m.), Radviliškyje (1989 m.), Kaune (1989 m. ir 1990 m.), Šeduvoje (1991 m.) ir Mickūnuose (1988 m. ir 1989 m.) (Saar et al., 2000). Akivaizdu, kad ambrozijos augalų buvo aptikta ne tik Vilniaus apylinkėse, bet ir netoli Šiaulių.

Remiantis išsamiais atmosferos paribio sluoksnio storio skaičiavimais ir analize, galima paaiškinti dėl netolygaus ambrozijos žiedadulkių fiksavimo susidariusią situaciją, kai vyrauja oro masės, atslinkusios iš teritorijos, kurioje gausu ambrozijos genties augalų augaviečių. M. Smith ir kt. (2008) iniciatyva buvo atlikti tokio tipo tyrimai ir nustatyta, kad gilus atmosferos paribio sluoksnis Slovakijoje ir Vengrijoje gali lemti ambrozijos žiedadulkių tolimąją pernašą į kaimynines Lenkijos šalis, tokias kaip Vokietija, Danija ir Baltijos šalys. Šių augalų žiedadulkių tolimoji pernaša į Lietuvą galima ir su oro masėmis, kurios slenka iš 3 Europos regiono, apimančio Rumuniją, Bulgariją, Makedoniją, Serbiją. Šių šalių mokslininkai taip pat pateikia įrodymų apie ambrozijos paplitimą ir gausius žiedadulkių kiekius (Šikoparija et al., 2009; Ianovici, 2008). Atgalinių oro masių trajektorijų rezultatai iliustruoja, kad į Lietuvą oro masės iš šio regiono pasiekia retai – vos 7 % per tiriamąjį laikotarpį. Vis dėlto yra tikimybė, kad atmosferoje gali pagausėti ambrozijos žiedadulkių, jei per augalų žydėjimo laikotarpį ilgesnį laiką išsilaiko oro masių pernaša iš šio regiono.

Beržo genties augalų žiedadulkių fiksavimas prieš vietinių augalų žydėjimą – kitas tolimosios pernašos pavyzdys. Karpotasis beržas – plačiai paplitusi beržo genties rūšis ne tik Lietuvoje, bet ir Europoje, išskyrus Pirėnų

pusiasalį ir pietinę Balkanų pusiasalio dalį (Navasaitis ir kt., 2003). Pirmiausia, vertinant tolimosios pernašą, išskirtos pagrindinės datos (3.24 pav.).

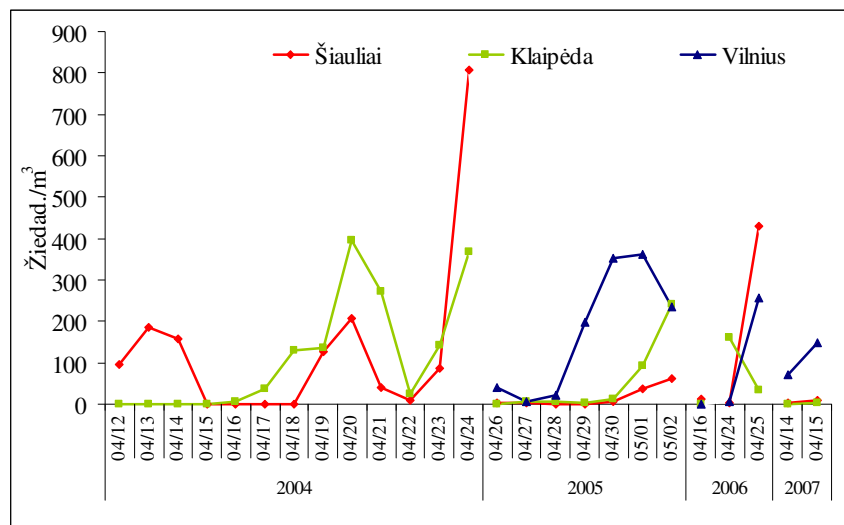
Remiantis LHMT suteikta fenologine informacija, nustatytas karpotojo beržo pražydimas Lietuvoje. Kiekvienais metais analizei išrinktos anksčiausiai Lietuvoje užfiksuotos pražydimo datos, kurios reprezentuoja beržo žydėjimo pradžią Lietuvoje. Pastarosios iliustruojamos 3.24 paveiksle kategorija „anksčiausia pražydimo data“. Apskaičiuota kiekvienų metų žydėjimo datų mediana, kuri nurodo vidurinę datų reikšmę. Išskirtos anksčiausiai fiksuojamų, ne „pavienių“ žiedadulkių datos („anksčiausias žiedadulkių fiksavimas“) ir nustatyti beržo žiedadulkių sezonai taikant plačiai Europoje naudojamą 2,5 % kriterijų (Goldberg et al., 1988). P. Siljamo ir kt. (2008a) nurodo, kad 3-4 dienos (erdvinis mastelis – 1 km) yra kraštutinės beržo žydėjimo pradžios datos Lietuvoje. Tai atitinka laiko skirtumą tarp anksčiausiai nustatomos pražydimo datos ir žydėjimo datų medianos. Toks aerobiologinių duomenų vėlavimas atitinka skirtumą tarp anksčiausiai fiksuojamų žiedadulkių ir žiedadulkių sezono pradžios datų. Todėl akivaizdu, kad lyginamąją analizę reikia atlikti tarp anksčiausiai nustatytos pražydimo datos ir anksčiausiai užfiksuotos žiedadulkių datos bei žydėjimo datų medianos ir žiedadulkių sezono pradžios datos.



3.24 pav. Beržo žiedadulkių sezono pradžia aerobiologinėse stotelėse ir karpotojo beržo pražydimas Lietuvoje (2004–2007 m.)

Taigi išskirtos dienos, kurios analizuojamos kaip tolimosios pernašos atvejai, kai aerobiologinės datos buvo ankstesnės už fenologines. 3.24 paveikslas parodo, kad anksčiausiai fiksuojamų žiedadulkių koncentracijos nustatomos prieš anksčiausią fenologinę pražydimo datą, tačiau didžiausi skirtumai nustatyti 2004 m. Atrinkti 24 atvejai, kada galima traktuoti, kad 2004–2007 m. beržo genties augalų žiedadulkės Lietuvoje buvo fiksuotos dėl tolimosios pernašos (3.25 pav.). Visi šie atvejai analizuoti panaudojant 3 skirtingus modelius.

Remiantis 2004 m. veikusių aerobiologinių stotelių duomenimis, nustatyta, kad didelės beržo žiedadulkių koncentracijos fiksuojamos dar prieš vietinių augalų žydėjimą (3.25 pav.). Žiedadulkių indeksas tomis dienomis siekė 1723 Šiaulių aerobiologinėje stotelėje ir 1513 – Klaipėdos aerobiologinėje stotelėje. Palyginus 2004 m. su kitais metais, matyti, kad šie metai išsiskiria ilgu tolimosios pernašos laikotarpiu, trukusiu net 2 savaites (3.24–3.25 pav.).

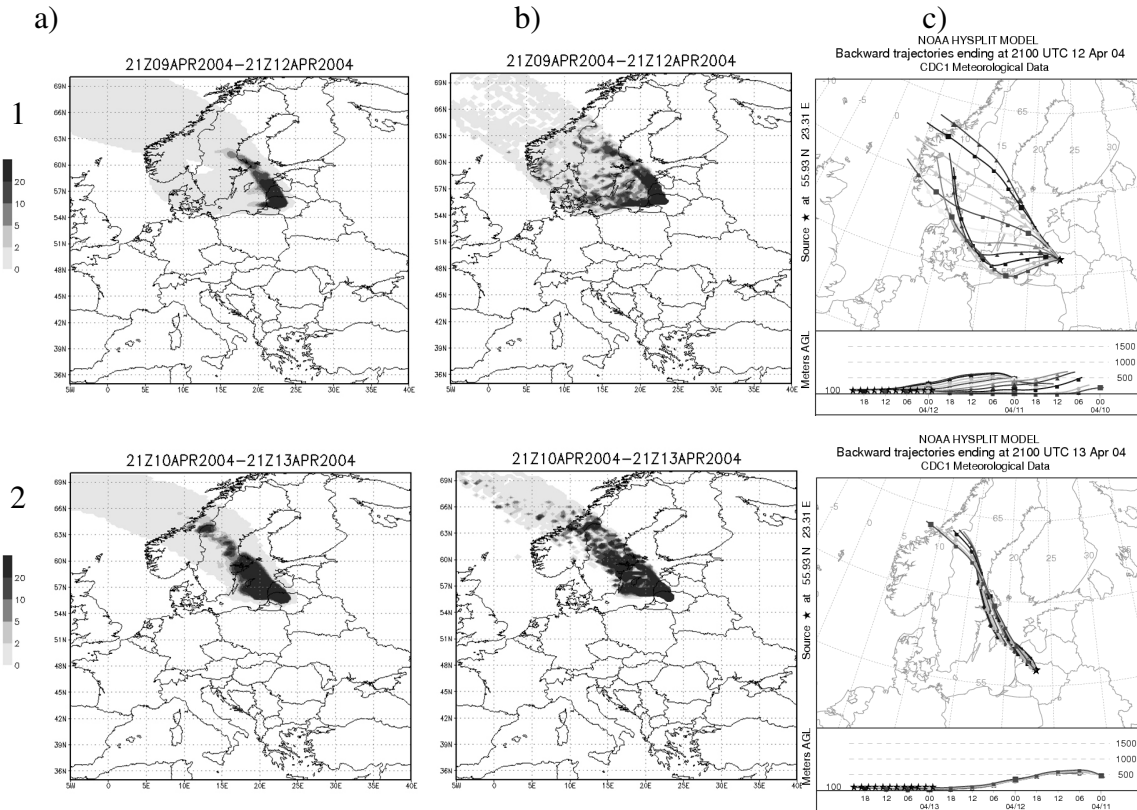


3.25 pav. Žiedadulkių koncentracijos, nustatytos tarp aerobiologinėse stotelėse, anksčiausiai užfiksuotos žiedadulkių datos ir anksčiausios beržo pražydimo datos Lietuvoje (2004–2007 m.)

Tolimosios pernašos mechanizmui Lietuvoje įvertinti pasirinktos tų metų pačios reprezentatyviausios dienos, t. y. balandžio 12, 13, 20 ir 24 d. – Šiaulių

aerobiologinėje stotelėje ir balandžio 20, 21 d. – Klaipėdos aerobiologinėje stotelėje.

Trijų skirtingų modelių rezultatai pateikti 3.26 paveiksle.

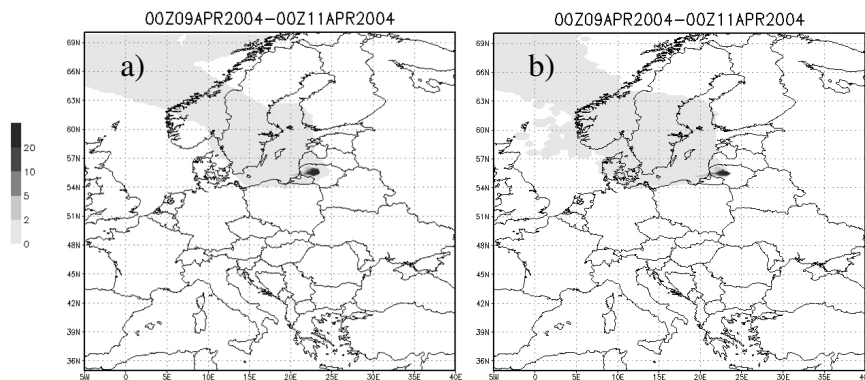


3.26 pav. Beržo žiedadulkių pėdsakai ir oro masės, atslinkusios į Šiaulių aerobiologinę stotelę: 1-2004-04-12; 2-2004-04-13. a) SILAM Eulerio versija, b) SILAM Lagranžo versija, c) HYSPLIT atgalinės oro masių trajektorijos

Abi SILAM versijos (Eulerio ir Lagranžo) parodė šiaurės vakarų pernašos kryptį, kai oro masės slinko per Švediją ir Norvegiją (aerobiologinės stotelės 3.26 pav. 1–2, a–b). 2004 m. balandžio 12 d. pastebima ir mažesnė sumodeliuota atšaka, kuri nurodo galimą žiedadulkių pernašą iš pietinės Švedijos ir Danijos. Kitą dieną – balandžio 13 d. – oro srautas nukreiptas labiau šiaurine kryptimi (t. y. slinko per Centrinę Švediją, Norvegiją ir Vakarų Latviją), todėl nebelieka pernašos iš Danijos (aerobiologinės stotelės 3.26 pav. 2a–b). Nepriklausomai nuo to, kad Vokietijos ir Lenkijos pajūrio teritorijos nepateko į sumodeliuotas ribas, tačiau lieka nedidelė tikimybė, kad priklausomai nuo vėjo krypties, šios teritorijos gali būti susijusios su tolimąja

beržo žiedadulkių pernaša į Lietuvą. HYSPLIT rezultatai atskleidė, kad abi dienas fiksuotos beržo genties žiedadulkių koncentracijos galėjo atkelti kartu su oro masėmis iš Vakarinės Latvijos, Centrinės Švedijos ir Norvegijos (3.26 pav. 1c ir 2c). Balandžio 12 d. žiedadulkių šaltiniu galėtų būti Pietinė Švedija. Vis dėlto balandžio pradžia – ankstyvas laikotarpis beržo pražydinimui minėtose teritorijose, išskyrus Pietų Švediją ar Daniją (Jäger, 2004b).

Analizuojant galimus šaltinius, nustatyta, kad ir SILAM modeliu iliustruojami galimi šaltiniai yra pakankamai painūs. Pietų Stokholmo (Švedija) aerobiologinės stebėsenos duomenimis, tomis dienomis ir dar keletą dienų po to beržo genties žiedadulkių nebuvo fiksuota. Modelių pagalba nurodomos pernašos iš labiau pietinių teritorijų nei Stokholmas, tačiau prieinamos informacijos apie žiedadulkių kiekius tose teritorijose nėra. Taip pat labai nedideli kiekiai užfiksuoti Klaipėdoje ir Danijoje (abi šios teritorijos pavasarį veikiamos Baltijos jūros atšalimo efekto). Vienintelė palyginama žiedadulkių koncentracija buvo užfiksuota Berlyne, tačiau ši teritorija yra toli nuo sumodeliuotų rezultatų. Tikimybė, kad užfiksuoti kiekiai yra suformuoti vietinių augalų žydėjimo, yra mažai tikėtina, kadangi po žiedadulkių koncentracijų piko Šiauliuose visose stotyse keletą dienų žiedadulkių koncentracijos buvo labai nedidelės. Tokios koncentracijų kaitos būdingesnės tolimosios pernašos atvejams. Siekiant išsiaiškinti komplikuoatą situaciją SILAM modeliu buvo sumodeliuota balandžio 11 d., kai žiedadulkių nefiksuota nei vienoje aerobiologinių stotelių Lietuvoje.

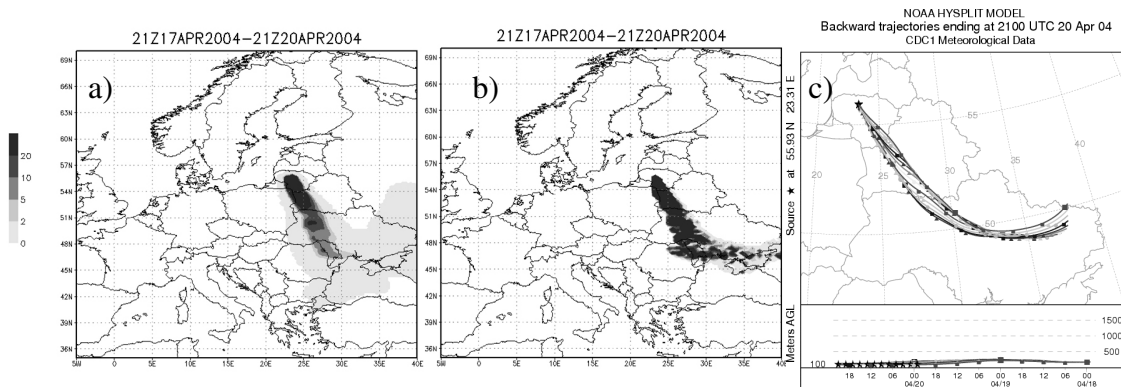


3.27 pav. Beržo žiedadulkių pėdsakai balandžio 11 d. Šiaulių aerobiologinės stotelės atveju: a) SILAM Eulerio versija, b) SILAM Lagranžo versija

Iš 3.27 paveikslo duomenų matyti, kad modeliuojama beržo žiedadulkių teritorija buvo labai plati, tačiau pateikta ta pati kryptis, kaip ir balandžio 12 d. modeliavimo rezultatuose. Jei šaltinis būtų Švedijoje, pirmoji beržo pražydimo data turėtų būti balandžio 10 d. Tada balandžio 12 d. beržo žiedadulkės galėtų pasiekti Šiaulius ir lemtų abiejų dienų epizodus. Meteorologinių parametru analizė pateikia išsamesnių paaiškinimų. Balandžio 10–11 d., kaip tik prieš pirmąsias žiedadulkių koncentracijas Šiauliuose, buvo susidariusi frontų sistema. Po tos dienos aukšto slėgio sritis išplito virš Pietų Suomijos (balandžio 12 d.), buvo pernešama Baltijos jūros link (balandžio 13 d.) ir balandžio 14 d. įsivyravo virš Kaliningrado regiono. Paros oro temperatūra pakilo ir inicijavo staigią beržo genties augalų pražydimo pradžią. Prieš tai buvęs šaltas frontas ir krituliai vėlino pražydimą. Taigi hipotezė apie žydėjimo pradžią Pietinėje Švedijoje po fronto perėjimo atrodo labiausiai tikėtina. Remiantis Latvijos aerobiologiniais duomenimis, iki balandžio 18 d. Latvijoje nebuvo fiksuojama beržo žiedadulkių. Nuo tos dienos fiksuojamos didelės žiedadulkių koncentracijos iki pat balandžio pabaigos. Vadinasi, galima daryti prielaidą, kad čia žydėjimas prasidėjo dviem savaitėmis vėliau nei analizuojami atvejai Šiauliuose.

Įvertinus visus galimus atvejus, lieka vienintelis šaltinis – Pietų Švedija. Be to, 2 valandų aerobiologiniai duomenys gali būti kaip rodiklis Klaipėdos ir Šiaulių žiedadulkių kiekio kitimui. Pastarieji rodo, kad Klaipėdoje koncentracijos buvo labai mažos (keletas žiedad./m³), tačiau pirmosios žiedadulkės buvo fiksuotos 4–6 val. ryte, o tai įrodo, kad vietiniams augalams per daug ankstyvas metas dulkėjimo procesams. Taigi šie žiedadulkių kiekiai turėtų būti paleisti pavėjui prieš tai buvusią dieną ir indikuoja tolimosios pernašos galimybę. 2 val. duomenimis žiedadulkių kiekiai pasiekia iki 150 žiedadulkių, o pirmieji didesni kiekiai pradedami fiksuoti nuo 10 val. Tai rodo dvi galimybes: pirmoji, kad egzistuoja vietinis žiedadulkių šaltinis; antroji, kad yra labai masyvus, toli nutolęs dieną prieš tai jau žydintis šaltinis.

Kiti tolimosios pernašos epizodai išskirti balandžio 18–21 d., kai beveik sinchroniškai abeiose stotelėse žiedadulkių kiekis pasiekė $200 \text{ žiedad.}/\text{m}^3$ (3.28 pav.).



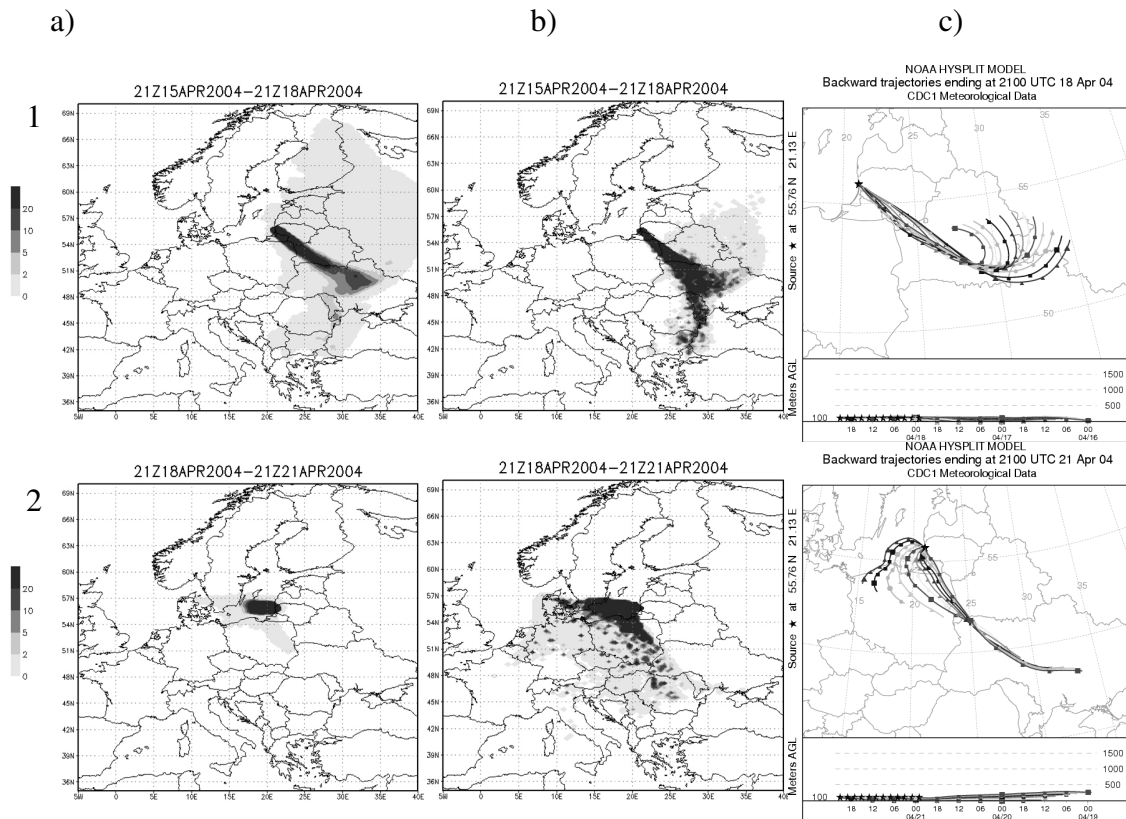
3.28 pav. Beržo žiedadulkių pėdsakai ir oro masės, atslinkusios į Šiaulių aerobiologinę stotelę 2004-04-20. a) SILAM Eulerio versija, b) SILAM Lagranžo versija, c) HYSPLIT atgalinės oro masių trajektorijos

Balandžio 20 d. modeliavimo rezultatai atskleidė, kad iš pietryčių oro masės pasiekė Šiaulių aerobiologinę stotelę. Nuspėjamas beržo genties žiedadulkių šaltinis yra lokalizuotas Vakarų Baltarusijoje, vakarinėse ir pietrytinėse Ukrainos ir Moldavijos dalyse. Žiedadulkių kiekiai Klaipėdos aerobiologinėje stotelėje padidėjo jau balandžio 18 d., kai didelės žiedadulkių koncentracijos kildinamos iš Centrinės ir Rytų Europos. Kitas beržo žiedadulkių pagausėjimas buvo užfiksuotas balandžio 21 d., kai žiedadulkės galėjo atskristi iš Danijos, Vokietijos, Lenkijos, Baltarusijos, Ukrainos ir Moldavijos (3.29 pav.).

Šiuo laikotarpiu virš Rusijos buvo susidariusi aukšto slėgio sritis, o gili žemo slėgio sritis – tarp Islandijos ir Škotijos. Tai lėmė ganėtinai stiprius ir stabilius pietų krypties vėjus Lietuvoje. Šiam atvejui HYSPLIT sumodeliuotos atgalinės oro masių trajektorijos nurodo tokius pat galimus žiedadulkių šaltinius, kaip ir abi SILAM versijos (3.28–3.29 pav.).

Įdomus analizuojamų atvejų sutapimas susijęs su Latvijos žiedadulkių koncentracijos išaugimu 2004 m. To paties laikotarpio žiedadulkių duomenys

rodo, kad vienodo atstumo šaltiniai gali būti atsakingi už padidėjusias žiedadulkių koncentracijas tiek Lietuvoje, tiek Latvijoje.

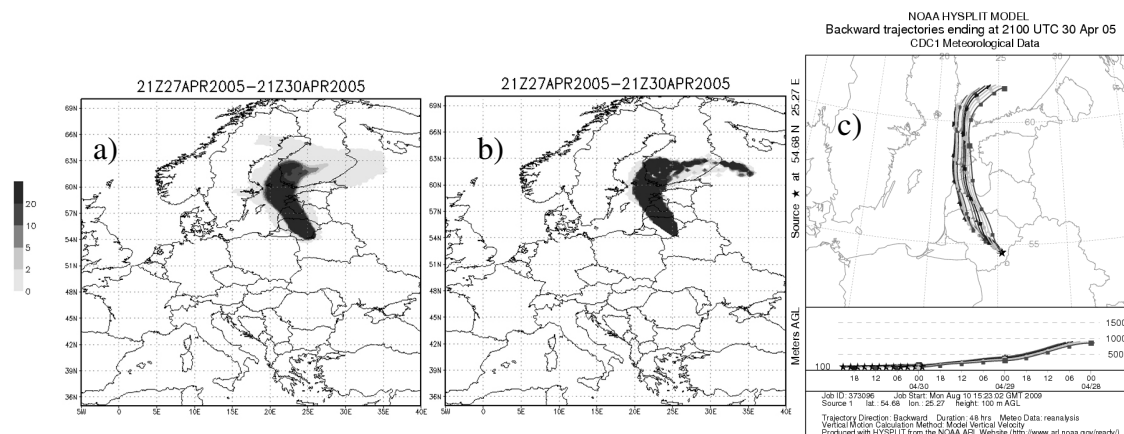


3.29 pav. Beržo žiedadulkių pėdsakai ir oro masės, atslinkusios į Klaipėdos aerobiologinę stotelę: 1-2004-04-18; 2-2004-04-21. a) SILAM Eulerio versija, b) SILAM Lagranžo versija, c) HYSPLIT atgalinės oro masių trajektorijos

Kitas žiedadulkių protrūkis vyko balandžio 24 d. Nepaisant to, kad fenologiniai duomenys nerodo beržo žydėjimo pradžios Lietuvoje, vis dėlto pakankamai sudėtinga tokias dideles žiedadulkių koncentracijas (>800 žiedad./m³) priskirti prie tolimesios pernašos atvejų. Modeliavimo rezultatai rodo, kad Klaipėdoje užfiksuotos beržo žiedadulkės galėjo atkelti iš Vakarų Latvijos, o Šiaulių beržo žiedadulkės – iš pietryčių Latvijos, Šiaurės Baltarusijos ir Rusijos. Vis dėlto labiausiai tikėtina, kad užfiksuotos žiedadulkės sietinos su Lietuvos beržynais ar netoli aerobiologinių stotelių pražydusiais beržais.

2005 m. vienas epizodas yra išskirtinis ir vertas išsamesnės analizės, kai dideli beržo žiedadulkių kiekiai užfiksuoti balandžio 26 d. ir balandžio

28-30 d. Vilniaus aerobiologinėje stotelėje. Žiedadulkių indeksas siekė apie 616. Šį laikotarpį Šiaulių ir Klaipėdos aerobiologinėse stotelėse užfiksuotos tik nedidelės žiedadulkių koncentracijos (Šiaulių – 13 žiedad./m³, Klaipėdos – 23 žiedad./m³). Balandžio 27–30 d. žemo slėgio sritis lokalizavosi Škotijos Šiaurėje, tačiau virš Europos dominavo aukštas slėgis. Šiam periodui prognozuojamas nedidelis vėjo greitis ir nepastovi vėjo kryptis. Gegužės 1 d. bariniame lauke virš Baltijos šalių susiformavęs balnas suformavo sunkiai prognozuojamą situaciją. Po šios dienos aukšto slėgio sritis susidarė virš Balkanų pusiasalio, o žemo slėgio sritis – virš Šiaurės vakarų Rusijos. Ši situacija Lietuvoje paskatino nesmarkius šiaurės vakarų krypties vėjus. Remiantis visų modelių rezultatais, didžiausia tikimybė, kad žiedadulkės Vilniaus aerobiologinę stotelę pasiekė iš Pietų Suomijos ir Vakarų Latvijos (3.30 pav.). Tuo tarpu Šiaulių ir Klaipėdos žiedadulkių pernaša sietina su Vakarų Latvija.

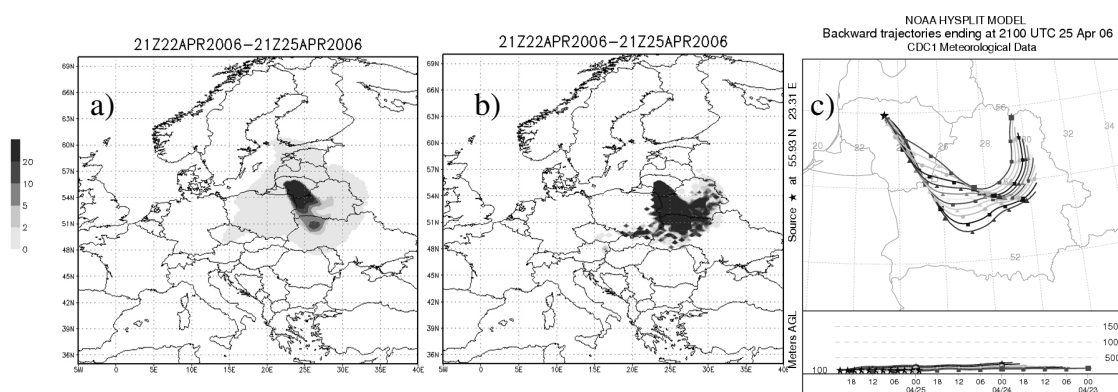


3.30 pav. Beržo žiedadulkių pėdsakai ir oro masės, atslinkusios į Vilniaus aerobiologinę stotelę 2005-04-30. a) SILAM Eulerio versija, b) SILAM Lagranžo versija, c) HYSPLIT atgalinės oro masių trajektorijos

Kadangi beržo žydėjimui Suomijoje šis laikotarpis yra dar per daug ankstyvas, o Latvijoje užfiksuotos koncentracijos iki pat gegužės 1d. buvo labai nedidelės, tai Lietuvoje fiksuotų beržo žiedadulkių šaltinis gali būti artimiausios aerobiologinių stotelių apylinkės. Ši tikimybė patvirtinama ir modeliavimo rezultatais, kadangi žiedadulkių kiekis Vilniuje padidėjo

2 dienomis anksčiau nei Šiauliuose ir Klaipėdoje. Abi šios stotelės pagal gautus rezultatus patenka į SILAM sumodeliuotą žiedadulkių šaltinių teritoriją. Tikėtina, kad oro masės, kurios atslinko iš Šiaurės (ir turinčios tik nedidelius beržo žiedadulkių kiekius), slinkdamos virš šiltų Lietuvos arealų, gali pakelti daugiau žiedadulkių nei jų atiduoti. Pagrindinis beržo žydėjimas 2005 m. Lietuvoje prasidėjo gegužės 2 d. Nuo tos dienos žiedadulkių koncentracijos išaugo visose aerobiologinėse stotelėse. Gauti modeliavimo rezultatai patvirtina vietinės kilmės žiedadulkių egzistavimą.

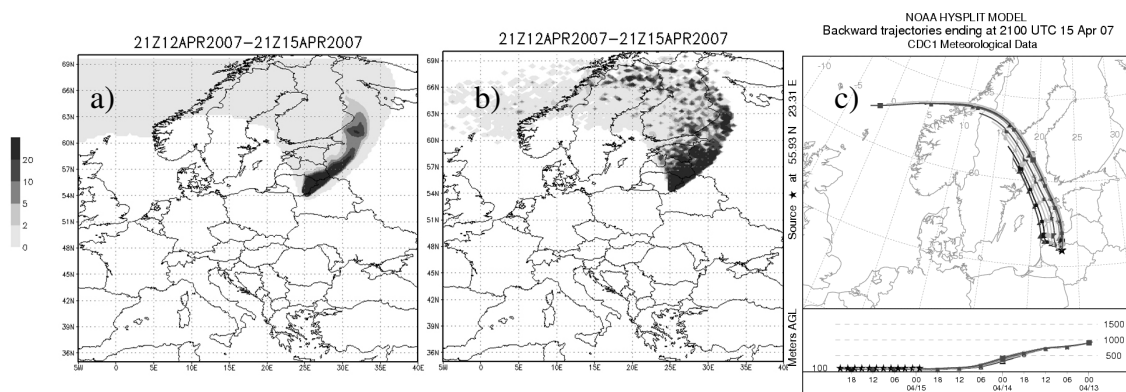
2006 m. žiedadulkių koncentracijos pikas ($723 \text{ žiedad.}/\text{m}^3$) visose aerobiologinėse stotelėse buvo užfiksuotas balandžio 25 d. Modeliavimo rezultatai parodė, kad beržo žiedadulkių potencialūs šaltiniai lokalizuoti Šiaurės Europoje. Aukšto slėgio centras nustatytas virš Norvegijos ir Švedijos ir judėjo Rygos įlankos ir Sankt Peterburgo link. Tuo laikotarpiu vėjo greitis buvo nedidelis, o kryptis – nepastovi. Balandžio 25 d. centras pasisuko pietų, pietryčių kryptimi. Pagal SILAM modelio duomenis (3.31 pav.), užfiksuotoms žiedadulkėms Šiaulių aerobiologinėje stotelėje labiausiai tikėtinas šaltinis, kuris susijęs su pietų, pietryčių kryptimi (nuo aerobiologinės stotelės) Lenkijos, Baltarusijos ir šiaurės Ukrainos dalimis.



3.31 pav. Beržo žiedadulkių pėdsakai ir oro masės, atslinkusios į Šiaulių aerobiologinę stotelę 2006-04-25. a) SILAM Eulerio versija, b) SILAM Lagranžo versija, c) HYSPLIT atgalinės oro masių trajektorijos

SILAM modelio Eulerio versija (3.31 pav.) nurodo pakankamai nepastovią situaciją, kadangi beveik visomis kryptimis, net į Šiaurę nuo aerobiologinės stotelės, išskirtos nedidelės tikimybinės teritorijos.

2007 m. visos aerobiologinės stotelės Lietuvoje balandžio 15 d. užfiksavo tam tikrą žiedadulkių kiekį, tačiau tik Vilniuje nustatytos didesnės beržo genties augalų žiedadulkių koncentracijos (virš 200 žiedad./m³). 2007 m. susiklostė panaši sinoptinė situacija, kaip ir 2004–2006 m. Dominavo aukšto slėgio sritis, kuri balandžio 12 d. lokalizuota virš pietvakarių Lietuvos ir lėmė vidutinio stiprumo šiaurės vakarų vėjus. Aukšto slėgio sritis išliko pastovi, o vėjo greitis sumažėjo. Remiantis tokia meteorologine situacija, sunku nustatyti neginčijamą žiedadulkių kilmę. Nedidelės žiedadulkių koncentracijos užfiksuotos visoje Lietuvoje prieš žydėjimą, todėl toks atvejis priskirtinas prie tolimosios pernašos epizodų. Tiek SILAM, tiek HYSPLIT modelių rezultatai (3.32 pav.) parodė, kad žiedadulkių šaltinis turėtų būti Šiaurės Europoje, bet tai nėra tikėtina, kadangi žydėjimas šiuose regionuose yra daug vėlesnis nei Lietuvoje.



3.32 pav. Beržo žiedadulkių pėdsakai ir oro masės, atslinkusios į Vilniaus aerobiologinę stotelę 2007-04-15. a) SILAM Eulerio versija, b) SILAM Lagranžo versija, c) HYSPLIT atgalinės oro masių trajektorijos

Latvijos aerobiologiniai duomenys atskleidė, kad balandžio 10–12 d. užfiksuotos labai nedidelės koncentracijos. Didesnis žiedadulkių kiekis – apie

50 žiedad./m³ – nustatytas balandžio 14 d. Taigi galima daryti prielaidą, kad 2007 m. neįprastai ankstyvas žydėjimas prasidėjo tiek Latvijoje, tiek Lietuvoje. Kelių dienų skirtumas tarp fenologinių ir aerobiologinių duomenų tikėtinas tokiuose tyrimuose.

Nors beržo žiedadulkės yra dažniausios ir daugiausia sulaukusios mokslininkų dėmesio Šiaurės, Centrinėje ir Rytų Europoje, tačiau vis dar lieka problemų, susijusių su prognozavimu ir didelių koncentracijų kaita, kuri fiksuojama dar prieš vietinį augalų žydėjimą. Žydėjimas priklauso nuo kompleksinių veiksnių ir kinta kasmet. Įvairūs vietiniai ir regioniniai aplinkos veiksniai lemia žydėjimo trukmę ir žiedadulkių paleidimo procesus (Jato et al., 2002). Sinoptinė situacija turi poveikį fenologinių fazių pradžiai regionuose ir lemia žiedadulkių pernašą iš gretutinių ir nutolusių teritorijų. Visi šie veiksniai turi poveikį žiedadulkių kiekio kitimui. Tolimosios pernašos prognozavimas yra pakankamai sudėtingas, kadangi dar nežydint šalies augalams, pradedamos fiksuoti žiedadulkės. Siekiant išvengti tolimosios pernašos atvejų, žiedadulkių sezonams išskirti naudojamas 2,5 % kriterijus. Akivaizdu, kad norint išanalizuoti tolimosios pernašos atvejus, šis kriterijus eliminuoja nemažus žiedadulkių kiekius, kurie yra susiję su pernašomis (3.24 pav.).

Lietuvoje beržynai plačiai išplitę ir produkuoja didelį žiedadulkių kiekį per dulkėjimo laikotarpį, todėl slenkstinės 2,5 % vertės Lietuvoje būna labai aukštos. Vis dėlto Europoje beržo genties augalai turi specifines žydėjimo charakteristikas. Žydėjimo pradžia Europoje prasideda pietvakarinėse dalyse ir sklinda šiaurės rytų kryptimi (Siljamo et al., 2008a). Lietuvoje žydėjimo zonos vyksta kita linkme: žydėjimas prasideda rytinėse mūsų šalies dalyse ir slenka į vakarus – nuo Vilniaus Šiaulių ir Klaipėdos link (Siljamo et al., 2008a). Šis reiškinys aiškinamas anksti pavasarį vėsinančiu Baltijos jūros efektu. Šiaulių ir Klaipėdos aerobiologinės stotelės yra arti viena kitos, ir užfiksuoti atvejai yra panašūs, tuo tarpu Vilniaus aerobiologinė stotelė kardinaliai skiriasi savo duomenimis. Šis inversiškas vystymasis iliustruojamas 2005 m. ir 2007 m. atvejais, kada modelių pagalba nustatyta, kad potencialūs žiedadulkių šaltiniai

yra į Šiaurę nuo aerobiologinių stotelių. Įvertinus ir tai, kad tuo laikotarpiu vyravo aukšto slėgio sritis, kuri susijusi su silpnais ir nepastovios krypties vėjais, ir buvo nedidelis žydėjimo vėlavimas, galima teigti, kad beržo genties augalų žiedadulkių šaltiniai gali būti šiltesniuose Lietuvos arealuose ar artimiausiose apylinkėse. Kadangi fenologinių duomenų kintamumas yra labai didelis (Siljamo et al., 2008a), tokie stebėjimai nebūtinai aptinka anksčiausiai pražydusius augalus.

Panašūs tyrimai buvo atlikti ir kitose šalyse (Sofiev et al., 2006a; Skjøth et al., 2007; Mahura et al., 2007; Siljamo et al., 2007, 2008b; Sofiev et al., 2008). Mokslininkų nustatyta, kad priešsezoninės žiedadulkių koncentracijos ir jų kilmė varijuoja, todėl bendrus dėsningumus kiekvienai šaliai sudėtinga nustatyti. C. A. Skjøth ir kt. (2007), 2000–2007 m. atlikdami tyrimus, pasinaudojo Lagranžo dispersiniu modeliu ACDEP ir įrodė, kad Danijos priešsezoninės koncentracijos beveik kasmet yra suformuojamos tolimosios pernašos iš Lenkijos ir Vokietijos. C. A. Skjøth ir kt. (2009c), pasinaudoję trajektorijų modeliavimu ir 2 val. beržo žiedadulkių duomenimis bei potencialių šaltinių žemėlapiais, taip pat ištyrė ir beržo genties žiedadulkių tolimąją pernašą į Londoną (Didž. Britanija). Lietuvoje nustatyti beržo žiedadulkių šaltiniai tik keliais atvejais yra panašūs (2004 m. ir 2006 m.) ir gali būti siejami su tolimąja pernaša iš pietryčių.

Regioniniai skirtumai nustatyti ir kitose panašaus pobūdžio tyrimuose. Pavyzdžiui, Suomijai Baltijos šalys yra svarbus žiedadulkių šaltinis (Ranta et al., 2006; Sofiev et al., 2006a; Siljamo et al., 2008b). Suomijos mokslininkų nustatyta, kad 2004 m. pirmasis tolimosios pernašos epizodas Suomijai buvo balandžio 14–15 d., kai pajūrio Lenkijos ir Vokietijos sritys buvo išskirtos kaip pagrindiniai žiedadulkių šaltiniai (Sofiev et al., 2006a; Siljamo et al., 2008b). Šiauliuose, remiantis SILAM ir HYSPLIT modelių rezultatais, šių regionų priskirti negalima (3.26 pav.). Vėliau pavasarį tie patys šaltiniai paveikė Lietuvą ir Suomiją: po kelių dienų Suomijoje užfiksuotos didelės žiedadulkių koncentracijos. 2005 m. Suomijoje neužfiksuota tolimoji pernaša, tuo tarpu Lietuvoje nurodyti šiaurinių teritorijų šaltiniai įrodo vietinių

augalų poveikį fiksuojamoms žiedadulkių koncentracijoms. 2006 m. ir 2007 m. Suomijoje nustatyta tolimoji pernaša dvejomis dienomis vėliau nei Lietuvoje (Sofiev et al., 2008; Siljamo et al. 2008b), o tai leidžia nuspėti, kad šių fiksuotų žiedadulkių šaltinis yra tas pats.

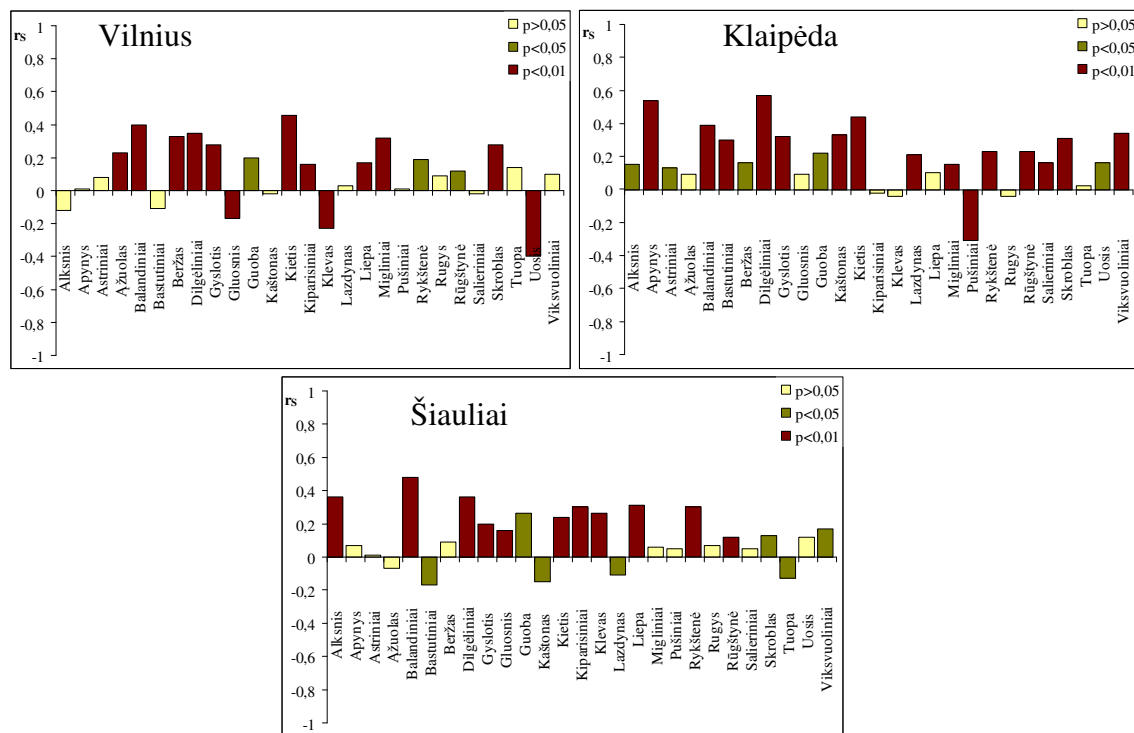
Apibendrinant reikia pabrėžti, kad nustatant tolimąją pernašą fenologiniai stebėjimai yra svarbūs. Nepaisant žymių neapibrėžtumų, kurie atsiranda nustatant fenologines datas (Siljamo et al. 2008a), fenologinė informacija leidžia įvertinti laikinus skirtumus, susijusius su žiedadulkių fiksavimu gaudyklėse ir nustatyta augalų žydėjimo pradžia (Kasprzyk, 2003; Estrella et al., 2006; Ranta et al., 2006). Jei erdvinis fenologinių stočių tinklas išsidėstęs tinkamai ir yra reprezentatyvus, gautus duomenis galima panaudoti aiškinantis situaciją tarp žiedadulkių sklaidos ir žydėjimo tendencijų.

3.4. Meteorologinių sąlygų poveikis žiedadulkių sklaidai atmosferoje

Meteorologinių parametrų kaita lemia žiedadulkių sklaidos dėsningumus atmosferoje. Nuo oro temperatūros, santykinio oro drėgnumo, vėjo greičio ir kritulių kiekio priklauso žiedadulkių pasiskirstymas atmosferoje, sklaidos galimybės ir fiksuojamų žiedadulkių kiekiai gaudyklėse.

Analizuojant oro temperatūros, santykinio oro drėgnumo, kritulių kiekio, bei vėjo greičio galimą poveikį skirtingų augalų genčių ir šeimų žiedadulkių sklaidai, pirmiausia buvo nustatyti ryšiai tarp meteorologinių parametrų ir žiedadulkių koncentracijos žiedadulkių sezono metu (2004–2009 m.). Gauti rezultatai, kurie nusako ryšį tarp meteorologinių parametrų ir žiedadulkių koncentracijos, užfiksuoti aerobiologinėse stotelėse pavaizduoti 3.33-3.36 paveiksluose.

Iš gautų rezultatų matyti, kad įvairių genčių ir šeimų augalų žiedadulkių koncentracijos skirtingai koreliuoja su oro temperatūra (3.33 pav.), tačiau egzistuoja priklausomybė tarp žiedadulkių kiekio ore ir oro temperatūros (67 % atvejų kai $p < 0,05$). Didžioji dalis apskaičiuotų koreliacijos koeficientų gauti teigiami (58% atvejų kai $p < 0,05$). Vadinasi, žiedadulkių kiekis atmosferoje didėja kylant oro temperatūrai.



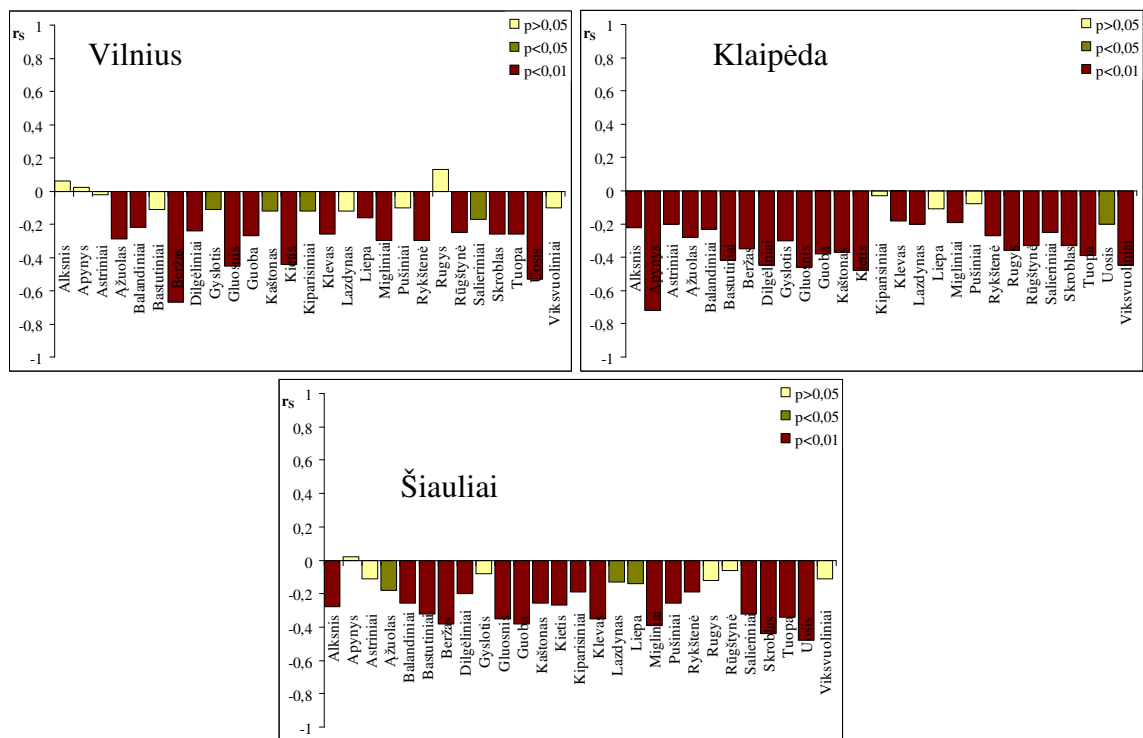
3.33 pav. Įvairių genčių ir šeimų augalų žiedadulkių koncentracijos žiedadulkių sezono metu ir oro temperatūros koreliacijos koeficientai (r_s) Vilniuje (2005–2009 m.), Klaipėdoje ir Šiauliuose (2004–2009 m.)

Labiausiai oro temperatūrai yra jautrūs anksti pavasarį vegetaciją pradedantys augalai (Tomkus, Kulienė, 1990; Črepinšek et al., 2006), tačiau koreliacijos koeficiento reikšmės alksnio ir lazdyno žiedadulkių koncentracijos kaitai šio dėsningumo neatskleidė. Pavyzdžiui, Vilniuje nustatyta, kad koreliacijos koeficientas tarp alksnio žiedadulkių koncentracijos ir oro temperatūros yra $-0,12$ ($p > 0,05$), o tarp lazdyno ir oro temperatūros – $0,03$ ($p > 0,05$). Tuo tarpu vėlyvųjų augalų (žydintys birželio–spalio mėnesiais) koreliacijos koeficientai atskleidė statistškai patikimą ir stiprų ryšį tarp žiedadulkių koncentracijos ir oro temperatūros.

Didžiausias teigiamas koreliacijos koeficientas ($r_s = 0,57$, $p < 0,01$) nustatyta tarp dilgėlinių žiedadulkių ir oro temperatūros Klaipėdoje, tuo tarpu kiekio žiedadulkių koncentracijos ir oro temperatūros koreliacijos koeficientai Vilniuje, Klaipėdoje ir Šiauliuose buvo statistškai patikimi (nuo $0,24$ iki $0,44$, kai $p < 0,01$). Analizuojant nustatytus koreliacijos koeficientus pastebėta, kad pastarieji skiriasi ne tik tarp skirtingų žiedadulkių morfotipų ir oro

temperatūros, bet ir tarp tos pačios augalų genties ar šeimos žiedadulkių koncentracijos ir meteorologinio veiksnio skirtingose Lietuvos vietovėse (3.33 pav.). Pavyzdžiui, nustatyta, kad alksnio genties augalų žiedadulkių koncentracijos ir oro temperatūros koreliacijos koeficientas Vilniuje siekia $-0,12$ ($p > 0,05$), Klaipėdoje – $0,15$ ($p < 0,05$) ir Šiauliuose – $0,36$ ($p < 0,01$). Prieštaringi koreliacijos koeficientai nustatyti ir tarp bastutinių, gluosnio, kaštono, klevo, lazdyno, pušinių, tuopos, uosio žiedadulkių koncentracijos ir oro temperatūros. Gautus prieštarigus rezultatus galima paaiškinti įvairiai. Pirmiausiai alksnio ir lazdyno genčių augalai žirginius formuoja rudenį (Navasaitis ir kt., 2003), o žydi anksti pavasarį ir žiedadulkės yra fiksuojamos net esant neigiamoms žemoms temperatūroms (tą iliustruoja ir gauti koreliacijos koeficientai). Bastutinių šeimos augalų žiedadulkių fiksuojama labai nedaug (maksimalios žiedadulkių koncentracijos $6\text{--}25$ žiedad./m³), žiedadulkių sezonai suformuojami iš pavienių žiedadulkių, kaip ir kaštono žiedadulkių, todėl sąsajas su meteorologiniais veiksniais nustatyti sudėtinga. Be to, gauti rezultatai iliustruoja ir tai, kad vienas meteorologinis veiksnys turi poveikį žiedadulkių koncentracijos kitimui, tačiau bendrai meteorologinės sąlygos lemia žiedadulkių kiekį atmosferoje. Kadangi žiedadulkių kiekis atmosferoje priklauso nuo keleto veiksnių – ne tik nuo meteorologinių sąlygų, bet ir nuo augalų vegetacijos, atmosferos dinaminį procesų, tolimosios pernašos mechanizmo, todėl vienareikšmį svarbiausią veiksnį išskirti yra sudėtinga.

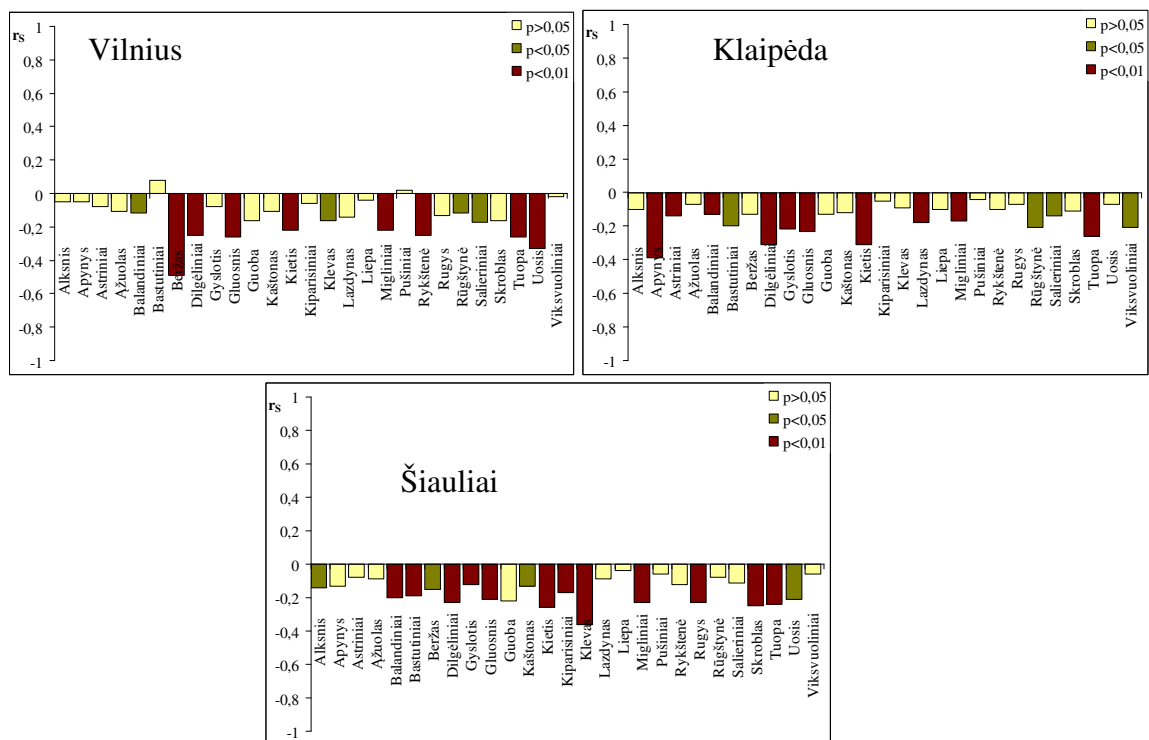
Nustatyti dėsningumai rodo, kad oro temperatūra lemia žiedadulkių paleidimo procesus iš augalų, tačiau sklaidą gali sąlygoti ir kiti meteorologiniai parametrai. Vienas tokių meteorologinių parametru galėtų būti oro drėgnumas. Tą patvirtina ir nustatyti koreliaciniai ryšiai tarp žiedadulkių koncentracijos ir santykinio oro drėgnumo (3.34 pav.). Pateikti rezultatai atskleidžia, gautus statistiškai patikimus neigiamus koreliacijos koeficientus (nuo $-0,16$ iki $-0,72$, 79% atvejų, kai $p < 0,05$) tarp beveik visų aerobiologinėse stotelėse nustatytų augalų genčių ir šeimų žiedadulkių ir santykinio oro drėgnumo žiedadulkių sezono metu.



3.34 pav. Įvairių genčių ir šeimų augalų žiedadulkių koncentracijos žiedadulkių sezono metu ir oro santykinės drėgmės koreliacijos koeficientai (r_s) Vilniuje (2005–2009 m.), Klaipėdoje ir Šiauliuose (2004–2009 m.)

Tik labai nedidelė dalis parodė statistiškai nepatikimą ryšį arba statistiškai nepatikimus teigiamus koreliacijos koeficientus tarp minėtų parametru (3.34 pav.). Gauti rezultatai leidžia teigti, kad žiedadulkių kiekis ore mažėja didėjant paros oro drėgnumui. Lyginant su oro temperatūros ir žiedadulkių koncentracijos žiedadulkių sezono metu nustatytais koreliacijos koeficientais, pastarieji yra mažiau kaitūs ir vienareikšmiai. Tik keli atvejai iliustruoja labai mažus teigiamus koreliacijos koeficientus, kurie yra statistiškai nepatikimi.

Kritulių kiekio ir žiedadulkių koncentracijos koreliacijos koeficientų rezultatai (3.35 pav.) parodė, kad apie 50 % tirtų atvejų nustatytas patikimas (kai $p < 0,05$) labai silpnas, silpnas arba vidutinio stiprumo ryšys (nuo -0,12 iki -0,49) tarp pastarųjų parametru. Pateikti rezultatai iliustruoja neigiamo koreliacijos koeficiento dominavimą. Vadinasi, didėjant kritulių kiekiui, žiedadulkių koncentracija atmosferoje mažėja. Išlieka atvejų, kada nustatyti ryšiai yra labai silpni ir nepatikimi. Remiantis gautais rezultatais kritulių kiekį galima priskirti prie žiedadulkių sklaidą ribojančių meteorologinių veiksnių.

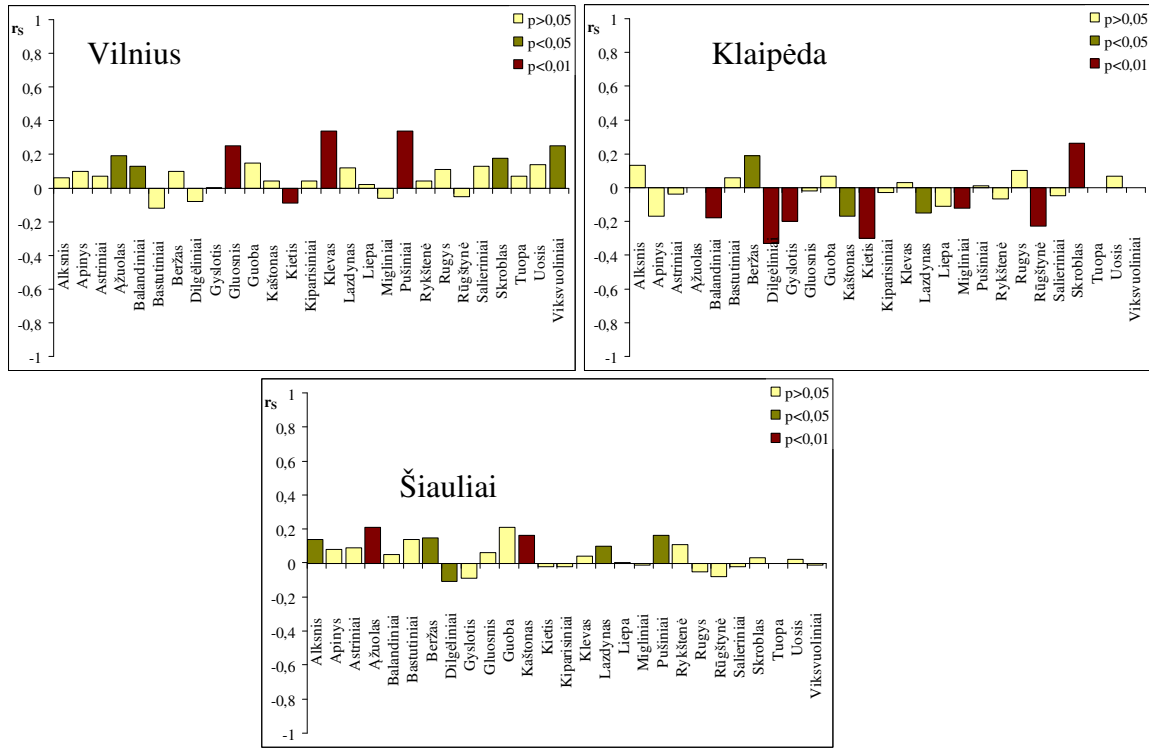


3.35 pav. Įvairių genčių ir šeimų augalų žiedadulkių koncentracijos žiedadulkių sezono metu ir kritulių kiekio koreliacijos koeficientai (r_s) Vilniuje (2005–2009 m.), Klaipėdoje ir Šiauliuose (2004–2009 m.)

M. M. Giner ir kt. (2002) nurodo, kad kasmetiniai žiedadulkių kiekiai yra nulemti kritulių kiekio ir sausrų. Remiantis 2004–2009 m. kritulių kiekio duomenimis, galima teigti, kad kai kuriais atvejais nustatomi didesni žiedadulkių kiekiai dėl nedidelio kritulių kiekio. Pavyzdžiui, 2008 m. gegužę–birželį, lyginant su kitais mėnesiais, buvęs nedidelis kritulių kiekis, lyginant su kitais metais, galėjo nulemti žiedadulkių ore pagausėjimą.

Koreliacijos metodu nustatyta, kad vėjo greičio įtaka žiedadulkių koncentracijai nežymi, t. y. apie 31 % iš visų tirtų atvejų parodė patikimą (kai $p < 0,05$) labai silpną arba silpną ryšį tarp žiedadulkių koncentracijos ir vėjo greičio (3.36 pav.). Rezultatai iliustruoja teigiamą koreliacijos koeficientą (daugiausiai statistiškai patikimų rezultatų, t. y. 19 % visų tirtų atvejų) tarp žiedadulkių koncentracijos ir paros vėjo greičio (stiprėjant vėjo greičiui, didėja žiedadulkių). Tačiau gauti ir prieštaringi rezultatai. Žinant, kad Vilniuje, Klaipėdoje ir Šiauliuose 2004–2009 m. vasario–rugsėjo mėnesiais vidutinis paros vėjo greitis keitėsi nestipriai, o A. Galvonatės ir kt. (2007) teigimu,

Lietuvoje vyrauja silpni ir vidutinio stiprumo vėjai, tai stipresnių vėjų poveikį fiksuojamam žiedadulkių kiekiui nustatyti pakankamai sudėtinga.



3.36 pav. Įvairių genčių ir šeimų augalų žiedadulkių koncentracijos žiedadulkių sezono metu ir vėjo greičio koreliacijos koeficientai (r_s) Vilniuje (2005–2009 m.), Klaipėdoje ir Šiauliuose (2004–2009 m.)

Tokia dalinė analizė padėjo atskleisti meteorologinių parametru svarbą žiedadulkių sklaidai. Vis dėlto vieno meteorologinio kintamojo poveikį žiedadulkių kiekiui ore nusakyti labai sudėtinga (Altintaš et al., 2004; Gioulekas et al., 2004). Meteorologinių parametru poveikiui įvertinti buvo atlikta daugialypė regresinė analizė, kurios rezultatai pateikti 3.6 lentelėje. Šios lentelės duomenys iliustruoja daugialypes regresines lygtis, kurios sudarytos remiantis ankstyvųjų augalų žiedadulkių sezono žiedadulkių koncentracijomis ir vidutine paros oro temperatūra, santykinio oro drėgnumu, kritulių kiekiu ir vėjo greičiu.

Bendros 2004–2009 m. išvestos regresijos lygtys ($p < 0,01$) aprašo vidutiniškai 1–46 % žiedadulkių duomenų variacijos (3.6 lent.).

3.6 lentelė. Regresijos modeliai augalų genčių ir šeimų žiedadulkių sezonams (2004-2009 m.), sudaryti pagal kintamųjų įtraukimo metodą. Kintamieji: T – oro temperatūra, Dr – santykinis oro drėgnumas, K – kritulių kiekis, VG – vėjo greitis (R^2 – determinacijos koeficientas, p – reikšmingumo lygmuo pagal Stjudento kriterijų)

Žiedadulkių morfotipas	Vietovė	Regresijos modelis	R^2	p
Alksnis	Vilnius	1,486301-0,016953T*	0,01	0,000
	Klaipėda	1,869995-0,007621Dr	0,03	0,000
	Šiauliai	1,250626+0,033624T+0,103903VG-0,008062Dr	0,17	0,000
Ažuolas	Vilnius	0,639969-0,010632Dr+0,137423VG+0,029140T	0,19	0,04
	Klaipėda	1,265432-0,010210Dr	0,06	0,000
	Šiauliai	1,132545+0,131477VG-0,010289Dr	0,09	0,000
Balandiniai	Vilnius	-0,549732+0,039796T+0,059909VG	0,20	0,000
	Klaipėda	-0,303873+0,026562T	0,12	0,000
	Šiauliai	-0,481774+0,041840T-0,006649K+0,043789VG	0,26	0,000
Beržas	Vilnius	3,964760-0,031563Dr	0,41	0,000
	Klaipėda	3,597014-0,027975Dr	0,16	0,000
	Šiauliai	3,072580-0,026730Dr+0,129160VG	0,16	0,000
Dilgėliniai	Vilnius	0,753631+0,053833T-0,012374K	0,10	0,000
	Klaipėda	1,418278+0,074899T-0,078359VG-0,012822Dr	0,40	0,000
	Šiauliai	0,845191-0,030487K+0,052716T	0,17	0,000
Gluosnis	Vilnius	2,143299-0,021716Dr-0,028867T+0,118115VG	0,31	0,000
	Klaipėda	1,853409-0,018628Dr	0,26	0,000
	Šiauliai	1,715732-0,015740Dr	0,13	0,000
Guoba	Vilnius	0,865616-0,007330Dr	0,07	0,000
	Klaipėda	0,932722-0,009489Dr	0,17	0,000
	Šiauliai	1,459672-0,017726Dr	0,17	0,000
Kietis	Vilnius	0,970202+0,079509T-0,014875Dr	0,31	0,04
	Klaipėda	1,855052-0,026184Dr+0,088482T-0,098038VG	0,34	0,005
	Šiauliai	1,641125-0,037060K	0,15	0,000
Kiparisiniai	Vilnius	0,205082+0,010444T-0,010760K	0,03	0,000
	Klaipėda	-	-	-
	Šiauliai	0,084034+0,018773T	0,06	0,04
Klevas	Vilnius	1,735675-0,020271Dr+0,208691VG-0,034489T	0,34	0,000
	Klaipėda	-	-	-
	Šiauliai	1,616282-0,016706Dr	0,13	0,000
Lazdynas	Vilnius	1,042542-0,006060Dr	0,03	0,000
	Klaipėda	0,683271-0,003792Dr-0,030054VG	0,05	0,000
	Šiauliai	0,882991-0,007510Dr-0,009515T	0,06	0,000
Liepa	Vilnius	0,588046-0,005095Dr	0,03	0,000
	Klaipėda	0,240103-0,002090Dr	0,02	0,000
	Šiauliai	-0,354920+0,036702T	0,11	0,007
Migliniai	Vilnius	0,963248+0,044395T-0,011213Dr	0,15	0,000
	Klaipėda	1,248878-0,011279Dr+0,029239T	0,07	0,000
	Šiauliai	3,013051-0,026697Dr	0,15	0,000
Pušiniai	Vilnius	2,280762+0,283102VG-0,013190Dr	0,17	0,000
	Klaipėda	4,196107-0,104229T-0,018351Dr	0,17	0,000
	Šiauliai	2,678778-0,020944Dr+0,130154VG	0,09	0,000
Rykštenė	Vilnius	0,810098-0,008243Dr	0,07	0,000
	Klaipėda	-0,292384+0,021033T	0,04	0,02
	Šiauliai	-0,267464+0,026305T	0,10	0,004

3.6 lentelės tęsinys

Žiedadulkių morfotipas	Vietovė	Regresijos modelis	R ²	p
Rūgštinė	Vilnius	1,233635-0,009785Dr	0,07	0,000
	Klaipėda	1,202423-0,012438Dr-0,042842VG+0,014620T	0,19	0,000
	Šiauliai	-	-	-
Salieriniai	Vilnius	0,404878-0,003165Dr	0,02	0,000
	Klaipėda	0,558965-0,005588Dr	0,07	0,000
	Šiauliai	1,010234-0,009744Dr	0,08	0,000
Skroblas	Vilnius	-0,284402+0,129907VG+0,029188T	0,17	0,04
	Klaipėda	-0,469197+0,049302T+0,086635VG	0,28	0,000
	Šiauliai	0,848398-0,010040Dr	0,21	0,000
Tuopa	Vilnius	1,978988-0,013441Dr	0,10	0,000
	Klaipėda	1,448887-0,013861Dr	0,15	0,000
	Šiauliai	1,911651-0,017831Dr-0,024276T	0,16	0,000
Uosis	Vilnius	2,944595-0,023470Dr-0,066115T	0,46	0,000
	Klaipėda	0,910638-0,007774Dr	0,07	0,000
	Šiauliai	1,961713-0,018288Dr	0,25	0,000

* p > 0,05, – nepatikima

Gauti nedideli determinacijos koeficientai nesumažina rezultatų interpretacijos. Vis dėlto, atsižvelgiant į tai, kad lygtys sudarytos laikantis principo, kad ne tik pačios lygties, bet ir kintamųjų reikšmingumo lygmuo tenkintų sąlygą, kad $p < 0,05$, gauti rezultatai gali būti meteorologinių parametru poveikio žiedadulkių sklaidai įrodymu. Tiesinę priklausomybę, ką atskleidžia ir nustatyti nedideli koreliacijos koeficientai, tarp žiedadulkių ir meteorologinių parametru išvesti yra sudėtinga, tačiau gauti rezultatai rodo, kad meteorologinės sąlygos lemia žiedadulkių kiekio kaitą.

Anemofilinių augalų didesnė duomenų variacijos dalis, lyginant su entomofiliniais augalais, gali būti nusakyta konkrečių meteorologinių sąlygų ar jų komplekso (pvz., beržo ir pušinių, lyginant su klevo ir liepos). Kai kuriais atvejais entomofilinių augalų žiedadulkių koncentracijos regresinės lygties determinacijos koeficientas nesiekia 0,1. Tai galima paaiškinti ir tuo, kad ore sklindančios tokių augalų žiedadulkės sudaro nedidelius kiekius. Pavyzdžiui, priklausomai nuo aerobiologinės stotelės nustatytos liepos genties augalų didžiausios žiedadulkių koncentracijos siekė 14-30 žiedad./m³.

Rezultatai parodė, kad žiedadulkių koncentracijos kaita daugiausia susijusi su santykinio oro drėgnumu (24 atvejai iš 57, kai $p < 0,01$), tačiau išryškėja ir kitų meteorologinių parametru įtaka, t. y. oro temperatūros

(6 atvejai, kai $p < 0,05$) arba meteorologinių parametų komplekso poveikis žiedadulkių koncentracijos kaitai (27 atvejai, $p < 0,05$). Pavyzdžiui, oro temperatūros, vėjo greičio ir santykinio drėgnumo (7 atvejai), oro temperatūros ir santykinio drėgnumo (7), vėjo greičio ir santykinio drėgnumo (5) arba oro temperatūros ir vėjo greičio (3). Atsižvelgiant į vėjo greičio ir žiedadulkių koncentracijos koreliacijos koeficientų rezultatus, atlikta daugialypė regresinė analizė, kuri atskleidė, kad vėjo greitis nėra svarbiausias žiedadulkių sklaidą lemiantis veiksnys, tačiau kartu su kitais meteorologiniais veiksniais jis sąlygoja fiksuojamų žiedadulkių kiekį gaudyklėse.

Nustatyti tik 5 atvejai, kada kritulių kiekis, kaip svarbus veiksnys, buvo įtrauktas į regresijos lygtį. 3 iš jų, kai oro temperatūra ir kritulių kiekis kartu aprašo nedidelę dalį duomenų variacijos (3–17%). Po 1 atvejį, kai kritulių kiekis arba oro temperatūra, kritulių kiekis ir vėjo greitis svarbūs žiedadulkių koncentracijos kaitai. Šie gauti rezultatai parodo, kad tik esant didesniai kritulių kiekiui žiedadulkių koncentracija ore sumažėja.

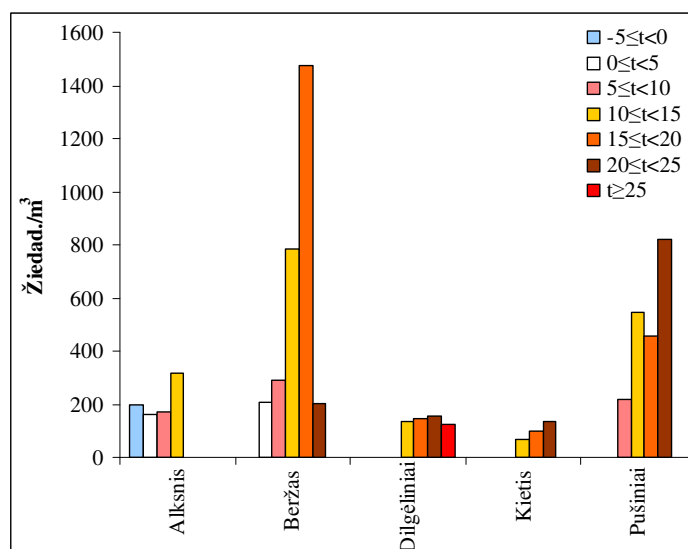
Vis dėlto, gauti daugialypės regresijos (3.6 lent.) rezultatai atskleidė tai, kad vieni svarbiausių veiksnių, kurie lemia žiedadulkių kiekio variaciją yra santykinis oro drėgnumas ir oro temperatūra. Šį teiginį patvirtina tai, kad net ir esant kompleksiniam meteorologinių veiksnių poveikiui žiedadulkių koncentracijai, santykinis drėgnumas ir/arba oro temperatūra yra vieni iš veiksnių, įtraukiamų į regresijos lygtis.

Daugialypės regresinės analizės rezultatai pateikė žiedadulkių koncentracijos dėsningumus, susijusius su svarbiausiomis meteorologinėmis sąlygomis. Šios lygtys nėra skirtos ateities prognozėms sudaryti – tai būdas, leidžiantis pateikti meteorologinių parametų poveikio analizę.

Panaudoti statistiniai metodai atskleidė meteorologinių parametų svarbą žiedadulkių sklaidai, tačiau neparodė, kokios konkrečiai meteorologinės sąlygos lėmė fiksuojamų žiedadulkių kiekį gaudyklėse. Tuo tikslu buvo atlikta tolesnė duomenų analizė.

3.37 paveiksle pateikta alksnio, beržo, dilgėlinių, kiečio ir pušinių augalų žiedadulkių vidutinės koncentracijos, kurios iliustruoja žiedadulkių gausą ore

prie tam tikros vidutinės paros oro temperatūros. Siekiant palengvinti analizę, oro temperatūra buvo suskirstyta kas 5 °C į atitinkamus intervalus. Alksnio žiedadulkių gausiai užfiksuota, kai vidutinė oro temperatūra buvo -2,1-14,5 °C. Plačios temperatūros ribos (ką atskleidė ir nevienareikšmis koreliacijos koeficientas) yra tikėtinos, kadangi alksnis yra vienas anksčiausiai pražystančių augalų.

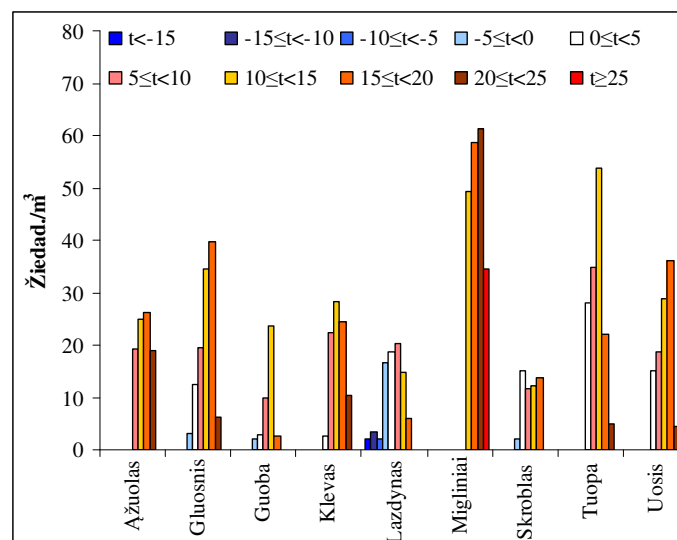


3.37 pav. Vidutinės alksnio, beržo, dilgėlinių, kiečio ir pušinių žiedadulkių koncentracijos Lietuvoje, nustatytos tam tikrose temperatūros ribose (-5–30 °C)

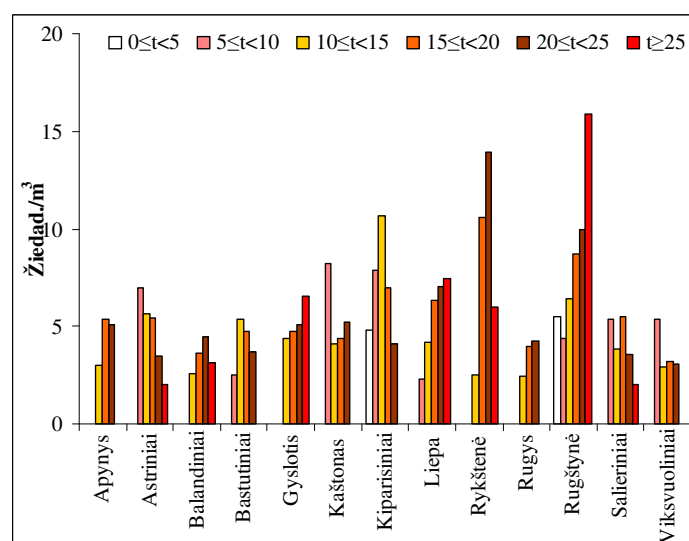
3.37 paveiksle pateikti duomenys atskleidžia, kad daugiausia alksnio žiedadulkių užfiksuojama, kai oro temperatūra siekia 10–15 °C ribas. Beržo žiedadulkių gausiai užfiksuota, kai oro temperatūra buvo 15–20 °C, tuo tarpu pušinių – 20–25 °C. Žolinių augalų (dilgėlinių ir kiečio) žiedadulkių gausu ore esant oro temperatūrai, siekiančiai 10–25 °C ribas. Dilgėlinių žiedadulkių fiksuojama ir oro temperatūrai pakilus daugiau kaip 25 °C. Žinoma, žiedadulkių kiekio fiksavimo skirtingos temperatūros ribos yra susijusios su augalų vegetacijos laikotarpiu ir atskleidžia augalų dulkėjimui palankias sąlygas, tačiau gali būti naudojamos žiedadulkių sklaidos prognozėse.

Pateikti 3.38 ir 3.39 paveikslai, parodo, žiedadulkių fiksavimą (augalų gentys ir šeimos, pasižyminčios mažesnėmis žiedadulkių koncentracijomis) gaudyklėse esant skirtingai oro temperatūrai. Lazdyno genties augalų

žiedadulkės, kaip ir alksnio, yra fiksuojamos esant ir neigiamoms ($t < -15\text{ }^{\circ}\text{C}$) ir aukštesnėms teigiamoms temperatūroms ($t > 15\text{ }^{\circ}\text{C}$) (3.38 pav.). Iš 3.38 paveikslo matyti, kad daugiausia žiedadulkių ore yra fiksuojama, kai oro temperatūra siekia $10\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Remiantis klimatine norma (1961–1990 m.), vidutinė oro temperatūra $>15\text{ }^{\circ}\text{C}$ Lietuvoje (Galvonaitė ir kt., 2007) nustatoma birželio–rugsjūčio mėnesiais, todėl ir šiais mėnesiais žydinčių augalų žiedadulkių koncentracijos būna didžiausios (3.38 ir 3.39 pav.).



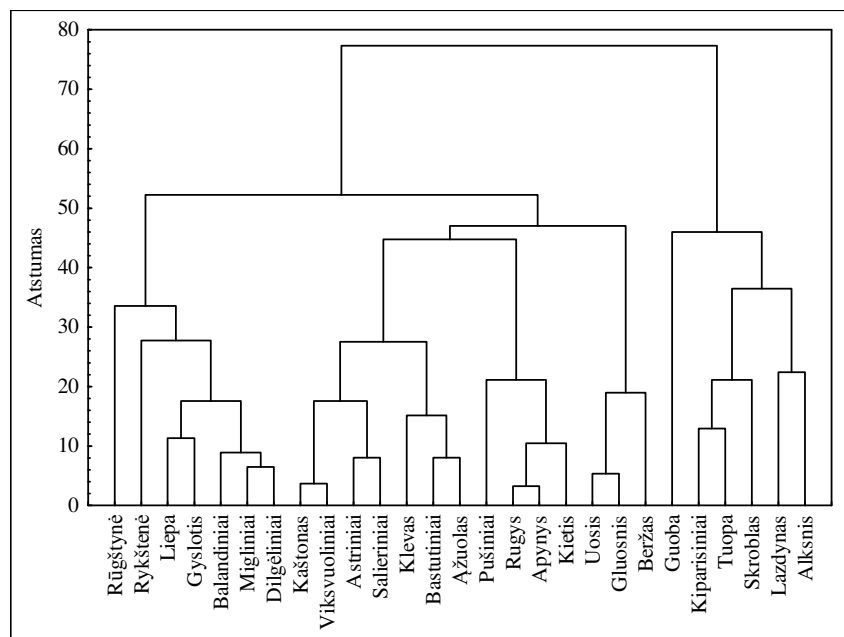
3.38 pav. Vidutinės įvairių žiedadulkių morfotipų žiedadulkių koncentracijos Lietuvoje nustatytos tam tikrose temperatūros ribose ($t < -15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-15\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t \geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$)



3.39 pav. Vidutinės įvairių žiedadulkių morfotipų žiedadulkių koncentracijos Lietuvoje, nustatytos tam tikrose temperatūros ribose ($0\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t \geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Palyginus gautus rezultatus pastebima, kad rūgštyinės genties augalų žiedadulkių daugiausia (vidutinė žiedadulkių koncentracija – 16 žiedad./m³) fiksuojama (birželį–liepą), kai oro temperatūra >25 °C.

Siekiant nustatyti panašius žiedadulkių morfotipus, atsižvelgiant į oro temperatūrą, buvo atlikta klasterinė analizė. Klasterinės analizės dendrograma (3.40 pav.) atskleidžia, kad aiškiai matomi du pagrindiniai klasteriai, kurie nurodo panašiausias žiedadulkių morfotipų grupes, sudarytas remiantis oro temperatūra žiedadulkių sklaidos metu. Pirmąjį klasterį sudaro daugelis augalų šeimų ir genčių žiedadulkių, antrąjį – guobos, kiparisinių, tuopos, skroblo, lazdyno ir alksnio. Šie gauti rezultatai atskleidžia, kad pastarieji yra labiausiai tarpusavyje besiskiriantys.

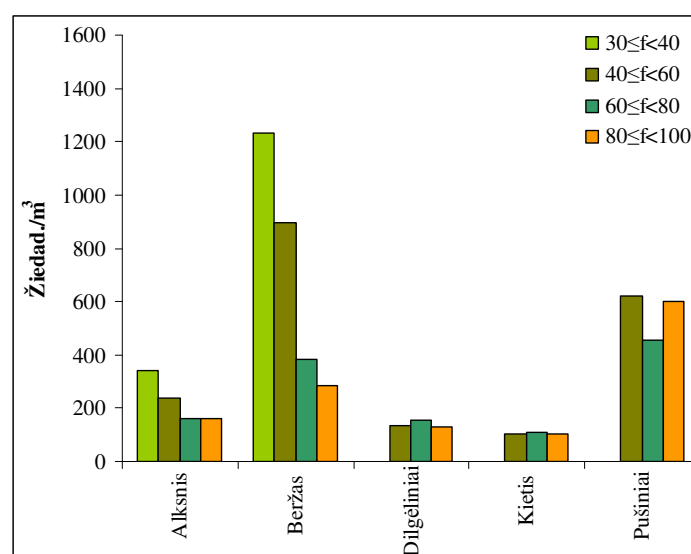


3.40 pav. Klasterinės analizės dendrogramoje tarpusavyje susijusių įvairių žiedadulkių morfotipų grupės pagal vidutinę paros oro temperatūrą žiedadulkių fiksavimo metu

Kadangi panaudotas pilnosios jungties metodas, tai ankstyvieji augalai ir augalai, dulkantys pavasario pabaigoje ir vasaros pradžioje (balandį–gegužę), sudaro vieną klasterį (3.40 pav.). Tačiau atsižvelgiant į oro temperatūrą žiedadulkių fiksavimo metu, sujungti panašiausi žiedadulkių morfotipai, o pagrindiniai klasteriai sudaryti iš labiausiai nutolusių rezultatų, pvz., astriniai ir

salieriniai (3.39 ir 3.40 pav.) ar lazdynas ir alksnis (3.37, 3.38 ir 3.40 pav.). Pirmiausia į vieną klasterį pateko (anksčiausiai sujungti) apynio ir rugio žiedadulkių kiekiai atsižvelgiant į oro temperatūros intervalus (3.40 pav.). Tai parodo žiedadulkių kiekio ore priklausomybę nuo vidutinės oro temperatūros (žiedadulkės užfiksuotos, kai oro temperatūra buvo 10-25 °C, 3.39 pav.). Toliau viksvuoliniai ir kaštonas (gausiai žiedadulkių užfiksuota, kai oro temperatūra siekė 5–10 °C) bei gluosnis ir uosis (15–20 °C). Taigi dendrograma pagal jungimo atstumus iliustruoja žiedadulkių morfotipus, kurie labiausiai yra panašūs ir kurie labiausiai skiriasi pagal tai, kokios nustatytos oro temperatūros ribos žiedadulkių fiksavimo metu.

Santykinio oro drėgnumo ir žiedadulkių gausumo rezultatai pateikti 3.41 pav.

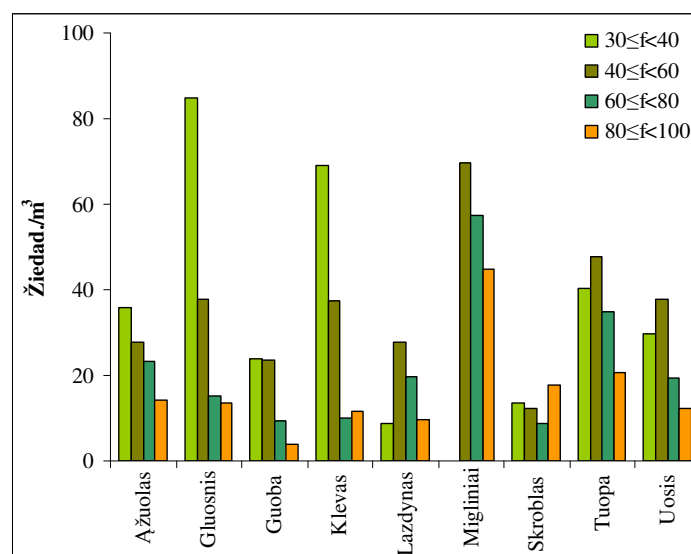


3.41 pav. Vidutinės alksnio, beržo, dilgėlinių, kiečio ir pušinių žiedadulkių koncentracijos Lietuvoje, nustatytos tam tikrose santykinio oro drėgnumo ribose (30–100 %)

Kadangi 2004–2009 m. bendrai Vilniuje, Klaipėdoje ir Šiauliuose mažiausias santykinis drėgnumas buvo daugiau nei 30 %, todėl 30–40 % išskirta kaip pirmoji santykinio drėgnumo riba (3.41 pav.). Gauti rezultatai atskleidžia, kad alksnio ir beržo genties augalų žiedadulkių gausiai fiksuojama, kai yra nedidelis santykinis oro drėgnumas (30-40 %). Įvertinus vidutinio

santykinio oro drėgnumo metinę eigą 1961–1991 m., santykinio drėgnumo minimumas būna gegužę (rytinėje dalyje – 67–71 %, vakarinėje – 72–75 %) (Galvonaitė ir kt., 2007). Kaip tik tuo laikotarpiu ir yra nustatomos didžiausios beržo genties augalų žiedadulkių koncentracijos, tačiau alksnio užfiksuojamos vasario–balandžio mėnesiais. 2004–2009 m. kovą daugiau kaip pusė dienų buvo, kai santykinis oro drėgnumas siekė >80 %, tačiau alksnio vidutinė žiedadulkių koncentracija, kai santykinis oro drėgnumas siekė 80–100 %, mažiausia (3.41 pav.). Dilgėlinių, kiečio ir pušinių augalų žiedadulkės fiksuojamos, kai santykinis oro drėgnumas yra 40–100 %, didelių skirtumų nenustatyta.

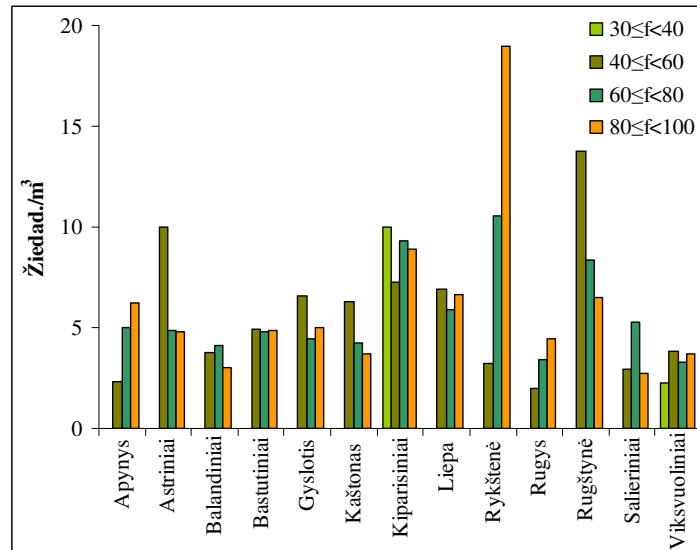
Detalesnė įvairių žiedadulkių morfotipų analizė (3.42 ir 3.43 pav.) atskleidė, kad žiedadulkių gausumas skiriasi priklausomai nuo oro drėgnumo.



3.42 pav. Vidutinės įvairių žiedadulkių morfotipų žiedadulkių koncentracijos Lietuvoje, nustatytos tam tikrose santykinio oro drėgnumo ribose (30–100 %)

Daugiausia ažuolo, gluosnio, klevo genčių ir kiparisinių šeimos augalų žiedadulkių fiksuojama esant nedideliame santykiniam oro drėgnumui (30–40 %). Apynio, rugio ir rykštenės genčių augalų didesnės žiedadulkių koncentracijos nustatytos, kai santykinis oro drėgnumas siekė 80–100 %.

Kadangi žiedadulkių sezono metu šių augalų žiedadulkių koncentracijos būna labai nedidelės, todėl teigti, kad žiedadulkių sklaida yra geriausia, esant dideliame oro drėgnumui, negalima. Šie pavyzdžiai iliustruoja, kad žiedadulkės yra fiksuojamos ir esant dideliame santykiniam oro drėgnumui.

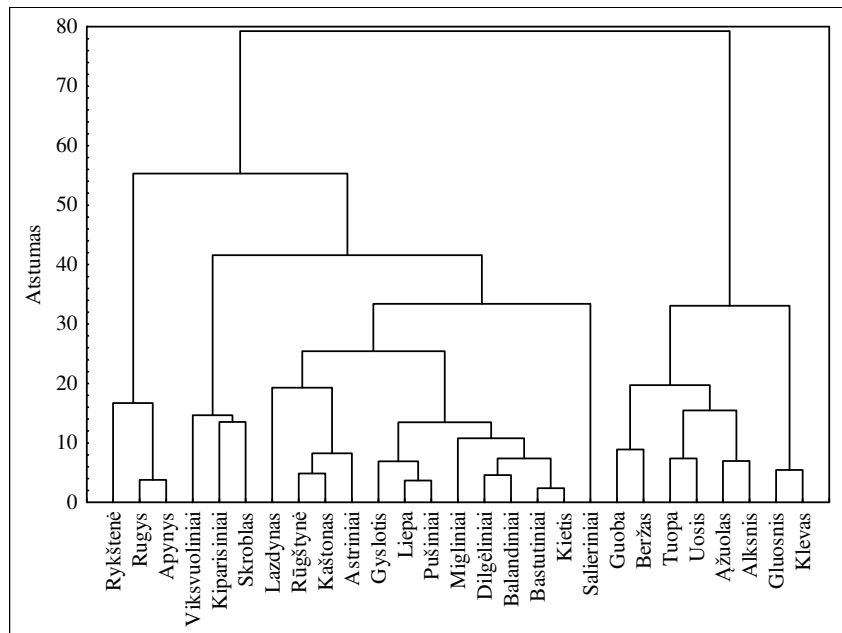


3.43 pav. Vidutinės įvairių žiedadulkių morfotipų žiedadulkių koncentracijos Lietuvoje, nustatytos tam tikrose santykinio oro drėgnumo ribose (30–100 %)

Didesnių skirtumų tarp optimalaus paros santykinio oro drėgnumo žiedadulkių sklaidai nenustatyta.

Panašių žiedadulkių morfotipų grupių išskyrimui, atsižvelgiant į santykinį oro drėgnumą, atlikta klasterinė analizė, kurios rezultatai pateikti 3.44 paveiksle. Pateikta dendrograma atskleidžia, kad išsiskiria du pagrindiniai klasteriai. Mažesnį (žiedadulkių morfotipų skaičiumi) klasterį sudaro guobos, beržo, tuopos, uosio, ąžuolo, alksnio, gluosnio ir klevo genčių augalų žiedadulkių rezultatai (3.44 pav.), kurie iliustruoja, kad daugiau šios genties augalų žiedadulkių fiksuojama, kai santykinis oro drėgnumas siekia 30–40 %. Kitas klasteris sudarytas iš augalų šeimų ir genčių, kai daugiau žiedadulkių fiksuojama, santykiniam oro drėgnumui siekiant 40–60 %. Panašiausi pagal

žiedadulkių sklaidą, esant tam tikrai santykiniai oro drėgnumo ribai, – kiečio genties ir bastutinių šeimos augalai (40–100 %).



3.44 pav. Klasterinės analizės dendrogramoje tarpusavyje susijusių įvairių žiedadulkių morfotipų grupės pagal vidutinę santykinę oro temperatūrą žiedadulkių fiksavimo metu

3.44 paveikslas iliustruoja, kad pušinių šeimos ir liepos genties augalų žiedadulkių fiksuojama daugiausia, kai santykinis oro drėgnumas yra 40–60 % ir 80–100 % ribose; apynio ir rugio genčių augalų didesnės žiedadulkių koncentracijos, kai santykinis oro drėgnumas – 80–100 %; balandinių ir dilgėlinių, nors ir nežymiai, – kai santykinis oro drėgnumas siekia 60–80 %. Kaštono ir rūgštyinės genčių augalų didesnės žiedadulkių koncentracijos nustatomos, kai santykinis oro drėgnumas siekia 60–80 %, o klevo ir gluosnio – 30–40 %.

Kritulių kiekio ir nustatytų žiedadulkių koncentracijų analizė atskleidė, kad žiedadulkės yra fiksuojamos ir esant krituliams. Paros kritulių kiekis apsunkina duomenų interpretaciją, kadangi priklausomai nuo kritulių pobūdžio ir trukmės, skiriasi žiedadulkių nusodinimo intensyvumas. Ilgai trunkantis lietus nusodina žiedadulkes, kai tuo tarpu trumpalaikis lietus didelio poveikio fiksuojamam paros žiedadulkių kiekiui neturi. Kai per parą iškrinta daugiau

kaip 30 mm lietaus, tai traktuojama kaip stipri liūtis (Bukantis ir kt., 1998). Vilniuje 2005 m. liepos 7 d. paros kritulių kiekis buvo 29,6 mm, tačiau dilgėlinių paros žiedadulkių koncentracija siekė 136 žiedad./m³. Šis pavyzdys iliustruoja, kad užfiksuota žiedadulkių koncentracija buvo nustatyta dar prieš liūtį. Tokių pavyzdžių 2004–2009 m. nėra labai daug. Miglinių šeimos augalų žiedadulkių fiksavimas esant liūtiniais krituliams – kitas panašus pavyzdys. Tais pačiais metais ir dieną Vilniuje nustatyta miglinių 38 žiedad./m³. 2008 m. birželio 23 d. Vilniuje iškrito 21,7 mm kritulių. Tą pačią dieną buvo nustatytos miglinių šeimos augalų 45 žiedad./m³. Tai patvirtina teiginį, kad paros žiedadulkių koncentracija ir paros kritulių kiekis neatskleidžia realios situacijos. Tikėtina, kad žiedadulkės buvo fiksuojamos dar prieš kritulius.

Panašios tendencijos nustatytos tarp vėjo greičio ir užfiksuojamos žiedadulkių koncentracijos. Daugiausia žiedadulkių fiksuojama esant vėjo greičiui 0–5 m/s ribose, tačiau pasitaiko atveju, kada nustatomos didelės žiedadulkių koncentracijos ir esant apysmarkiam vėjui. Pavyzdžiui, Klaipėdoje 2007 m. balandžio 20 d. vėjo greitis siekė 9,9 m/s, tą dieną užfiksuota 213 žiedad./m³ (beržo genties augalų). Tokių pavyzdžių nėra daug: iš dalies, todėl, kad Lietuvoje dienų, kai pučia smarkus (>15m/s) vėjas, nėra gausu (vidutiniškai 30–35 dienos pajūryje) (Galvonaitė ir kt., 2007). Tokios tendencijos priežastimi gali būti ir tai, kad esant stipriam vėjui, mažesnis žiedadulkių kiekis pakliūna į gaudyklę. Kadangi vėjo greitis turi labai ryškią paros eigą, t. y. vasarą silpniausi vėjai yra naktį ir paryčiui, o smarkiausi – po pietų, apie 14–15 valandą (Galvonaitė ir kt., 2007). Kaip tik tokiu metu vyksta intensyvūs augalų dulkėjimo procesai. Be to, Lietuvoje nuolat didėja vidutinio stiprumo (2–5 m/s) vėjų pasikartojimo dažnumas, o silpnų (0–1 m/s) ir stiprių (>6 m/s) vėjų mažėja (Bukantis ir kt., 1998). Taigi Lietuvoje dažnėja žiedadulkių kiekio gausėjimui optimalios vėjo greičio sąlygos.

3.5. Augalų pražydimo datų kaitos analizė ir terminis režimas

Išanalizavus aeropalinologinius duomenis, pastebėta, kad žydėjimo laikotarpis yra labai svarbus žiedadulkių sklaidai. Norint įvertinti žiedadulkių

sezono trukmės pokyčius klimato kaitos kontekste, būtina nustatyti pražydimo kaitą Lietuvoje ir temperatūros poveikį augalų žydėjimo pradžios fluktuacijai. Tuo tikslu atlikta išsami paprastojo lazdyno, karpotojo beržo ir mažalapės liepos pražydimo datų analizė. Šių augalų pasirinkimą lėmė keletas priežasčių. Pirmiausia, beržo ir lazdyno genties augalų žiedadulkės sukelia alerginius negalavimus. Kita priežastis – šių augalų pražydimo laikas: ankstyviausiai pražysta paprastasis lazdynas, po to – karpotasis beržas ir galiausiai vasarą – mažalapė liepa. Be to, šie augalai – fenoindikatoriai, kurie gali atskleisti klimato kaitos poveikį augalijai.

3.5.1. Paprastojo lazdyno žydėjimo fazės analizė

Lazdyno genties augalų žiedadulkės – vienos aeropalinologijos mokslo tyrimo objektų, kadangi yra svarbios tiriant alerginius susirgimus. Fenologijoje šis augalas indikuoja fenologinio pavasario sezono pradžią (Romanovskaja, 2004). Remiantis LHMT daugiamečiais duomenimis, buvo atlikta paprastojo lazdyno pražydimo datų analizė. Apibendrinti ir susisteminti duomenys pateikti 3.7 lentelėje.

3.7 lentelė. Paprastojo lazdyno pražydimo ankstyviausia, vėlyviausia datos, pražydimo standartinis nuokrypis, mediana, moda ir modos dažnis (1970–1999 m.) (moda ir jos dažnis nenurodyti, jei skirstinys daugiamodalinis)

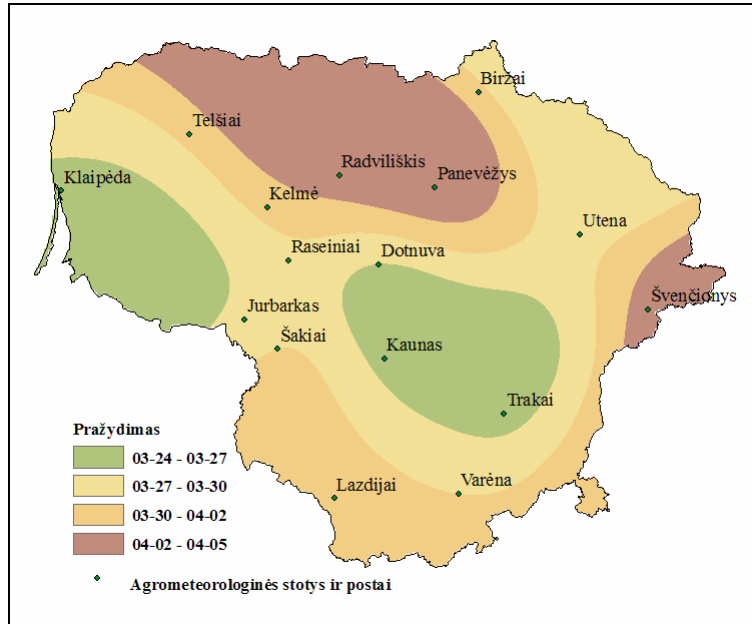
Agrometeorologinė stotis / postas	Žydėjimo datos		Standartinis nuokrypis	Mediana	Moda	Modos dažnis
	Ankstyviausia	Vėlyviausia				
Biržai	02-22	04-20	17,2	04-06	04-10	4
Dotnuva	02-06	04-26	20,3	04-02	04-02	3
Jurbarkas	02-10	04-26	18,2	04-02		
Kaunas	02-24	04-18	14,9	03-30	04-10	3
Kelmė	02-05	04-20	17,2	04-05	04-09	3
Lazdijai	02-23	04-26	17,1	04-05	04-12	3
Panevėžys	02-22	04-28	16,0	04-08	04-08	5
Radviliškis	02-22	04-30	16,1	04-08	04-16	4
Raseiniai	02-08	05-02	19,6	04-04		
Šakiai	02-20	04-30	18,6	04-04		
Švenčionys	02-26	04-26	14,6	04-07	04-08	5
Trakai	02-08	04-20	18,0	04-01	04-18	3
Utena	02-06	04-24	19,1	04-04	04-10	4
Varėna	02-14	04-20	16,5	04-02		
<i>Vidutinė reikšmė</i>	<i>02-15</i>	<i>04-24</i>	<i>17,4</i>	<i>04-04</i>	-	-

Lyginant nustatytas pražydimo datas, pastebima, kad anksčiausiai 1970-1999 m. paprastasis lazdynas pražydo Kelmėje (02-05), vėliausiai iš ankstyviausių užfiksuotų datų – Švenčionyse (02-26). Anksčiausiai Lietuvoje paprastasis lazdynas pražydo vasario antrajame dešimtadienyje (02-15), o vėliausiai – balandžio trečiajame dešimtadienyje (04-24). Vėlyviausios datos pasiskirsto taip: Kaunas (04-18) ir Raseiniai (05-02). Skirtumai tarp ankstyviausių ir vėlyviausių paprastojo lazdyno pražydimo datų vidutiniškai siekia 68 dienas. Iš tokios didelės variacijos (standartinis nuokrypis – 17,2-19,6 (17,4)) galima spręsti, kad šios rūšies augalai yra labai jautrūs temperatūros pokyčiams, kurie būdingi šiam metų laikui.

Mediana, parodanti ribą, esančią tarp ankstyvesnių ir vėlyvesnių už medianą datų, varijuoja nuo kovo 30 d. iki balandžio 8 d. Skaičiuojant duomenų modą, nustatyta, kad kai kurių stočių pražydimo duomenys turi daugiamodalinį skirstinį, todėl 3.7 lentelėje tokie atvejai nenurodyti. Daugiausiai pasikartojančių datų nustatyta balandžio mėnesį (tarp 8 dienos ir 18 dienos, modos dažnis – 3–5), tačiau tai nereiškia, kad paprastasis lazdynas dažniau pražysta balandį, tuo labiau, kad nustatyta vidutinė pražydimo mediana – balandžio 4 d. Remiantis daugiamečiais duomenimis, lazdyno pražydimo datose egzistuoja didelė tarpmetinė variacija (Romanovskaja, 2004), kuri 1970–1999 m. siekia iki 61 dienos.

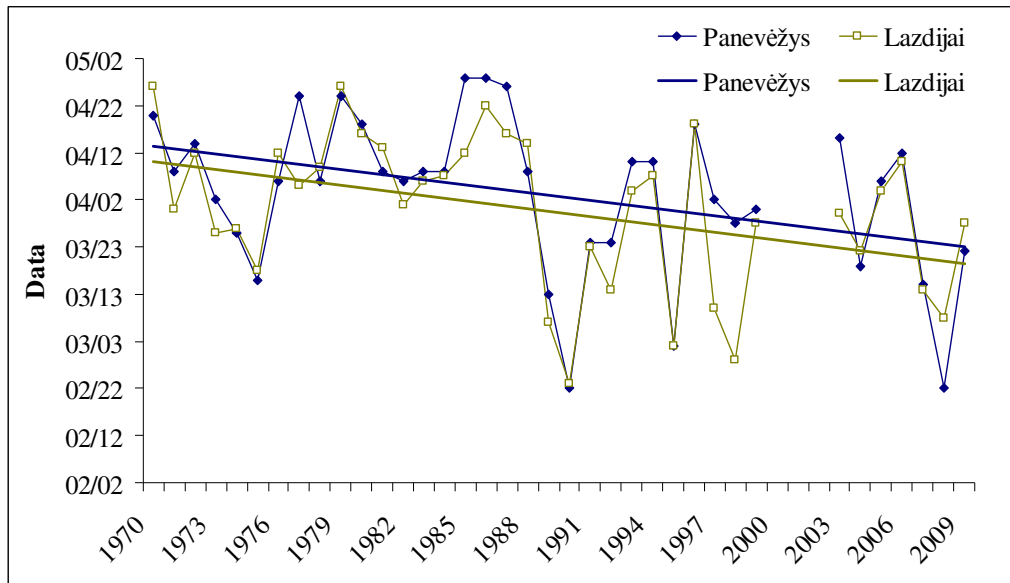
Lazdyno vidutinis pražydimas Lietuvoje pateiktas žemėlapyje (3.45 pav.). 1970–1999 m. fenologinių duomenų pagrindu atlikta duomenų analizė rodo paprastojo lazdyno pražydimą skirtingose Lietuvos vietovėse. Augalų vegetacijos pradžia įtakos turi tiek atmosferos, tiek dirvožemio terminis režimas (Bagdonas, Karalevičienė, 1987). Lazdynas – pavasario fenoindikatorius, jo žydėjimo pradžia dėsningai juda iš Lietuvos pietvakarių į šiaurę (3.45 pav.). Palyginus paprastojo lazdyno žydėjimo kaitą 1970–1999 m., nustatyta, kad augalų žydėjimo pradžios vidurkis kinta nedaug – apie 10 dienų nuo ankstyviausios iki vėlyviausios datos (3.7 lent. ir 3.45 pav.). Nustatyti vidurkiai sumažina duomenų interpretacijos galimybes, tačiau išryškina

pagrindines ir svarbiausias tendencijas, kurios aktualios modeliuojant augalų vystymosi kaitą kintančio klimato sąlygomis.



3.45 pav. Paprastojo lazdyno pražydimas vidutinės datos 1970–1999 m.

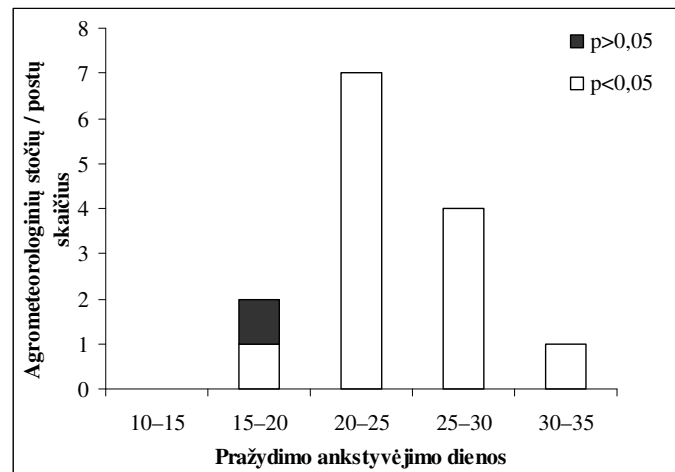
2003 m. LHMT atstačius fenologinių stebėjimų tinklą, pakito ilgalaikių duomenų stebėjimo vietas. Iš 14 stebėjimo vietų liko tik dvi ir dar dvi neturi ilgalaikių stebėjimo duomenų tęstinumo. Vertinant bendrą situaciją, galima susisteminti turimą informaciją ir pateikti nors ir minimalią, bet tęstinę žydėjimo situacijos apžvalgą.



3.46 pav. Paprastojo lazdyno pražydimas Panevėžyje ir Lazdijuose (1970–2009 m.) (tiesiniai trendai, kai $p < 0,05$)

3.46 paveiksle pavaizduoti paprastojo lazdyno pražydimo datų tiesiniai trendai. Tik iš dviejų stočių galima buvo panaudoti surinktus 2003-2009 m. tęstinius duomenis (Lazdijų ir Panevėžio). Papildžius ilgalaikius stebėjimus naujausiais duomenimis, trendai rodo ankstyvesnę augalų pražydimą (3.46 pav.). Remiantis Stjudento kriterijumi (t), Panevėžyje ir Lazdijuose patikrintas tiesinių trendų patikimumas ir gauta, kad iliustruojami pokyčiai (3.46 pav.) yra patikimi ($p < 0,05$) (3.8 lent.).

Analizės rezultatai rodo, kad paprastojo lazdyno pražydimas ankstyvėja. Tai patvirtina ir 3.47 paveiksle pateikti susisteminti pražydimo trendų pokyčiai dienomis.



3.47 pav. Paprastojo lazdyno pražydimo trendų pokyčiai (1970-1999 m. ir 2003–2009 m.) pagal dydį (dienomis) ir statistinį patikimumą

Remiantis regresijos lygtimi buvo apskaičiuotas paprastojo lazdyno augalų pražydimo ankstyvėjimas dienomis. Visose agrometeorologinėse stotyse ir postuose, kur buvo stebima ši fenologinė fazė, nustatyti neigiami trendai. Trendų patikimumas pagal Stjudento kriterijų pateiktas 3.8 lentelėje. Iš gautų rezultatų matyti, kad apskaičiuoti trendai yra 95 % patikimi, kai kuriais atvejais siekia net 99 % (Raseiniai ir Šakiai). Nepatikimas paprastojo lazdyno pražydimo datų trendas nustatytas tik Kaune ($p > 0,05$). Vadinasi ilgalaikių duomenų pagrindu pateikti augalų pražydimo pokyčiai yra reikšmingi.

3.8 lentelė. Paprastojo lazdyno pražydimo tiesinių trendų patikimumas pagal Stjudento kriterijų (t), kur l – laisvės laipsnių skaičius, p – patikimumo lygmuo

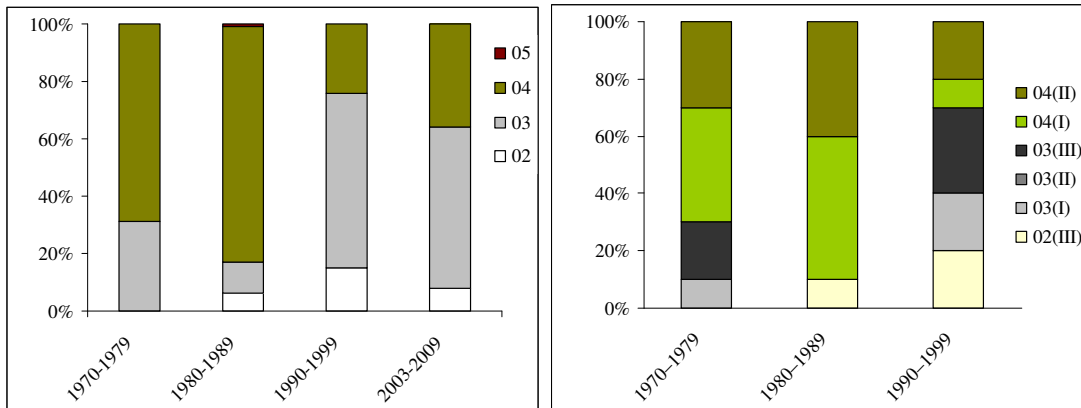
Agrometeorologinė stotis / postas	l	t	p
Biržai	28	2,34	0,026
Panevėžys	35	2,60	0,013
Utena	28	2,37	0,025
Dotnuva	28	2,22	0,035
Raseiniai	28	3,44	0,002
Kaunas	28	1,92	0,065
Varėna	28	2,47	0,020
Lazdijai	35	2,47	0,020
Radviliškis	28	2,36	0,025
Kelmė	28	2,20	0,037
Švenčionys	28	2,34	0,027
Jurbarkas	28	2,76	0,010
Šakiai	28	3,02	0,005
Trakai	28	2,53	0,017

Paprastojo lazdyno ankstyvėjimas Lietuvoje siekia 20–25 dienas ($p < 0,05$) ir tai sudaro 54% visų suskaičiuotų atvejų. Tuo tarpu 31% gautų rezultatų atskleidė 25–30 dienų intervale ($p < 0,05$) esantį žydėjimo ankstyvėjimą (3.47 pav.). Tik dviejų agrometeorologinių stočių duomenimis, nustatytas mažiausias paprastojo lazdyno pražydimo ankstyvėjimas, kuris siekia 16–18 dienų. R. Ahas ir kt. (2002) nustatė, kad lazdyno vegetacijos pradžia paankstyvėjo 10–20 dienomis (didesni pokyčiai Baltijos jūros regionuose). Tokie statistiškai patikimi trendai atskleidžia, kad ilgalaikiai duomenys vienareikšmiškai rodo augalų žydėjimo ankstyvėjimą, kurį galima susieti su klimato kaitos poveikiu.

Klimato kaitos problemos tarptautiniu lygmeniu pirmą kartą analizuotos 1990 m. (IPCC, 2007), kada buvo atkreiptas dėmesys į intensyvėjantį antropogeninės apkrovos poveikį aplinkai. Augalai gali būti vieni geriausių indikatorių, nurodančių aplinkos pokyčių mastą. LHMT turimus fenologinius stebėjimų duomenis išskaidžius dešimtmečiais, išryškėja paprastojo lazdyno pražydimo dėsningumai (3.48 pav.).

Tyrimo rezultatai rodo, kad paprastojo lazdyno žydėjimo pradžia 9-ajame dešimtmetyje jau fiksuojama vasario mėnesį (6–15 %). Įvertinus prieinamus publikuotus duomenis (Nacevičius, 1975) nustatyta, kad tokio ankstyvo

žydėjimo nebuvo pažymėta. Paprastojo lazdyno ankstyvo pražydimo skaičius per paskutinįjį XX a. dešimtmetį išaugo 2 kartus. Įvertinus paskutinių 7 metų duomenis, pastebima, kad paprastojo lazdyno pražydimas daugiausia kartų fiksuotas kovą (56 %).



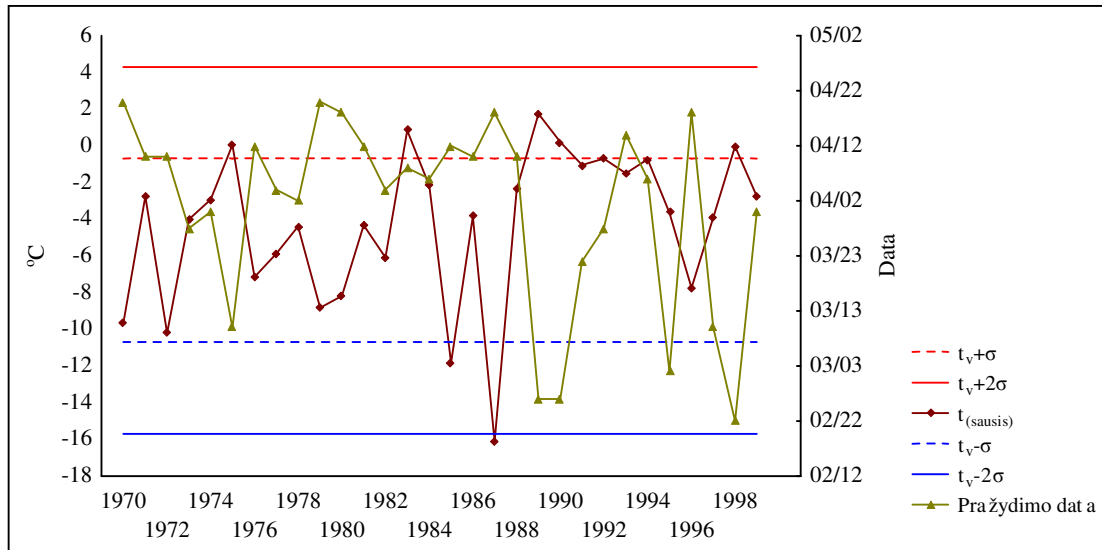
3.48 pav. Paprastojo lazdyno pražydimo datų pasiskirstymas (%) Lietuvoje, atsižvelgiant į nustatytą pražydimo mėnesį (1970–1999 m. ir 2003–2009 m.)

3.49 pav. Paprastojo lazdyno pražydimo datų pasiskirstymas (%) Biržuose, atsižvelgiant į pražydimo mėnesio dešimtadienį (1970–1999 m.) (dešimtadieniai pažymėti romėniškais skaitmenimis)

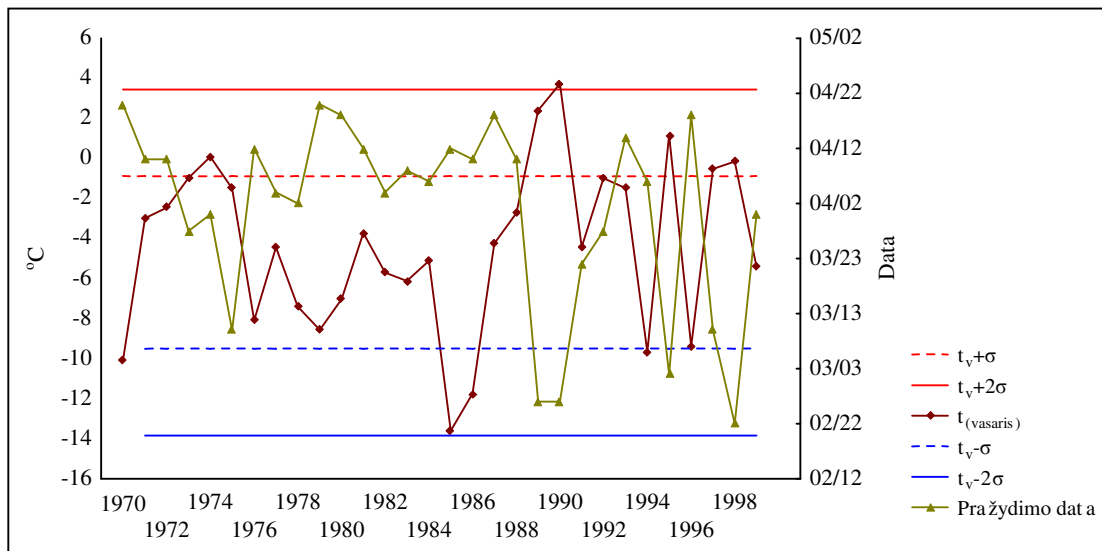
Nevienodas fenologinis tinklas 1970–1999 m. ir 2003–2009 m. apsunkina korektišką duomenų interpretaciją. Todėl daugiau dėmesio skiriama 1970-1999 m. analizei. Biržuose paprastojo lazdyno pražydimo datų pasiskirstymo rezultatai (3.49 pav.) rodo vienareikšmį šio augalo fenofazės pokytį. Analizuojamo laikotarpio pirmame dešimtmetyje (1970–1979 m.) nenustatyta, kad paprastasis lazdynas pražystų vasarį. Tuo tarpu paskutiniajame (1990–1999 m.) – 20 % pražydo vasarį, o kovą – 50%. Be aptartų ankstyvo žydėjimo atvejų išsiskiria ir vėlyvosios pražydimo datos, kurios būdingos 1980–1989 m. Tuo laikotarpiu 90% visų nustatytų datų užfiksuotos pirmame ir antrame balandžio dešimtadienyje.

Remiantis vidutine mėnesio oro temperatūra (1970–1999 m.) ir klimatine norma (1961–1990 m.), Biržuose buvo nustatyti šilti sausio ir vasario mėnesiai. 3.50 ir 3.51 paveiksluose pateikiamos sausio ir vasario mėnesių vidutinės oro temperatūros (t_{sausis} ir t_{vasaris}) ir paprastojo lazdyno pražydimo datos Biržuose (1970-1999 m.). Tiesios linijos paveiksluose rodo ribas, kurios iliustruoja

atitinkamas sąlygas: $t_v + \sigma < t < t_v + 2\sigma$ (raudona) ir $t_v - \sigma > t > t_v - 2\sigma$ (mėlyna). Jei temperatūra virš raudonos linijos – mėnuo anomaliai šiltas, jei žemiau – anomaliai šaltas, jei tarp dviejų linijų (tiesios ir punktyrinės) – šiltas arba šaltas atitinkamai.



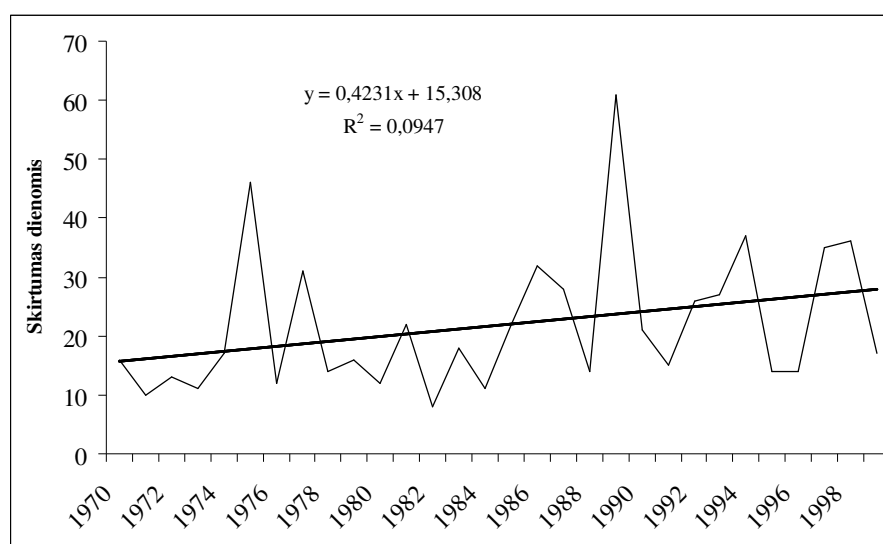
3.50 pav. Sausio mėnesio vidutinė oro temperatūra (t_{sausis}), $t_v + \sigma$, $t_v + 2\sigma$, $t_v - \sigma$, $t_v - 2\sigma$, kur t_v - sausio vidutinė daugiametė oro temperatūra pagal klimatinę normą (1961–1990 m.), ir paprastojo lazdyno pražydimo datos Biržuose (1970-1999 m.)



3.51 pav. Vasario mėnesio vidutinė oro temperatūra (t_{vasaris}), $t_v + \sigma$, $t_v + 2\sigma$, $t_v - \sigma$, $t_v - 2\sigma$, kur t_v - vasario vidutinė daugiametė oro temperatūra pagal klimatinę normą (1961–1990 m.), ir paprastojo lazdyno pražydimo datos Biržuose (1970-1999 m.)

1970–1999 m. nustatyti šilti ir anomaliai šilti sausio ir vasario mėnesiai, kurie sudarė po 20% visų atvejų. Šaltų ir anomaliai šaltų mėnesių nustatyta nedaug, tik keli. Palyginus 3.50 ir 3.51 paveiksluose pateiktus rezultatus matyti, kad anksti žydintys augalai reaguoja į sausio-vasario mėnesių oro temperatūrų kaitą. Be to, suskirsčius 1970–1999 m. dešimtmečiais, pastebima, kad 1990-1999 m. buvo daugiausia šiltų ir anomaliai šiltų mėnesių. Vadinasi, 1990–1999 m. Biržuose paprastojo lazdyno ankstyvesnį pražydimą, lyginant su kitais dviem dešimtmečiais, sąlygojo šilti ir anomaliai šilti sausio ir vasario mėnesiai. Kita tendencija susijusi su šaltais mėnesiais ir žema vidutine oro temperatūra, kuri sąlygojo vėlyvesnį 1980-1989 m. paprastojo lazdyno pražydimą. Analizės rezultatai rodo, kad anksti pražystantys augalai yra jautrūs oro temperatūros svyravimams.

Pražydimo datų erdvinis netolygumas – kitas galimų pokyčių vertinimo aspektas. Tuo tikslu buvo įvertintas skirtumas tarp anksčiausiai ir vėliausiai užfiksuotų paprastojo lazdyno pražydimo datų Lietuvoje. Susisteminti duomenys atskleidžia, kad 30 metų laikotarpiu skirtumas tarp ankstyviausios ir vėlyviausios konkrečių metų pražydimo datų išaugo. Tą iliustruoja ir 3.52 paveiksle pavaizduotas tiesinis kylantis trendas.



3.52 pav. Skirtumas dienomis ($p > 0,05$) tarp paprastojo lazdyno ankstyviausios ir vėlyviausios pražydimo datos Lietuvoje (1970–1999 m.)

Skirtumai tarp anksčiausiai ir vėliausiai užfiksuojamų pražydimo datų vidutiniškai padidėjo iki 12 dienų ($t(28) = -1,67$, $p = 0,107$). 1970–1999 m. nustatytas 8–61 dienų skirtumas tarp ankstyviausios ir vėlyviausios žydėjimo datos rodo pakankami didelį duomenų išsibarstymą, kas būdinga fenologiniams stebėjimams ir anksti pražystantiems augalams. Vis dėlto, nepaisant didelių erdvinių skirtumų, kurie iliustruojami riba tarp anksčiausios ir vėliausios pražydimo datos Lietuvoje, nurodomi pokyčiai statistiškai nėra patikimi ($p > 0,05$).

Apibendrinus galima teigti, kad, remiantis ilgalaikiais fenologiniais duomenimis, paprastojo lazdyno pražydimas paankstyvėjo. Lazdynas – vienas anksčiausiai pavasarį pražystančių augalų, kuris neabejotinai yra jautrus temperatūros pokyčiams (Menzel et al., 2006). Todėl ir klimato kaitos įtaka žydėjimo ankstyvėjimui, pasireiškianti per temperatūrinio režimo kitimą, ryškėja vertinant daugiamečius paprastojo lazdyno fenologinius duomenis.

3.5.2. Karpotojo beržo žydėjimo fazės analizė

Karpotasis beržas – kitas fenologijoje ir aerobiologijoje plačiai aptariamas augalas, kuris, lyginant su lazdynu, pražysta vėliau ir pasižymi didelėmis žiedadulkių koncentracijomis dulckėjimo periodu. Remiantis LHMT daugiamečiais duomenimis, buvo atlikta karpotojo beržo pražydimo datų analizė. Apibendrinti ir susisteminti duomenys pateikti 3.9 lentelėje.

3.9 lentelė. Karpotojo beržo pražydimo ankstyviausia, vėlyviausia datos, pražydimo standartinis nuokrypis, mediana, moda ir modos dažnis (1970-1999 m.) (moda ir jos dažnis nenurodyti, jei skirstinys daugiamodalinis)

Agrometeorologinė stotis / postas	Žydėjimo datos		Standartinis nuokrypis	Mediana	Moda	Modos dažnis
	Ankstyviausia	Vėlyviausia				
Biržai	04-16	05-20	8,1	05-06	05-06	5
Dotnuva	04-20	05-21	7,3	05-04	05-06	4
Ignalina	04-18	05-16	8,0	05-05		
Joniškis	04-16	05-17	7,6	05-07	05-08	6
Marijampolė	04-02	05-15	9,5	05-02	04-30	4
Panevėžys	04-19	05-15	6,7	05-07		
Radviliškis	04-16	05-14	7,2	05-02		
Raseiniai	04-20	05-24	9,0	05-06	04-28	5
Rokiškis	04-18	05-14	7,4	05-04		

3.9 lentelės tęsinys

Agrometeorologinė stotis / postas	Žydėjimo datos		Standartinis nuokrypis	Mediana	Moda	Modos dažnis
	Ankstyviausia	Vėlyviausia				
Šakiai	04-04	05-14	9,3	05-01	04-30	5
Šiauliai	04-16	05-30	8,4	05-08		
Švenčionys	04-18	05-20	8,6	05-09	05-14	4
Tauragė	04-10	05-20	10,7	05-06	04-26	4
Utena	04-14	05-14	7,6	05-04	05-04	5
Varėna	04-06	05-14	9,2	05-03	05-04	5
<i>Vidutinė reikšmė</i>	<i>04-14</i>	<i>05-17</i>	<i>8,3</i>	<i>05-04</i>	-	-

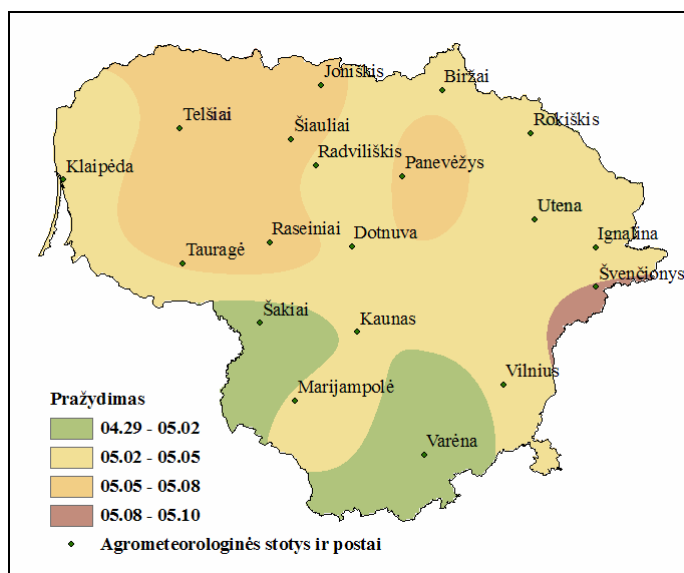
Pagal karpotojo beržo daugiamečius žydėjimo stebėjimus matyti, kad anksčiausiai 30 metų laikotarpiu beržas pražydo balandžio 2 d. Marijampolėje. Ankstyviausių žydėjimo datų poslinkis – apie 18 dienų (anksčiausios ir vėliausios datos atžvilgiu). Vėliausiai beržas 30 metų laikotarpiu Lietuvoje pražydo gegužės 30 d. Šiauliuose. Pagal šias datas nustatytas 16 d. poslinkis.

Standartinis nuokrypis ir variacijos koeficientas, lyginant su paprastojo lazdyno pražydymo datomis, yra mažesni (3.7 ir 3.9 lent.), o tai rodo, kad beržo pražydymo datos mažiau varijuoja. Medianos kaita labai panaši, kadangi siekia kelias gegužės dienas (05-01–05-09). Nustatyta daug atvejų, kada duomenys turi daugiamodalinių skirstinių, todėl atmetus šiuos atvejus matyti, kad daugiausia pasikartojančių (dažnis 4–6) datų yra pirmajame gegužės dešimtadienyje.

Palyginus ankstyviausias, vėlyviausias datas, medianą ir modą galima pastebėti, kad neretai karpotojo beržo pražydymas fiksuojamas ir antrajame balandžio dešimtmetyje. Tokia duomenų sklaida rodo, kad karpotasis beržas yra jautrus oro temperatūrai. Duomenų variacija yra nedidelė, kadangi kovo–balandžio mėnesių oro temperatūros tarpmetinė kaita yra mažesnė, lyginant su sausio–vasario mėnesiais.

Analizuojant beržo žydėjimo pradžios dėsningumus (pagal žydėjimo datų vidurkius) (3.53 pav.), nustatytas tolygesnis žydėjimo pradžios pasiskirstymas, lyginant su paprastojo lazdyno pražydimu, tačiau erdviniai skirtumai tarp stebėjimo datų išlieka panašūs – apie 8 dienas. Kadangi Lietuvoje karotojo beržo žydėjimas nėra išskirtas kaip indikatorius, todėl išsamios lyginamosios analizės tarp ankstesnių tyrimų atlikti nepavyko. Yra žinoma, kad normaliomis

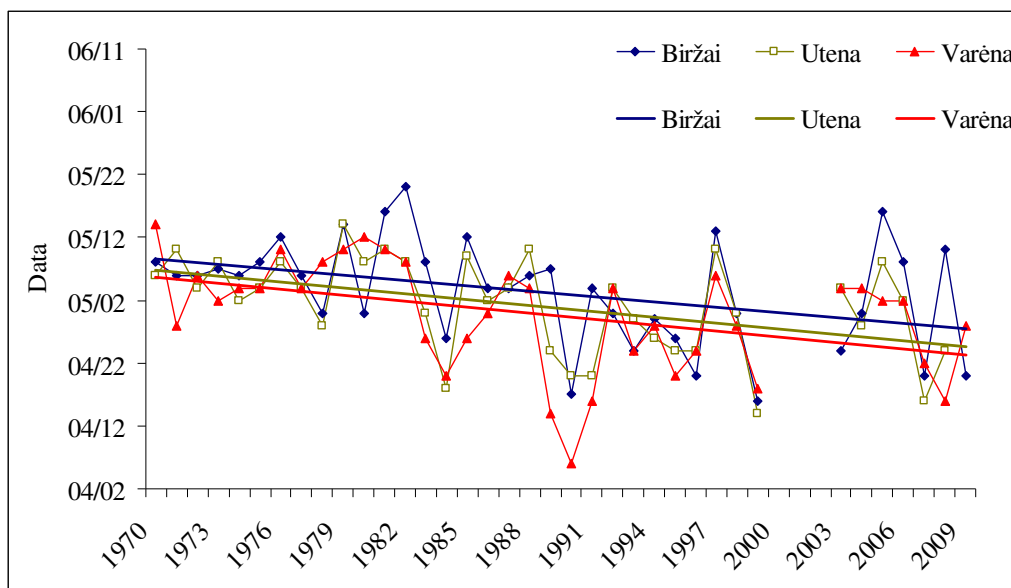
sąlygomis žydi lapams skleidžiantis, balandžio pabaigoje arba gegužės pradžioje (Navasaitis ir kt., 2003). Palyginus ankstyviausias ir vėlyviausias pražydimo datas galima pastebėti, kad karpotasis beržas pražysta ir balandžio pradžioje, ir gegužės pabaigoje. Vadinasi toks poslinkis (ekstremalus pražydimas) yra galimas pasikeitus aplinkos sąlygoms. Kadangi karpotasis beržas yra vienas iš atspariausių medžių ligoms bei kenkėjams, auga tiek sausuose smėlio dirvožemiuose, tiek ir drėgnuose durpynuose (Navasaitis ir kt., 2003), vadinasi pastebimus pokyčius galima sieti su meteorologinių sąlygų kaita.



3.53 pav. Karpotojo beržo pražydimo vidutinės datos 1970–1999 m.

Pateiktas karpotojo beržo pražydimo datų žemėlapis (3.53 pav.) parodo žydėjimo perėjimą per Lietuvą. Iš pateiktų rezultatų matyti, kad beržai anksčiausiai žydėti pradėjo pietinėje teritorijos dalyje, vėliausiai rytinėje dalyje ir Žemaičių aukštumoje.

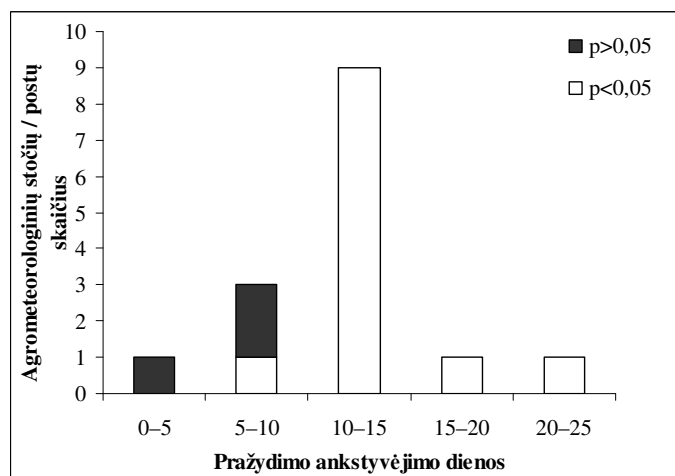
Galimų pokyčių įvertinimui yra svarbi pražydimo tendų analizė, kuriai atlikti pasinaudota ne tik 1970–1999 m. fenologine informacija, bet ir papildomais duomenimis, kurie apima 2003–2009 m. Nepaisant to, kad po fenologinių stebėjimų atkūrimo suformuotas platus karpotojo beržo fenologinių stebėjimų tinklas (10–12 stočių), tačiau tik kelios stotys išlaiko duomenų tęstinumą (Biržai, Utena ir Varėna).



3.54 pav. Karpotojo beržo pražydymas Biržuose, Utenoje ir Varėnoje (1970-2009 m.) (tiesiniai trendai, kai $p < 0,05$)

Atsižvelgiant į 1970–1999 m. ir 2003–2009 m. beržo žydėjimo duomenis, matyti, kad tiesiniai žydėjimo trendai rodo karpotojo beržo pražydimo ankstyvumą Biržuose, Utenoje ir Varėnoje (3.54 pav.). Patikrinus tiesinių trendų statistinį patikimumą (3.10 lent.) gauta, kad rodomi pokyčiai yra reikšmingi ($p < 0,01$). Nustatytos tendencijos atskleidė karpotojo beržo ankstyvumą keliuose stotyse.

Visos Lietuvos analizei atlikti buvo apskaičiuoti tiesiniai trendai (3.55 pav.) pagal tų vietovių duomenis, kur vykdyti nuoseklūs fenologiniai stebėjimai.



3.55 pav. Karpotojo beržo pražydimo trendų pokyčiai (1970–1999 m. ir 2003-2009 m.) pagal dydį (dienomis) ir statistinį patikimumą

Visi trendai, kurių kritimo rezultatai yra pateikti 3.55 paveiksle, buvo patikrinti, ar jų rodomi pokyčiai yra statistiškai reikšmingi. Gauti rezultatai pateikti 3.10 lentelėje.

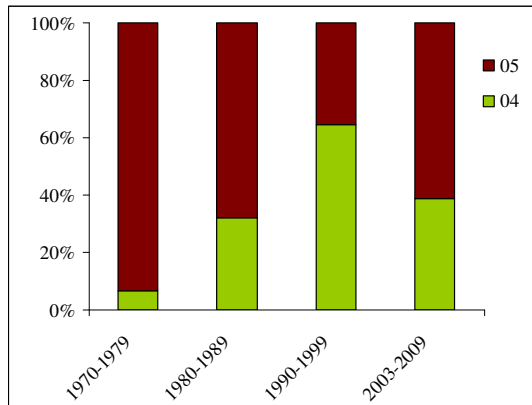
3.10 lentelė. Karpotojo beržo pražydimo tiesinių trendų patikimumas pagal Stjudento kriterijų (t), kur l – laisvės laipsnių skaičius, p – patikimumo lygmuo

Agrometeorologinė stotis / postas	l	t	p
Biržai	35	3,08	0,004
Dotnuva	28	3,68	0,001
Ignalina	28	2,97	0,006
Joniškis	28	2,84	0,008
Marijampolė	28	2,47	0,020
Panevėžys	28	2,74	0,011
Radviliškis	28	1,47	0,152
Raseiniai	28	3,93	0,001
Rokiškis	28	3,50	0,002
Šakiai	28	2,02	0,053
Šiauliai	28	1,73	0,096
Švenčionys	28	2,71	0,011
Tauragė	28	4,35	0,000
Utena	34	3,28	0,002
Varėna	35	3,28	0,002

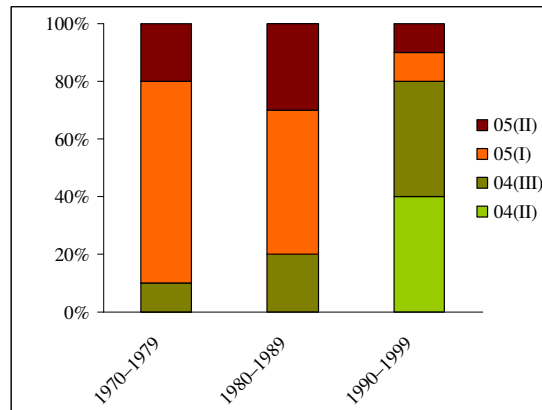
Karpotojo beržo pražydimas paankstyvėjo 10-15 dienų (75% visų nustatytų atvejų). Iš 3.10 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad karpotojo beržo pražydimo ankstyvėjimo pokyčių patikimumas siekė 99 %. Nepatikimus pokyčius parodė augalų pražydimas Radviliškyje, Šakiuose ir Šiauliuose.

Siekiant nustatyti pokyčių priežastis, 1970–1999 m. buvo suskirstyti dešimtmečiais, pažymint pražydimo datos mėnesį. Rezultatai pateikti 3.56 paveiksle. Analizuojant karpotojo beržo žydėjimo pradžios rezultatus, nustatytas 1970–1999 m. žydėjimo poslinkis. 3.56 paveiksle parodyta, kad 1970–1979 m. balandžio mėnesį pastebėti vos keli beržo pražydimo atvejai, tačiau 1990–1999 m. pražydimas balandį tapo beveik įprastu reiškiniu (apie 100 atvejų per dešimtmetį). 2003–2009 m. duomenys rodo, kad tokio stipraus poslinkio balandį nenustatyta. Po fenologinio tinklo atkūrimo pakeisti stebimi objektai, vietovės ir stebėtojai, todėl žydėjimo duomenų lyginimo galimybės nėra adekvačios. Be to, ne iki galo užsibaigęs dešimtmetis sumažina rezultatų

interpretacijos galimybes. Vis dėlto iš 2003–2009 m. stebėtų žydėjimo pradžių datų matyti, kad šiuo laikotarpiu stebėti augalai dažniau pražydo gegužę (apie 61 % visų atvejų).



3.56 pav. Karpotojo beržo pražydimo datų pasiskirstymas (%) Lietuvoje, atsižvelgiant į nustatytą pražydimo mėnesį (1970–1999 m. ir 2003–2009 m.)

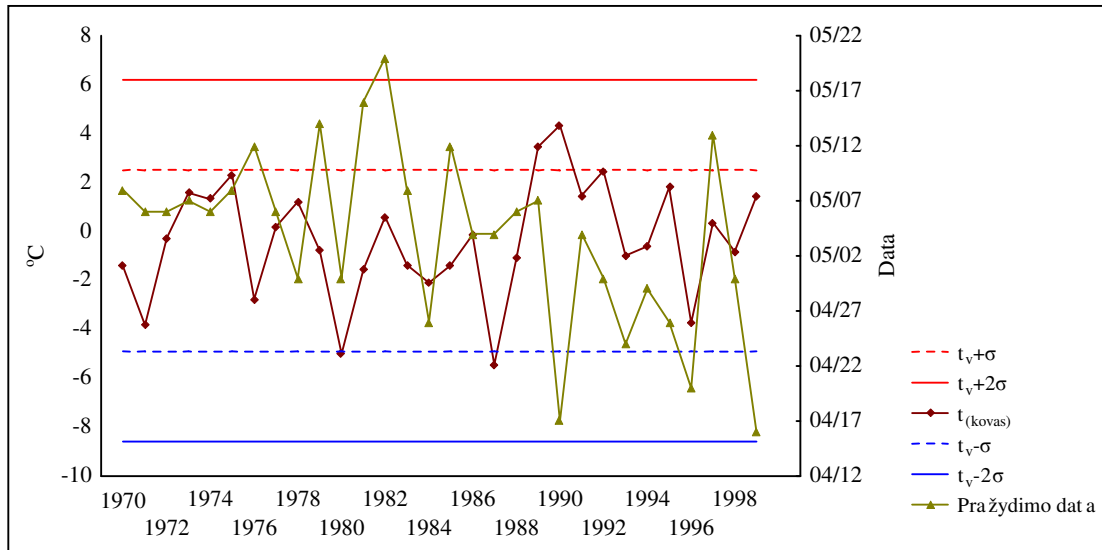


3.57 pav. Karpotojo beržo pražydimo datų pasiskirstymas (%) Biržuose, atsižvelgiant į pražydimo mėnesio dešimtadienį (1970–1999 m.) (dešimtadieniai pažymėti romėniškais skaitmenimis)

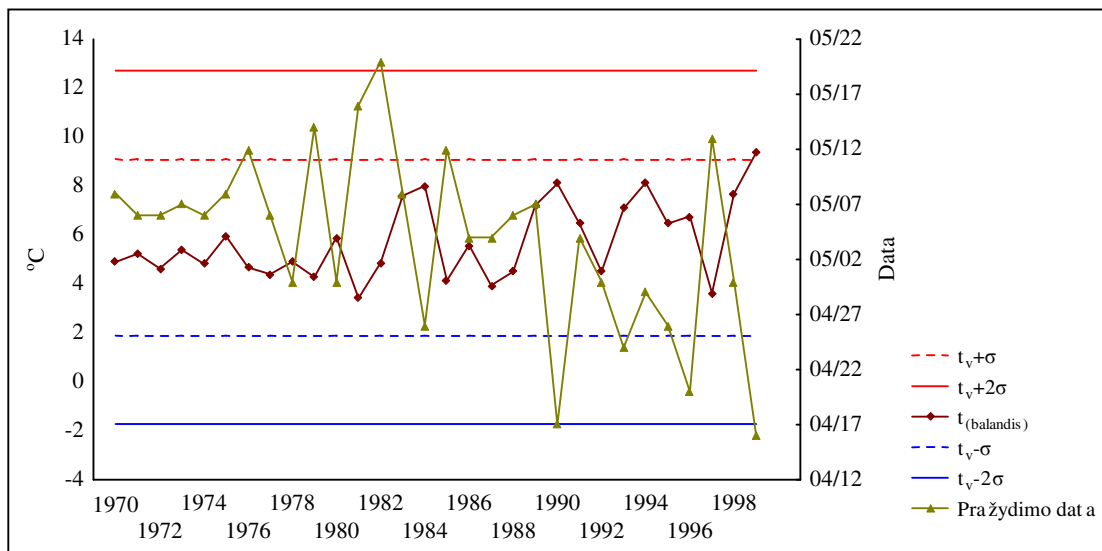
Palyginus dešimtadienius, pražydimo dėsningumai dar aiškiau atskleidžiami (3.57 pav.). Gauti rezultatai parodo, kad Biržuose 1990–1999 m. karpotasis beržas pražydo antrąjį ir trečiąjį balandžio dešimtadienį (70 % visų atvejų). Tokius skirtumus galėjo lemti oro temperatūros kaita.

Tikėtina, oro temperatūros poveikiui nustatyti suskaičiuotos Biržų kovo ir balandžio mėnesių vidutinės oro temperatūros (1970–1999 m.) ir išskirti šilti bei anomaliai šilti mėnesiai. Gauti rezultatai, kurie pateikti 3.58 ir 3.59 paveiksluose, rodo, kad, lyginant su sausiu ir vasariu, kovą ir balandį vidutinė oro temperatūra nuo daugiametės klimatinės normos skyrėsi ne daug. Kovo mėnuo Biržuose 1970-1999 m. trečiajame dešimtmetyje buvo šiltas (1989 m., 1990 m.), o balandis tik 1999 m. išskirtas kaip šiltas mėnuo. Palyginus karpotojo beržo pražydimo datų kreivę su kovo–balandžio vidutinėmis temperatūromis matyti, kad pražydimo poslinkis, lyginant su ankstyvųjų augalų, yra mažesnis. Vis dėl to, rezultatai atskleidžia, kad ankstyvesnes pražydimo datas galima sieti su aukštesne oro temperatūra.

Fenologinių duomenų rodomas pražydimo ankstyvėjimas yra sąlygotas oro temperatūros kaitos, kadangi 30 metų laikotarpiu sausio–kovo mėnesiai šilčiausi buvo būtent 1989-1998 m.

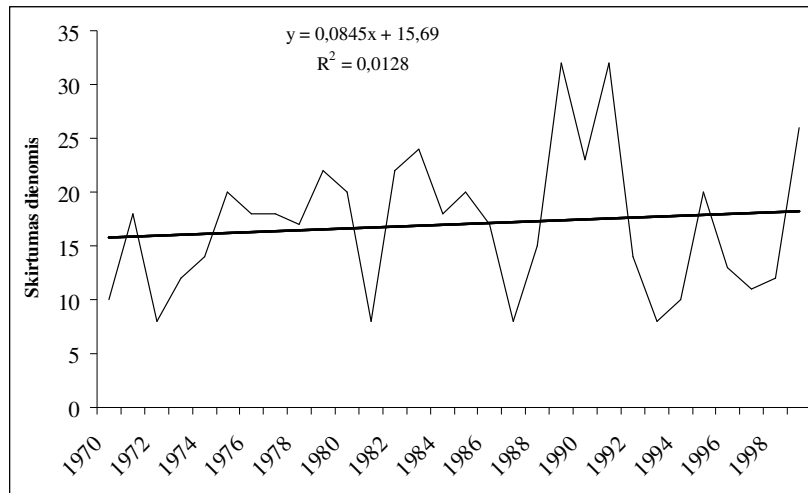


3.58 pav. Kovo mėnesio vidutinė oro temperatūra ($t_{(kovas)}$), $t_v+\sigma$, $t_v+2\sigma$, $t_v-\sigma$, $t_v-2\sigma$, kur t_v - kovo vidutinė daugiametė oro temperatūra pagal klimatinę normą (1961–1990 m.), ir karpotojo beržo pražydimo datos Biržuose (1970-1999 m.)



3.59 pav. Balandžio mėnesio vidutinė oro temperatūra ($t_{(balandis)}$), $t_v+\sigma$, $t_v+2\sigma$, $t_v-\sigma$, $t_v-2\sigma$, kur t_v - balandžio vidutinė daugiametė oro temperatūra pagal klimatinę normą (1961–1990 m.), ir karpotojo beržo pražydimo datos Biržuose (1970-1999 m.)

M. Navasaičio ir kt. (2003) teigimu karpotajam beržui oro temperatūra svarbi pirmojoje vegetacijos periodo pusėje ir šis augalas pražysta lapams skleidžiantis. Taigi ši fenologinė fazė yra jautri oro temperatūros svyravimams.



3.60 pav. Skirtumas dienomis ($p > 0,05$) tarp karpotojo beržo ankstyviausios ir vėlyviausios pražydimo datos Lietuvoje (1970–1999 m.)

Metiniai skirtumai tarp ankstyviausios ir vėlyviausios pražydimo datos (3.60 pav.) atskleidžia erdvinę pražydimo kaitą Lietuvoje. Nustatyti skirtumai siekia 8–32 dienas, o jų vidurkis, kaip ir mediana, – 17 dienų. Poslinkis tarp minimalios ir maksimalios anksčiausios ir vėliausios pražydimo datos kinta 35–38 dienų intervale. Tokie pokyčiai rodo, kad aplinkos sąlygos yra svarbios karpotojo beržo žydėjimo vystymuisi. Skirtumai tarp žydėjimo datų varijuoja (tarp regionų) ir pagal tiesinę regresinę lygtį 30 metų laikotarpiu išaugo iki 3 dienų ($t(28) = -0,54$, $p = 0,592$).

Tai nėra statistiškai patikimas pokytis, tačiau regioniškumas gali didėti, priklausomai nuo temperatūros kaitos Lietuvos teritorijoje. Pagal klimato modelius XXI a. yra numatomi nedideli regioniniai pokyčių skirtumai (Rimkus ir kt., 2007), kuriuos gali atspindėti augalų žydėjimo tolygumas Lietuvoje.

3.5.3. Mažalapės liepos žydėjimo fazės analizė

Trečiasis analizuojamas augalas – mažalapė liepa, kurios žydėjimo fenofazė indikuoja vidurvasarį (Taikomoji fenologija Lietuvoje, 1983). Liepos genties augalai mažiau svarbūs alergeniniu požiūriu, kadangi nustatyti tik keli alerginiai susirgimai arba įsijautrinimo liepos genties augalų žiedadulkėms atvejai (Mur et al., 2001; Staikūnienė ir kt., 2005). Vis dėlto, aerobiologiniu aspektu jų analizė taip pat yra svarbi. Aktualu ir tai, kad liepos genties augalai pražysta vidurvasaryje, todėl galima įvertinti, kaip klimato kaita lemia skirtingu laikotarpiu pražystančių augalų vegetaciją. Remiantis LHMT daugiamečiais duomenimis, buvo atlikta mažalapės liepos pražydimo datų analizė. Apibendrinti ir susisteminti duomenys pateikti 3.11 lentelėje.

3.11 lentelė. Mažalapės liepos pražydimo ankstyviausia, vėlyviausia datos, pražydimo standartinis nuokrypis, mediana, moda ir modos dažnis (1970–1999 m.) (moda ir jos dažnis nenurodyti, jei skirstinys daugiamodalinis)

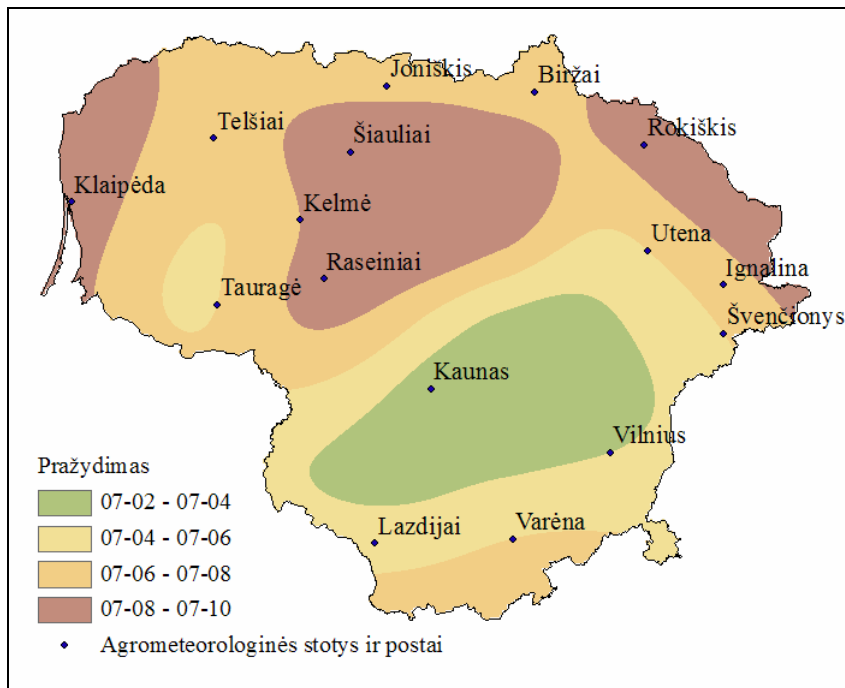
Agrometeorologinė stotis / postas	Žydėjimo datos		Standartinis nuokrypis	Mediana	Moda	Modos dažnis
	Ankstyviausia	Vėlyviausia				
Biržai	06-28	07-20	6,6	07-06	07-04	7
Ignalina	06-22	07-26	7,0	07-07		
Joniškis	06-20	07-20	8,3	07-06	07-06	5
Kelmė	06-20	07-25	7,2	07-08	07-10	6
Lazdijai	06-20	07-23	7,7	07-05		
Raseiniai	06-28	07-26	7,5	07-08	06-30	7
Rokiškis	06-28	07-22	8,5	07-08	07-04	4
Šiauliai	06-18	07-26	6,9	07-10	07-10	7
Švenčionys	06-22	07-28	6,4	07-06	06-28	4
Tauragė	06-24	07-20	7,9	07-06	07-06	6
Telšiai	06-24	07-20	8,4	07-09	07-10	5
Utena	06-24	07-22	6,7	07-04		
Varėna	06-20	07-24	8,5	07-06		
<i>Vidutinė reikšmė</i>	<i>06-22</i>	<i>07-23</i>	<i>7,51</i>	<i>07-06</i>	-	-

Pagal mažalapės liepos daugiamečius pražydimo duomenis matyti, kad anksčiausiai 30 metų laikotarpiu liepa pražydo birželio 18 d. Šiauliuose. Ankstyviausių žydėjimo datų poslinkis nedidelis ir siekė apie 10 dienų. Vėliausiai mažalapė liepa 30 metų laikotarpiu pražydo Švenčionyse – liepos 28 d. Šių datų atžvilgiu nustatytas 8 d. poslinkis.

Apskaičiuotas standartinis nuokrypis iliustruoja mažesnę duomenų išsibarstymą nei paprastojo lazdyno ir karpotojo beržo pražydimo datų. Tai parodo, kad mažalapė liepa yra mažiausiai jautri oro temperatūros pokyčiams, kurie vyksta žiemą ar anksti pavasarį. Mediana varijuoja nuo 07-05 iki 07-10, o daugiausia pasitaikanti moda yra 07-10 (5-7).

Mažalapės liepos pražydimo skirtumai gali būti sąlygoti reljefo. Vasarą oro temperatūrai didelės reikšmės turi reljefas ir jo formos, nuo kurių priklauso vertikalus temperatūros gradientas (Galvonaitė ir kt., 2007). Galima pateikti keletą pavyzdžių. Kadangi, Telšiai labiausiai veikiami Žemaičių aukštumos, tai atsirandantys pražydimo skirtumai ir didelė duomenų variacija (standartinis nuokrypis – 8,5) yra tikėtina. Varėnoje mažalapės liepos pražydimo variacija irgi yra didelė (8,5). Be to, Varėnos meteorologijos stotis įrengta neigiamoje reljefo formoje (Galvonaitė ir kt., 2007), o neigiamose reljefo formose naktį yra šalčiau, o dieną – karščiau. Taigi duomenų išsibarstymas ir variacija yra tikėtinos dėl nevienodų aplinkos sąlygų.

Norint išsiaiškinti, kaip augalų žydėjimą ir kitus vystymosi tarpsnius veikia temperatūrinio režimo kaita, buvo įvertintas mažalapės liepos pražydimas Lietuvoje ir sudarytas žemėlapis (3.61 pav.).



3.61 pav. Mažalapės liepos pražydimo vidutinės datos 1970–1999 m.

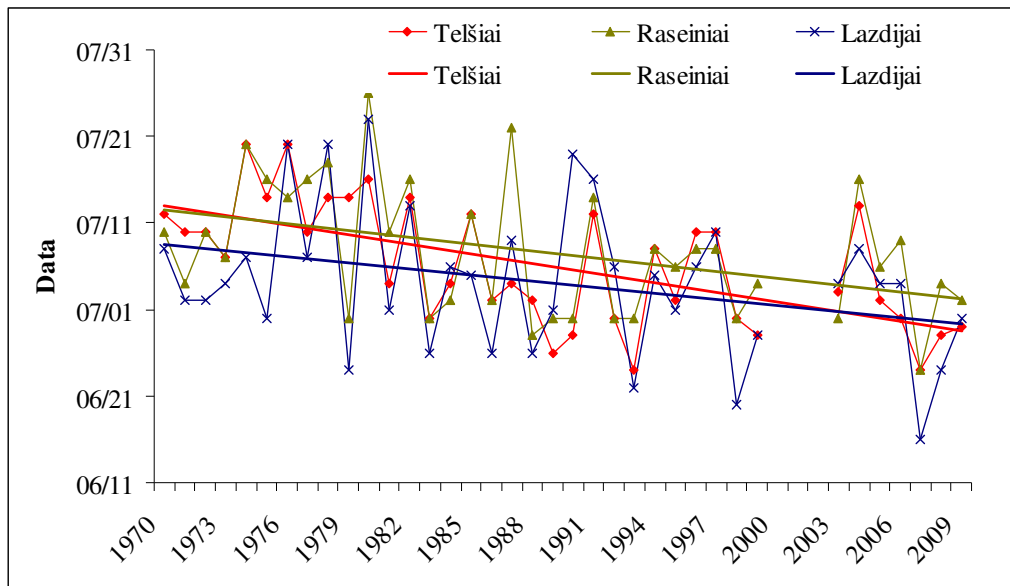
Kadangi žinoma, kad liepos žydėjimo pradžia siejama su vidurvasariu, akivaizdu, kad šio augalo vystymasis mažiau priklausomas nuo temperatūros svyravimų. Tai ypač išryškėja įvertinus daugiamečius liepos pražydimo duomenis. Remiantis 1970–1999 m. LHMT sukaupta informacija, pavyko nustatyti, kad liepa Lietuvoje pražysta gana tolygiai, t. y. nuo ankstyviausios iki vėlyviausios vidutinės datos – 5 dienos. Gautus rezultatus palyginus su Lietuvos žemdirbystės instituto savanorių tinklo surinktais duomenimis ir jų atlikta analize, nustatyti panašūs dėsningumai. D. Romanovskaja (2003) nurodo, kad žydėjimo pradžia Lietuvoje užtrunka iki 9 dienų.

Erdvinis mažalapės liepos pražydimo žemėlapis (3.61 pav.) rodo, kad regioniniai skirtumai egzistuoja. Anksčiausiai ji pražysta centrinėje Lietuvos dalyje, o vėliausiai – šiaurinėje ir pajūrio teritorijoje. L. Kulienės ir J. Tomkaus (1990) duomenimis (1961–1985 m.) mažalapės liepos pražydimo erdvinės ribos siekia nuo liepos 4 d. iki 16 d. Anksčiausiai pražysta Pietų Lietuvoje, o vėliausiai Žemaičių aukštumoje. Toks erdvinis duomenų nesutapimas yra galimas dėl skirtingų fenologinių stebėjimų laikotarpio bei vietovių. Be to, mažalapė liepa, nežiūrint vienodesnių Lietuvos hidroterminių sąlygų, yra jautresnė atmosferos cirkuliacijos procesams negu darželinis jazminas (Kulienė, Tomkus, 1990). Vadinasi mažalapės liepos pražydimo pokyčiai yra galimi.

Nepaisant to, kad augalų žydėjimas kasmet kinta (Kulienė, Tomkus, 1990; Van Vliet et al., 2002; Romanovskaja, 2003; Menzel et al., 2006), susisteminti žydėjimo duomenys leidžia daryti prielaidą apie galimą klimato kaitos poveikį augalų žydėjimo pradžiai. Tuo tikslu buvo atlikta mažalapės liepos trendų analizė. LHMT duomenimis, iš 8–10 fenologinio tinklo stebėjimo vietų 2003–2009 m. duomenų tęstinumas išlaikytas 4 stočių atžvilgiu (Lazdijų, Raseinių, Šiaulių ir Telšių). Dėl didelio duomenų išsibarstymo Šiauliai neanalizuoti.

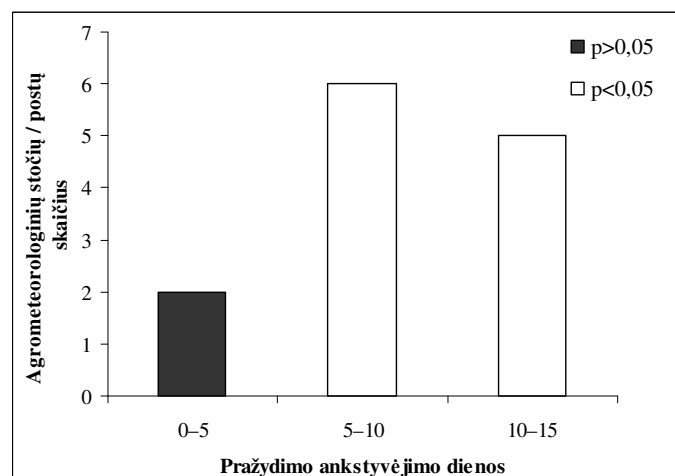
Gauti rezultatai pateikti 3.62 paveiksle. Apskaičiuoti trendai rodo, nors ir skirtingą, tačiau mažalapės liepos žydėjimo ankstyvėjimą, nepriklausomai nuo stebėjimo stoties. Pateiktų pokyčių statistinis patikimumas parodė, kad

Lazdijuose, Raseiniuose ir Telšiuose mažalapės liepos ankstyvėjimas (6-14 dienų) yra reikšmingas ($p < 0,01$).



3.62 pav. Mažalapės liepos pražydimas Lazdijuose, Raseiniuose ir Telšiuose (1970–2009 m.) (tiesiniai trendai, kai $p < 0,05$)

Naudojantis surinkta mažalapės liepos fenologine informacija nustatyta, kad pražydimo ankstyvėjimą atskleidžia ir kitose agrometeorologinėse stovyse ir postuose stebėtų augalų žydėjimo duomenys. Pastarieji buvo susisteminti ir pateikti 3.63 paveiksle, kuriame iliustruojamas pokyčių dydis ir patikimumas.



3.63 pav. Mažalapės liepos pražydimo tendų pokyčiai (1970–1999 m. ir 2003–2009 m.) pagal dydį (dienomis) ir statistinį patikimumą

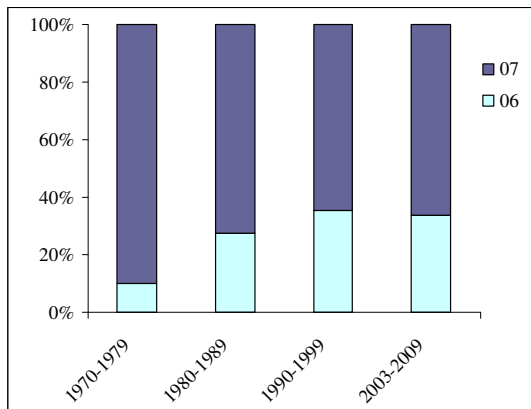
Gauti rezultatai atskleidžia, kad mažalapės liepos nustatytas žydėjimo ankstyvėjimas ne toks didelis, kaip paprastojo lazdyno ar karpotojo beržo. Dalis nurodomų pokyčių yra statistiškai nepatikimi ($p > 0,05$), tačiau dalis yra patikimi ir apima nuo 5 iki 15 dienų ($p < 0,05$). Nustatytų trendų statistinis patikimumas pateiktas 3.12 lentelėje.

3.12 lentelė. Mažalapės liepos pražydimo tiesinių trendų patikimumas pagal Stjudento kriterijų (t), kur l – laisvės laipsnių skaičius, p – patikimumo lygmuo

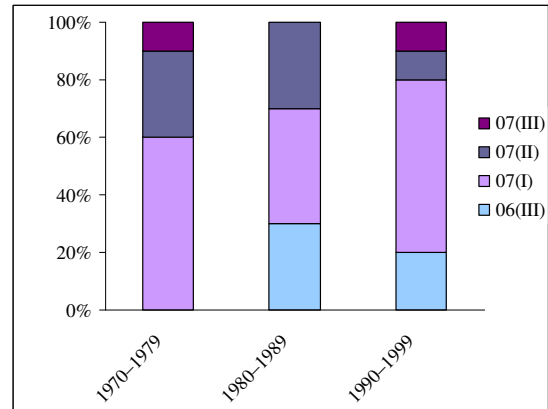
Agrometeorologinė stotis / postas	l	t	p
Biržai	30	1,33	0,193
Ignalina	28	2,85	0,008
Joniškis	28	2,59	0,015
Kelmė	28	3,19	0,003
Lazdijai	35	2,75	0,009
Raseiniai	35	3,51	0,001
Rokiškis	28	2,08	0,047
Šiauliai	35	5,03	0,000
Švenčionys	28	2,17	0,038
Tauragė	28	2,71	0,011
Telšiai	35	5,59	0,000
Utena	28	3,88	0,001
Varėna	28	1,41	0,169

Biržuose ir Varėnoje gauti statistiškai nepatikimi pokyčiai, kurie nurodo mažiausią, t. y. 4–5 dienų pražydimo ankstyvėjimą. Kituose agrometeorologinėse stotyse ir postuose atskleisti mažalapės liepos pražydimo pokyčiai yra reikšmingi ($p < 0,05$).

Detalesnė situacija paaiškėja ilgalaikius duomenis suskirsčius dešimtmečiais (3.64 pav.) ir dešimtadieniais (3.65 pav.). Liepos pražydimo skirtumai akivaizdžiai reikšmingi, bet ne tokie ekstremalūs (kaip paprastojo lazdyno). Kadangi per analizuojamą laikotarpį oro temperatūra žiemą kilo labiau, lyginant su vasara (Bukantis ir kt., 1998), įtakos galėjo turėti taip nevienodai kitusiai analizuojamųjų augalų žydėjimo pradžiai. Nepaisant to, 3.64 paveiksle pateikti rezultatai rodo, kad 1990–1999 m. 35 % visų atvejų, kai mažalapės liepos pražydo birželį ir 2003–2009 m. – 34 %. Taigi paskutinis dešimtmetis skiriasi nuo pirmojo (10 % pražydo birželį).



3.64 pav. Mažalapės liepos pražydimo datų pasiskirstymas (%) Lietuvoje, atsižvelgiant į nustatytą pražydimo mėnesį (1970–1999 m. ir 2003–2009 m.)

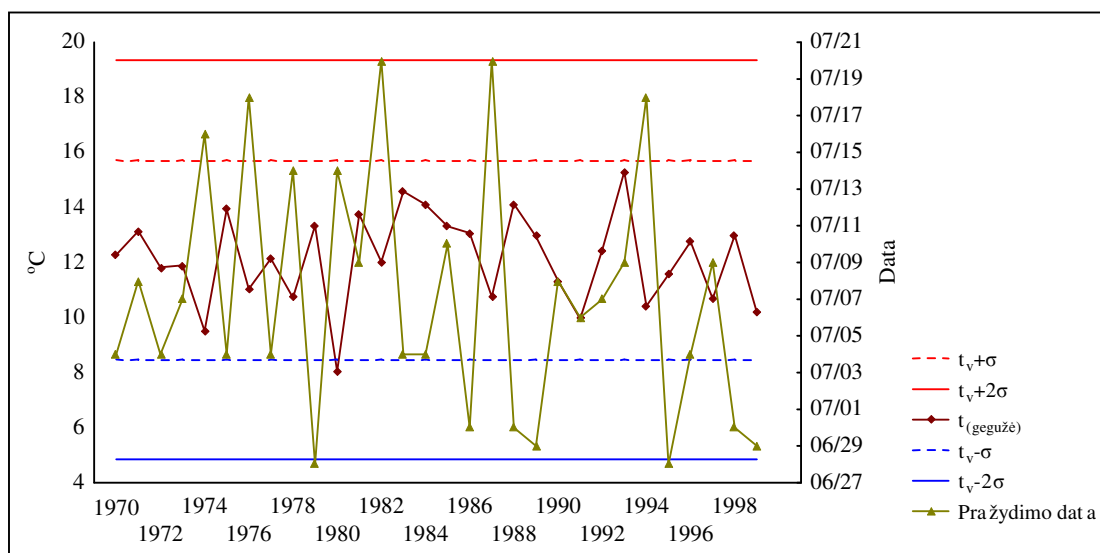


3.65 pav. Mažalapės liepos pražydimo datų pasiskirstymas (%) Biržuose, atsižvelgiant į pražydimo mėnesio dešimtadienį (1970–1999 m.) (dešimtadieniai pažymėti romėniškais skaitmenimis)

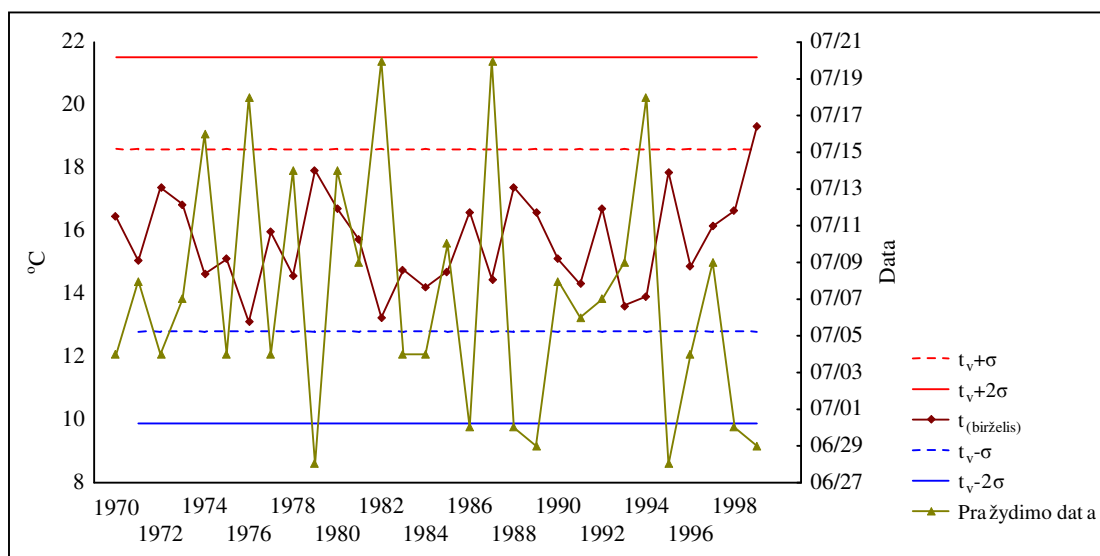
Biržuose (mažiausias pražydimo ankstyvėjimas), 30 metų laikotarpyje 1980–1999 m. mažalapė liepa pražydo trečioje birželio dekadėje (3.65 pav.). Didžiausi pokyčiai matyti 1980–1989 m. laikotarpiu, kadangi 30% visų atvejų rodo, kad mažalapė liepa pražydo birželį.

Atkreipiant dėmesį į oro temperatūros pokyčius galima paminėti, kad didelės oro temperatūros kaitos gegužės–birželio mėnesiais nenustatyta (3.66 ir 3.67 pav.). Tik 1999 m. birželis Biržuose buvo šiltas. Labiau išsiskyrė liepos mėnuo (daugiau šiltų mėnesių lyginant su gegužė–birželiu), tačiau visais atvejais mažalapė liepa pražydo arba birželio trečiajame arba liepos pirmajame dešimtadienyje, todėl poveikio liepos pražydimui mėnesio vidutinės oro temperatūros anomalijos neturėjo.

Palyginus gautus oro temperatūros anomalijų rezultatus su oro temperatūros anomalijų katalogo, kuris sudarytas remiantis Vilniaus miesto oro temperatūros stebėjimo duomenimis (1778–2003 m.) (Galvonaitė ir kt., 2007), pastebima, kad Vilniuje gegužė–birželį šiltų mėnesių nustatyta daugiau negu Biržuose. Daugiausiai tuo laikotarpiu šiltų mėnesių nurodoma 1980–1989 m. (7 atvejai gegužė–birželį). Skirtumai galimi dėl erdvinių oro temperatūros netolygumų (Turčinienė, Bukantis, 2009) bei dėl nevienodos duomenų imties.



3.66 pav. Gegužės mėnesio vidutinė oro temperatūra ($t_{\text{gegužė}}$), $t_v + \sigma$, $t_v + 2\sigma$, $t_v - \sigma$, $t_v - 2\sigma$, kur t_v - gegužės vidutinė daugiametė oro temperatūra pagal klimatinę normą (1961–1990 m.), ir mažalapės liepos pražydimo datos Biržuose (1970–1999 m.)

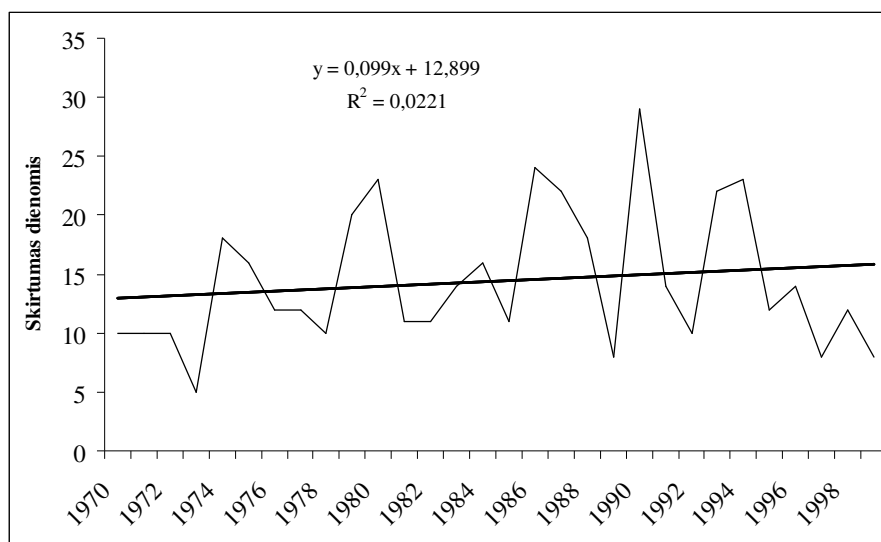


3.67 pav. Birželio mėnesio vidutinė oro temperatūra ($t_{\text{birželis}}$), $t_v + \sigma$, $t_v + 2\sigma$, $t_v - \sigma$, $t_v - 2\sigma$, kur t_v - birželio vidutinė daugiametė oro temperatūra pagal klimatinę normą (1961–1990 m.), ir mažalapės liepos pražydimo datos Biržuose (1970–1999 m.)

Remiantis ilgalaikiais fenologiniais duomenimis mažalapės liepos pražydimo svyravimo amplitudės nėra tokios didelės, lyginant su anksti pavasarį pražystančiais augalais, tačiau oro temperatūros kaita (ne tik oro temperatūros anomalijos) sąlygojo pražydimo ankstyvumą.

D. Romanovskajos (2003) teigimu fenofazių pasireiškimo svyravimai dideli pavasarį esant intensyviai oro kaitai bei žemai oro temperatūrai, tuo tarpu vasarą svyravimai mažesni dėl aukštesnės oro temperatūros. Gauti rezultatai (3.66 ir 3.67 pav.) iliustruoja, kad pražydimo pokyčiai nedideli dėl mažesnių oro temperatūros svyravimų.

Skirtumai tarp ankstyviausios ir vėlyviausios mažalapės liepos pražydimo datos pavaizduoti 3.68 paveiksle. Remiantis erdvine pražydimo kaita Lietuvoje nustatyta, kad skirtumai tarp tiriamųjų parametrų kito 5–29 dienų intervale.



3.68 pav. Skirtumas dienomis ($p > 0,05$) tarp mažalapės liepos ankstyviausios ir vėlyviausios pražydimo datos Lietuvoje (1970–1999 m.)

Iliustruojamas trendas vaizduoja regioniško didėjimą, siekiantį apytiksliai 3 d. ($p > 0,05$). Tai nėra ryškus ir statistiškai patikimas pokytis ($t(28) = -0,74$, $p = 0,467$), kadangi duomenys yra labai išsibarstę. Vadinasi, tik 53,3 % duomenų rodo neatsitiktinius pokyčius.

Mažalapių liepų vegetacijai reikalingos aukštos temperatūros. Temperatūros kaip klimatinio veiksnio įtaka augalo vegetacijai neturėtų pakisti taip greitai, kaip prognozuojamas temperatūros pokytis per artimiausius 90 metų. Todėl augalų žydėjimo kintančiomis temperatūros sąlygomis modeliavimas ir yra pagrįstas augalų atsaku į sparčiai kylančią oro temperatūrą.

3.6. Klimato kaitos poveikis augalų pražydimui Lietuvoje XXI a.

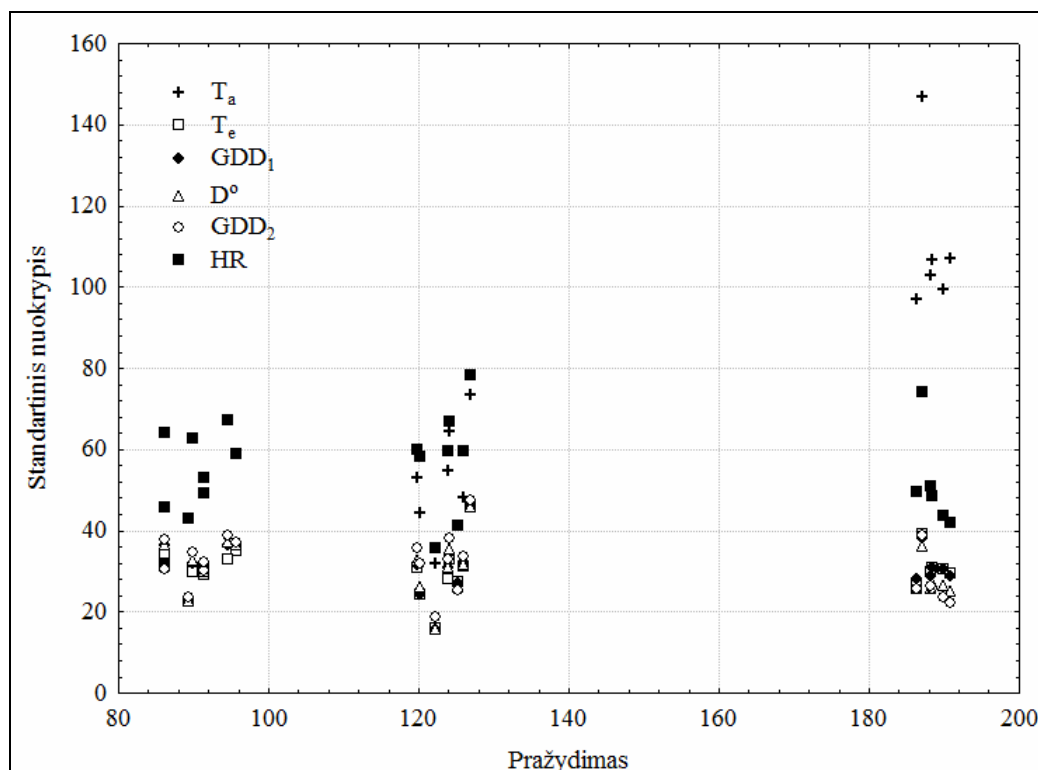
Augalai, būdami klimato kaitos indikatoriais, o jų vegetacijos laikotarpiai labiausiai priklauso nuo terminio režimo, yra tinkami iliustruoti numatomiems klimato pokyčiams ir jų poveikiui augalų vegetacijai ateityje. Analizei pasirinkti skirtingais laikotarpiais žydintys augalai (paprastasis lazdynas, karpotasis beržas ir mažalapė liepa), kurie atskleidžia prognozuojamos temperatūros įtaką žydėjimo skirtumams Lietuvoje.

Pirmiausia, atsižvelgus į skirtingas taikomas metodikas, nustatyta optimaliausia augalų terminio režimo poveikio įvertinimo metodika, leidžianti geriausiai atskleisti augalų reakciją į temperatūros pokyčius.

Atsižvelgiant į terminio režimo įtaką, augalų vystymosi procesams yra taikomos skirtingos metodikos, siekiant įvertinti oro temperatūros poreikį tam tikroms augalų fenofazėms (Bagdonas, Karalevičienė, 1987; McMaster, Wilhelm, 1997; Snyder et al., 1999; Jato et al., 2004; Črepinšek et al., 2006). Lietuvoje plačiausiai naudojamos dvi metodikos, tai aktyviosios ir efektyviosios temperatūrų skaičiavimo metodikos.

3.69 paveikslas iliustruoja pasaulyje plačiausiai naudojamų metodikų pritaikymo galimybes Lietuvoje. Pateikti rezultatai analizuojami atsižvelgiant į metodikos galimybę pritaikyti tiriant klimato kaitos poveikį augalų žydėjimui. Šiame paveiksle pavaizduoti 80–100 d. intervale (dienos nuo metų pradžios) pasiskirstę standartiniai nuokrypiai, kurie rodo paprastojo lazdyno vidutinių žydėjimo datų priklausomybę nuo skirtingų oro temperatūrų sumų. Taigi kuo didesnis standartinis nuokrypis, tuo didesnė suminės oro temperatūros variacija. Kadangi klimato kaitos tyrimas augalų vegetacijos pradžiai paremtas prognostinės temperatūros įvertinimu konkrečios rūšies atžvilgiu, tai mažiausias standartinis nuokrypis rodo mažiausią tikėtiną temperatūros pokytį iki žydėjimo pradžios.

Atsižvelgiant į standartinio nuokrypio variaciją gauti rezultatai parodo (3.69 pav.), kad efektyviųjų temperatūrų suma (T_e) yra labiausiai tinkantis būdas, kurį panaudojant galima atskleisti klimato kaitos poveikį paprastojo lazdyno vegetacijos pokyčiams per kitus 90 metų.



3.69 pav. Skirtingų metodikų, nusakančių terminio režimo poreikį augalų žydėjimo pradžiai Lietuvoje (1970–1999 m.), rezultatų standartinio nuokrypio pasiskirstymas pagal pražydimą datas. T_a – aktyviųjų temperatūrų suma pagal A. Bagdoną ir R. Karalevičienę (1987); T_e – efektyviųjų temperatūrų suma pagal A. Bagdoną ir R. Karalevičienę (1987), GDD_1 – aktyviųjų temperatūrų suma pagal Z. Črepinšek ir kt. (2006), D° – aktyviųjų temperatūrų suma pagal L. R. Snyder ir kt. (1999); GDD_2 – aktyviųjų temperatūrų suma pagal S. G. McMaster ir W. Wilhelm (1997), HR – šilumos poreikis pagal Jato ir kt. (2004)

3.69 paveiksle 120–140 dienų vidutinės žydėjimo datos iliustruoja karpotojo beržo žydėjimo dėsningumus, priklausomai nuo suminių temperatūrų, o 180–200 d. – mažalapės liepos. Šių augalų nustatytos tendencijos yra panašios. Efektyviųjų temperatūrų suma (T_e) geriausiai parodo oro temperatūros poveikį augalų žydėjimo pradžios dėsningumams.

Gauti rezultatai atskleidžia suminės temperatūros variaciją. Kuo didesnis standartinis nuokrypis, tuo temperatūros duomenys yra labiau išsibarstę, vadinasi ir paklaida skaičiuojant ateities klimato poveikį augalų žydėjimui bus didesnė. Pavyzdžiui, iš paveikslo matyti, kad aktyviosios temperatūros sumos, apskaičiuotos iki mažalapės liepos pražydimą, yra labiausiai kaičios.

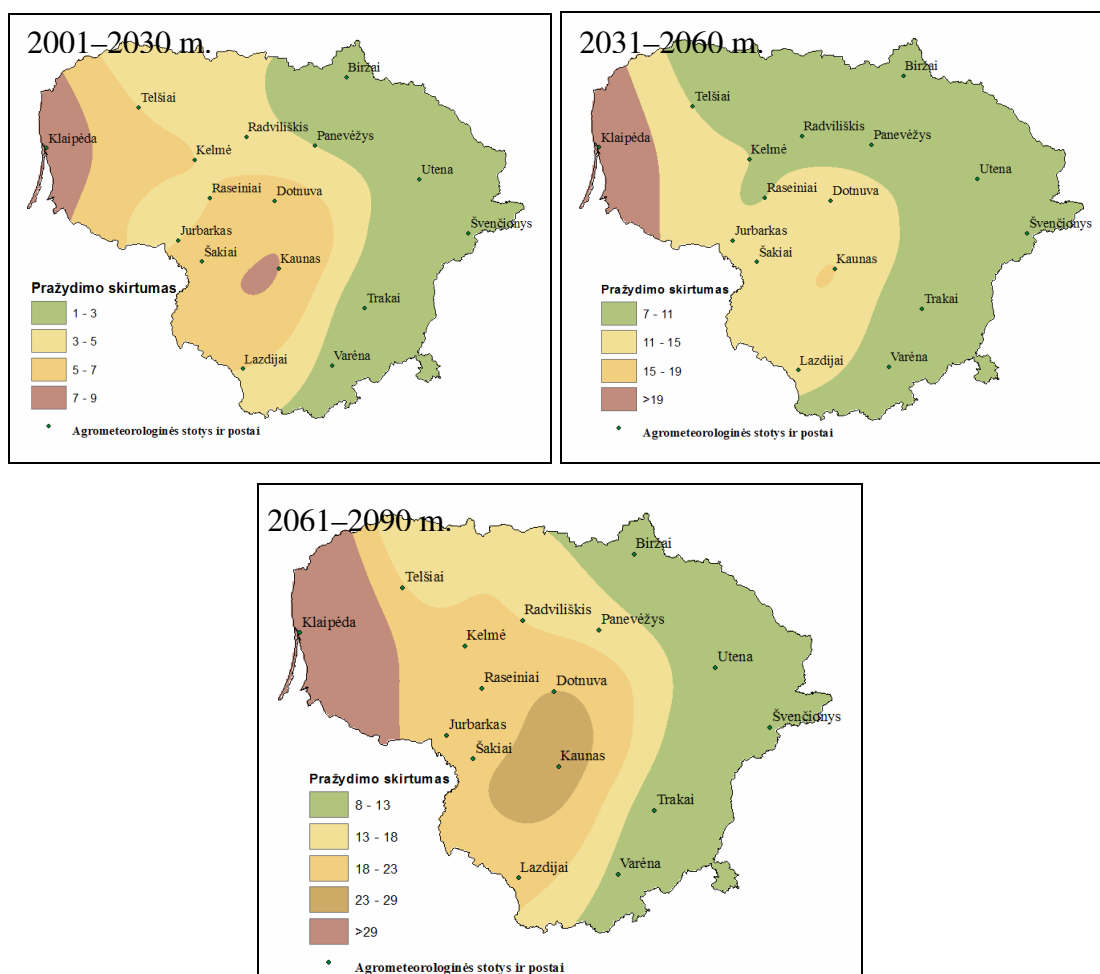
Remiantis atliktais skaičiavimais, išskirta kiekvienai augalo rūšiai tinkanti efektyviosios temperatūros suma (naudojant skirtingus biologinio augalo minimumus), kuri nusako suminės temperatūros poreikį žydėjimo fenofazės pradžiai. Šios temperatūros pagrindu įvertintas klimato kaitos poveikis paprastojo lazdyno, karpotojo beržo ir mažalapės liepos pražydimui.

3.6.1. Paprastojo lazdyno žydėjimo pokyčiai Lietuvoje XXI a.

Klimato kaitos įtakos žydėjimo pradžiai modeliavimo rezultatai pateikti 3.70 paveiksle, kuriame iliustruojamas pražydimo skirtumas dienomis, pažymintis, koks yra prognozuotų duomenų ir daugiamečių stebėjimo duomenų skirtumas.

Pagal HadCM3 šiltnamio dujų emisijų scenarijaus B1 duomenis gauti rezultatai rodo paprastojo lazdyno pražydimo ankstyvumą 2001–2030 m., 2031–2060 m. ir 2061–2090 m. lyginant su daugiamečiais stebėjimo duomenimis (1970–1999 m.). Taigi gauti rezultatai, remiantis temperatūros pokyčiais, kurie numatomi Lietuvoje XXI a., atskleidžia, koks tikėtinas skirtumas tarp daugiamečių nustatytų ir sumodeliuotų duomenų.

2001–2030 m. lyginant su vidutiniais daugiamečiais pražydimo duomenimis, skirtumas gali siekti nuo 1 iki 9 dienų. Didžiausi pokyčiai numatomi pajūrio regione ir centrinėje Lietuvos dalyje (7-9 dienos). Mažiausi – Šiaurės rytų, Pietryčių Lietuvoje (1-3 dienos). Kitame trisdešimtmetyje pokyčiai dar padidės. 2031–2060 m. 7-19 dienų skirtumai numatomi beveik visoje Lietuvoje, išskyrus pajūrio regione, kur paprastasis lazdynas pražys anksčiausiai. 2061–2090 m., lyginant su daugiamečiais fenologiniais duomenimis, skirtumai dar padidės. Šiaurės rytų, Pietryčių Lietuvoje numatomas paprastojo lazdyno pražydimo ankstyvėjimas nedidelis ir siekia 2-3 dienas, tuo tarpu kitose Lietuvos dalyse skirtumai dar padidės (8-10 dienų). Palyginus trisdešimtmečius tarpusavyje, pastebėta, kad 2031–2060 m., lyginant su 2001–2030 m., ankstyvėjimas gali siekti 5–8 dienas, o per 2031–2090 m. pražydimo datos gali pakisti dar 3–10 dienų.



3.70 pav. Paprastojo lazdyo pražydimo skirtumas (dienomis) tarp fenologinių stebėjimų (1970–1999 m.) ir sumodeliuotų pražydimo duomenų pagal HadCM3 B1 (2001–2090 m.)

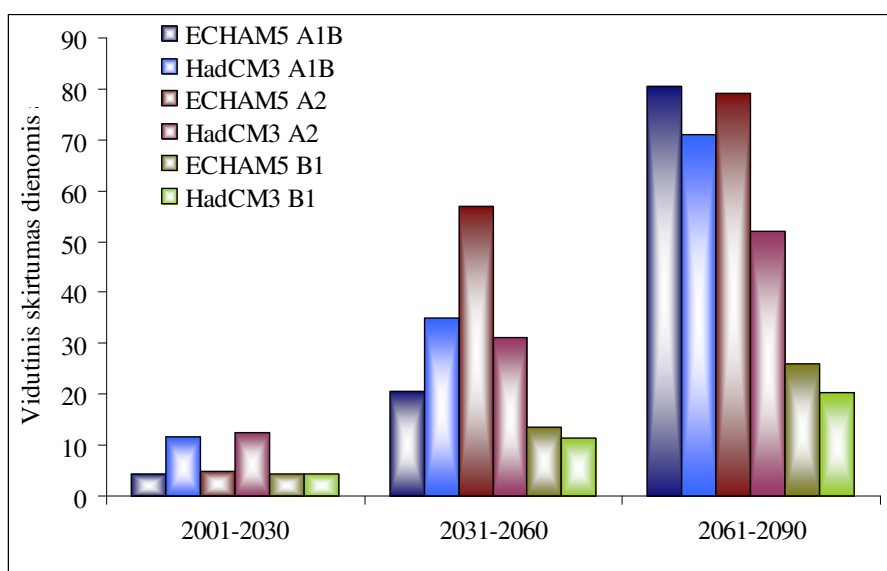
Kadangi XXI a. pabaigoje žiemos metu vyraus teigiamos 2–6 °C oro temperatūros, o pajūrio vidutinė žiemos mėnesių temperatūra viršys 0 °C net 87 % atvejų (Rimkus ir kt., 2007), todėl pajūryje numatomi didžiausi paprastojo lazdyo pražydimo skirtumai nuo vidutinės daugiametės pražydimo datos.

Austrijoje, esant šiltam orui, lazdyo genties augalai pradeda žydėti gruodžio mėnesį (Bortenschlager, Bortenschlager, 2005). Taigi numatomi pokyčiai yra galimi, jei pasaulyje ekonomika vystysis pagal B1 scenarijų.

Palyginus klimato modelių pagal skirtingus šiltnamio dujų emisijų scenarijus prognozuojamos oro temperatūros ir paprastojo lazdyo pražydimo skirtumus pastebėta, kad didžiausi pokyčiai numatomi klimatui kintant pagal

A2 scenarijų. Pagal HadCM3: 2001–2030 m. nuo 6 dienų iki daugiau nei 16 dienų, 2031–2060 m. nuo 25 dienų iki daugiau nei 32 dienų ir 2061–2090 m. nuo 46 d. (Šiaurės rytų, Pietryčių Lietuvoje) iki daugiau kaip 53 dienos (pajūryje). Tarpinis A1B šiltnamio dujų emisijų scenarijus, nurodo mažesnius temperatūros pokyčius, lyginant su A2 scenarijumi, tačiau prognozuojama aukštesnė sausio mėnesio temperatūra (Rimkus ir kt., 2007), sąlygojo paprastojo lazdyno ankstyvesnį pražydimą 2061–2090 m. nei pagal A2 gautus rezultatus.

Pagal dviejų klimato modelių (ECHAM5 ir HadCM3) ir trijų šiltnamio dujų emisijų scenarijų (A1B, B1 ir A2) oro temperatūros rezultatus sumodeliuoti vidutiniai paprastojo lazdyno pražydimo skirtumai Lietuvoje yra pateikti 3.71 paveiksle.



3.71 pav. Paprastojo lazdyno pražydimo pokyčiai Lietuvoje, remiantis skirtingais klimato modeliais ir šiltnamio dujų emisijų scenarijais

Vidutiniai pražydimo duomenys rodo, kad sumodeliuotas pražydimas Lietuvoje pagal šiltnamio dujų emisijų scenarijaus B1 oro temperatūros duomenis, mažiausiai ankstyvėjantis. Nepriklausomai nuo klimato modelio, lyginant su kitų šiltnamio dujų emisijų rezultatais, nustatyti skirtumai mažiausi. Palyginus pastebima, kad tarp mažiausių (B1) ir didžiausių (A2) pokyčių rodančių rezultatų vidutinis skirtumas siekia nuo 8 iki 50 dienų, priklausomai

nuo laikotarpio. Didžiausi paprastojo lazdyno pokyčiai, lyginant su daugiamečiais duomenimis, yra numatomi 2061-2090 m. ir siekia vidutiniškai nuo 20 iki 80 dienų.

Palyginus gautus rezultatus tarp skirtingų klimato modelių (ECHAM5 ir HadCM3) išvesties duomenų ir sumodeliuoto paprastojo lazdyno pražydimo pastebėta, kad didesnius pokyčius 2031–2090 m., lyginant su daugiamečiais duomenimis, numato ECHAM5 (priklausomai nuo šiltnamio dujų emisijų scenarijaus). Šie skirtumai gali būti paaiškinami tuo, kad ECHAM5 prognozuoja šiek tiek aukštesnę oro temperatūrą žiemos ir pavasario laikotarpiu (skirtumas tarp klimato rodiklių trendo siekia vidutiniškai 0,01 (Rimkus ir kt., 2007)) lyginant su HadCM3. Nepaisant to, kad prognozuojamos temperatūros skirtumai tarp šių modelių yra labai nedideli, tačiau paprastas lazdynas – vienas jautriausių oro temperatūros kaitai.

Toks didelis duomenų išsibarstymas rodo, kad paprastojo lazdyno pražydimas priklauso nuo oro temperatūros pokyčių. Kuo didesni oro temperatūros pokyčiai yra numatomi, tuo didesni pražydimo skirtumai. Įvertinus, kad žiemos temperatūra keisis labiausiai (Rimkus ir kt., 2007), numatomi pokyčiai yra galimi. Be to, daugiamečių duomenų analizė atskleidė, kad paprastojo lazdyno ankstyvas pražydimas yra siejamas su anomaliai šiltais arba šiltais sausio–vasario mėnesiais. 1970–2009 m. fenologinių stebėjimų duomenys rodo 20–30 d. paprastojo lazdyno pražydimo ankstyvumą, todėl gautų rezultatų numatomi pokyčiai yra tikėtini.

Tokia numatoma kaita iliustruoja ir galimą žiedadulkių sezono pokytį per 90 metų. Paankstėjus augalų dulkėjimo laikotarpiui Lietuvoje, žiedadulkių sezono ankstyvėjimas neišvengiamas. Pagal prognostinius temperatūros pokyčius nustatytos paprastojo lazdyno žydėjimo tendencijos iliustruoja, kad per 90 metų lazdyno genties žiedadulkių sezonas Lietuvoje, priklausomai nuo šiltnamio dujų emisijos scenarijaus (A1B, A2, B1), gali vidutiniškai paankstėti iki 50 d. Mokslinių tyrimų įrodyta, kad metinis lazdyno genties žiedadulkių kiekis yra tiesiogiai priklausomas nuo žiemos temperatūros, t. y. šiltomis žiemomis fiksuojami didesni žiedadulkių kiekiai (Frei, 1998).

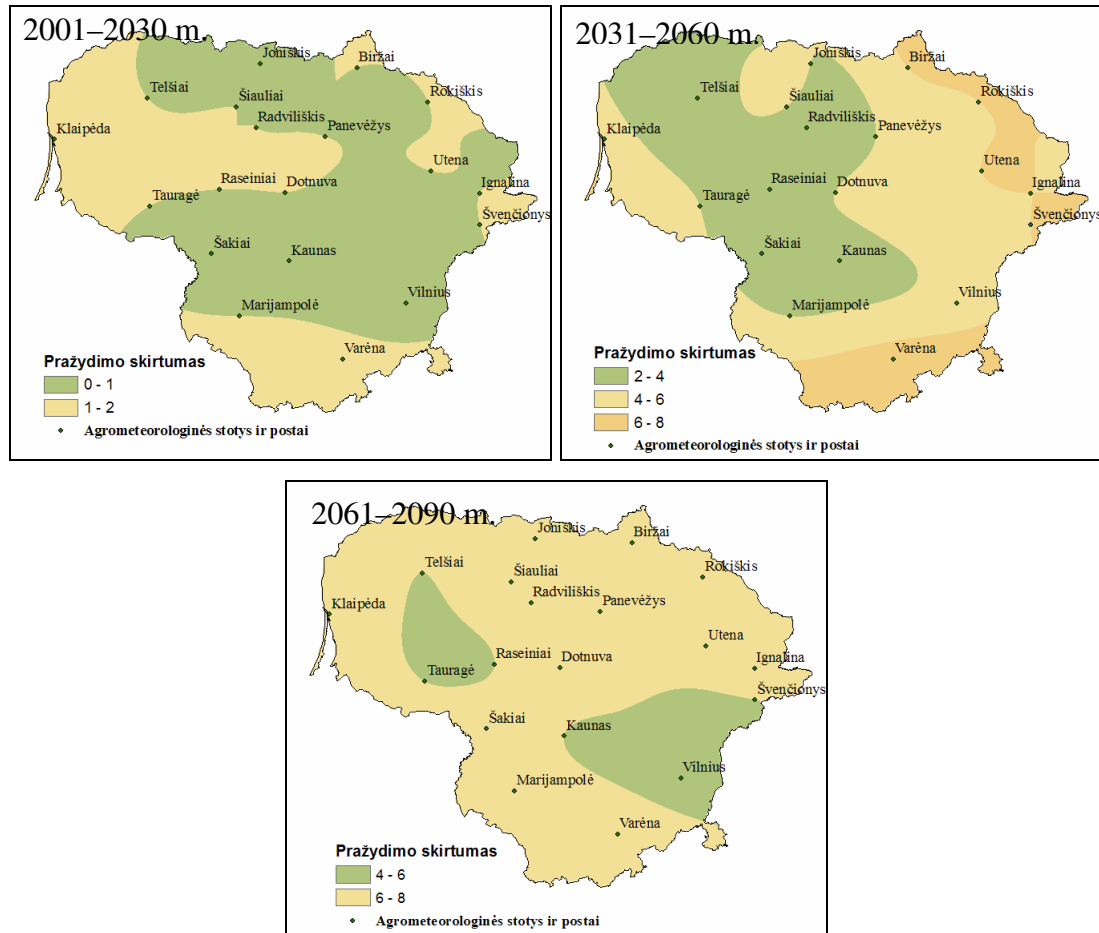
Vertinant žiedadulkių koncentracijos kaitą, būtina atkreipti dėmesį, kad paprastasis lazdynas yra reiklus šilumai, kadangi neretai apšąla žiedai, o šaltomis žiemomis – ir šakos (Navasaitis ir kt., 2003). XXI a. numatomos šiltos žiemos, todėl žiedų apšalimas retės, taigi žiedadulkių bus paleidžiama į atmosferą daugiau.

3.6.2. Karpotojo beržo žydėjimo pokyčiai Lietuvoje XXI a.

Vėlyvojo pavasario temperatūra keisis ne taip stipriai lyginant su ankstyvojo pavasario temperatūra. Todėl ir karpotojo beržo žydėjimo pradžia, kuri sąlygota pavasario teigiamų temperatūrų, keisis ne taip reikšmingai kaip paprastojo lazdyno (3.72 pav.).

Pagal šiltnamio dujų emisijų scenarijų B1 numatomi nedideli karpotojo beržo pražydimo skirtumai nuo vidutinės daugiametės datos (1970–1999 m.). 2001–2030 m. centrinėje, rytinėje ir šiaurinėje Lietuvos dalyse pokyčių nenumatoma arba jie yra nedideli (skirtumas siekia tik 1 dieną). Pajūryje ir pietinėje Lietuvos dalyje tikėtini skirtumai sieks iki 2 dienų 2061–2090 m. numatomi pokyčiai didesni, bet ne tokie ekstremalūs kaip paprastojo lazdyno pražydimo ir gali siekti iki 8 d. Taigi per XXI a. karpotojo beržo pražydimo pokyčiai tolygus visoje Lietuvoje. Toks tarp dviejų augalų rūšių nustatytų pražydimų skirtumas gali būti paaiškinamas tuo, kad karpotasis beržas yra mažiau jautrus žiemos ir ankstyvo pavasario temperatūros svyravimams. Palyginus beržo pražydimą su Pietų Europoje nustatomomis datomis, pastebėta, kad tendencijos yra panašios. Pavyzdžiui, Vigo (Ispanija) ir Perugia (Italija) miestuose beržo genties augalų dulkėjimas trunka nuo kovo trečiojo dešimtadienio iki pirmųjų balandžio savaitės (Rodríguez-Rajo et al., 2003b). Vadinasi, labai didelių poslinkių karpotojo beržo pražydimui, kaip paprastojo lazdyno, negali būti. Tuo labiau, kad paprastasis lazdynas yra paplitęs beveik visoje Europoje, išskyrus šiaurinėse dalyse, o karpotasis beržas – visoje Europoje, išskyrus Pirėnų pusiasalį ir pietinę Balkanų pusiasalio dalį (Navasaitis ir kt., 2003). Toks šių augalų paplitimas parodo prisitaikymą prie

skirtingų klimatinių sąlygų. Išlieka tam tikros ribos (pvz., šaltis, karštis, dirvožemio pobūdis ir pan.), kurios sąlygoja jų išplitimo ribas.



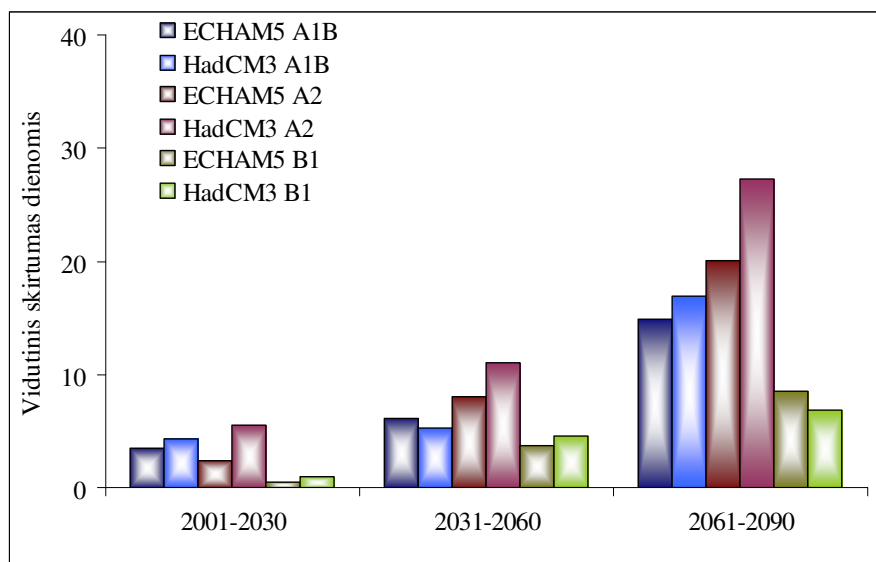
3.72 pav. Karpotojo beržo pražydimo skirtumas (dienomis) tarp fenologinių stebėjimų (1970–1999 m.) ir sumodeliuotų pražydimo duomenų pagal HadCM3 B1 (2001–2090 m.)

Palyginus trisdešimtmečius tarpusavyje gauta, kad karpotasis beržas 2031–2060 m., lyginant su 2001–2030 m., pražys 2–5 dienomis anksčiau. Paskutinįjį trisdešimtmetį (2061–2090 m.) didesnių pokyčių nenumatoma: pražys panašiai arba 1–4 dienomis anksčiau. Didžiausi pražydimo skirtumai tarp trisdešimtmečių numatomi pajūrio regione, išskyrus 2031–2060 m., kai didesni skirtumai galimi Šiaurės rytų, Pietryčių Lietuvoje.

Karpotojo beržo pražydimo skirtumų žemėlapiuose (3.72 pav.) iliustruojami rezultatai pateikia tik vieno klimato modelio ir šiltnamio dujų emisijų scenarijaus (HadCM3 B1) oro temperatūros galimą poveikį pražydimui. Palyginus apskaičiuotas pražydimo datas pagal abiejų klimato

modelių visų trijų emisijų scenarijų oro temperatūros išvesties duomenis pastebėta, kad didžiausi pokyčiai, kaip ir paprastojo lazdyno pražydimo pokyčiuose, numatomi klimatui kintant pagal A2 scenarijų. Pagal HadCM3: 2001–2030 m. nuo 4 dienų iki 7 dienų, 2031–2060 m. nuo 9 dienų 15 dienų ir 2061–2090 m. nuo 23 d. (Vakarų Lietuvoje) iki daugiau kaip 33 dienos (pajūrio teritorija ir Pietų Lietuvoje). Pateikti rezultatai iliustruoja pačius didžiausius išskaičiuotus skirtumus. Pagal ECHAM5 A2 išvesties duomenis numatomi skirtumai mažesni. Tarpinis A1B šiltnamio dujų emisijų scenarijus, nurodo mažesnius temperatūros pokyčius, lyginant su A2 scenarijumi.

Įvertinus bendrai gautus rezultatus (vidutinis pražydimo skirtumas dienomis), kurie pateikti 3.73 paveiksle, matyti, kad skirtumai tarp šiltnamio dujų emisijų scenarijų yra daug mažesni.



3.73 pav. Karpotojo beržo pražydimo pokyčiai Lietuvoje, remiantis skirtingais klimato modeliais ir dujų emisijos scenarijais

Pirmojoje šio šimtmečio pusėje numatomi nedideli pokyčiai, kurie pagal pesimistinį šiltnamio dujų emisijų scenarijų (A2) padidės XXI a. pabaigoje, o karpotojo beržo pražydimas Lietuvoje paankstės iki 25 dienų (3.73 pav.). Optimistinis šiltnamio dujų emisijų scenarijus (B1) rodo ne didesnę nei 8 dienų karpotojo beržo žydėjimo ankstyvumą, nepriklausomai nuo HadCM3 ar ECHAM5 modelių oro temperatūros išvesties duomenų. Didžiausi skirtumai

išlieka tarp B1 ir A2 scenarijų sumodeliuotų pražydimo skirtumų ir bendrai Lietuvoje 2001–2090 m., priklausomai nuo laikotarpio, siekia apie 8-20 dienų.

Palyginus gautus rezultatus tarp skirtingų klimato modelių (ECHAM5 ir HadCM3) išvesties duomenų ir sumodeliuoto karpotojo beržo pražydimo pastebėta, kad didesnius pokyčius 2031–2090 m., lyginant su daugiamečiais duomenimis, numato HadCM3 (priklausomai nuo šiltnamio dujų emisijų scenarijaus). Gauti skirtumai iliustruoja, kad pagal HadCM3 išvesties duomenis oro temperatūra per 5°C pereis anksčiau lyginant su EXHAM5 duomenis.

A. J. H. Van Vliet et al. (2002), analizuodami beržo pražydimą, gavo panašius rezultatus, tačiau išskaičiavo šiek tiek mažesnius numatomus pokyčius. Taikydami HadCM2 modelį ir naudodami Sa1 scenarijų jie nustatė, kad beržo žydėjimas per ateinantį šimtmetį paankstės 13 dienų. Lietuvoje, priklausomai nuo to, pagal kokį scenarijų vystysis pasaulio ekonomika, karpotojo beržo XXI a. pražydimas paankstys nuo 7 iki 27 dienų.

Gauti karpotojo beržo pražydimo mažesni pokyčiai negu paprastojo lazdyno gali būti paaiškinami tuo, kad lyginat su oro temperatūros perėjimu per 0°C, 5°C perėjimas taip stipriai nesikeis.

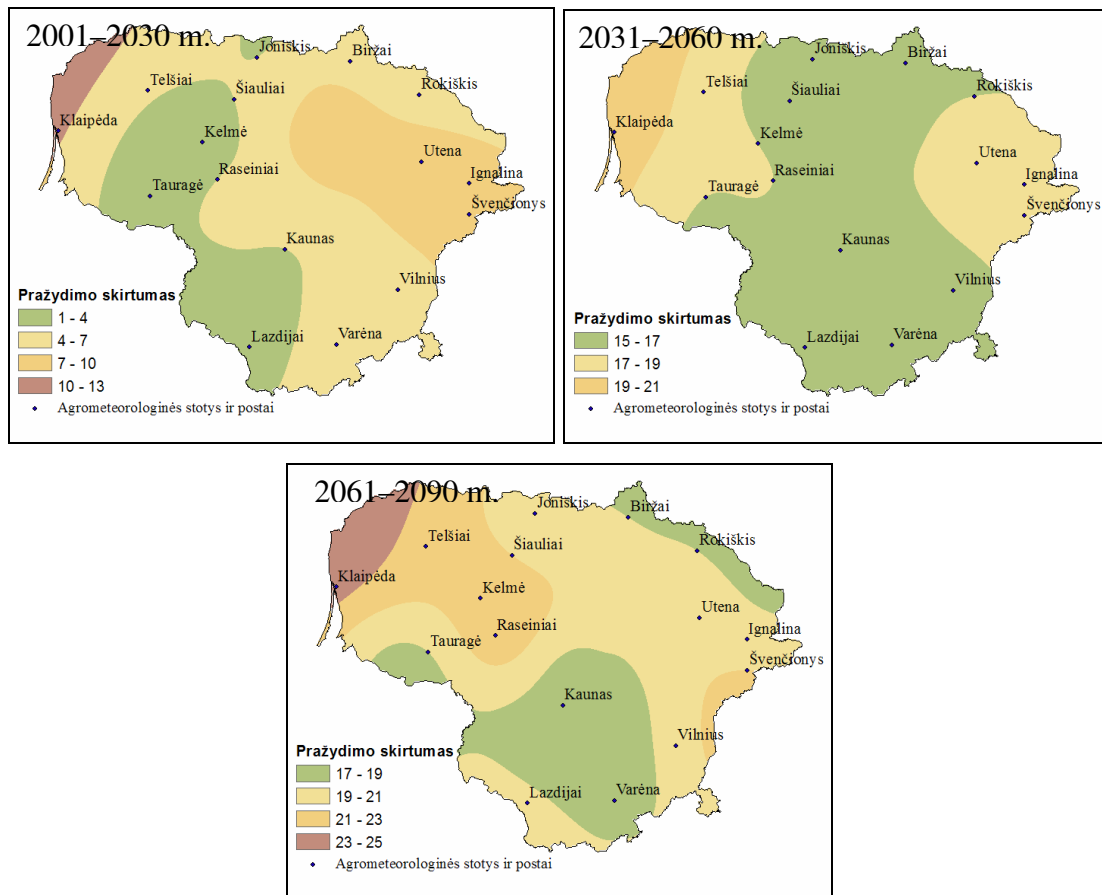
Paankstyvėjus karpotojo beržo dulkėjimo laikotarpiui Lietuvoje, žiedadulkių sezono ankstyvėjimas taip pat neišvengiamas. Pagal prognostinius temperatūros pokyčius nustatytos karpotojo beržo žydėjimo tendencijos atskleidžia, kad per ateinančius 90 metų beržo genties augalų žiedadulkių sezonas gali paankstyvėti vidutiniškai iki 27 d. (priklausomai nuo šiltnamio dujų emisijų scenarijaus).

Moksliniais tyrimais įrodyta, kad per 23–38 metų kasmetinė ir kasdienė vidutinė beržo žiedadulkių koncentracija išaugo ir užfiksuotas kasmetinis žiedadulkių sezono ankstyvėjimas (Frei, 1998; Rasmussen, 2002; Frei, Gassner, 2008a; Yli-Panula et al., 2009). Kadangi beržo žiedadulkių kiekis ore yra priklausomas ne tik nuo vietinės augalijos žydėjimo tendencijų, o, aerobiologinių stotelių duomenimis, tarpmetinė žiedadulkių variacija yra didelė, todėl tiksliai pasakyti, kiek ateityje gali padidėti žiedadulkių

koncentracija Lietuvoje, yra sudėtinga. Vis dėlto, atsižvelgiant į karpotojo beržo tikėtiną pražydimo ankstyvumą XXI a., žiedadulkių sezonas Lietuvoje paankstės ir tikėtina išsiskirs dar didesniais žiedadulkių kiekiais.

3.6.3. Mažalapės liepos žydėjimo pokyčiai Lietuvoje XXI a.

Gauti rezultatai atskleidžia, kad pagal HadCM3 B1 oro temperatūros duomenis mažalapės liepos pražydimas XXI a. ankstyvės (3.74 pav.).



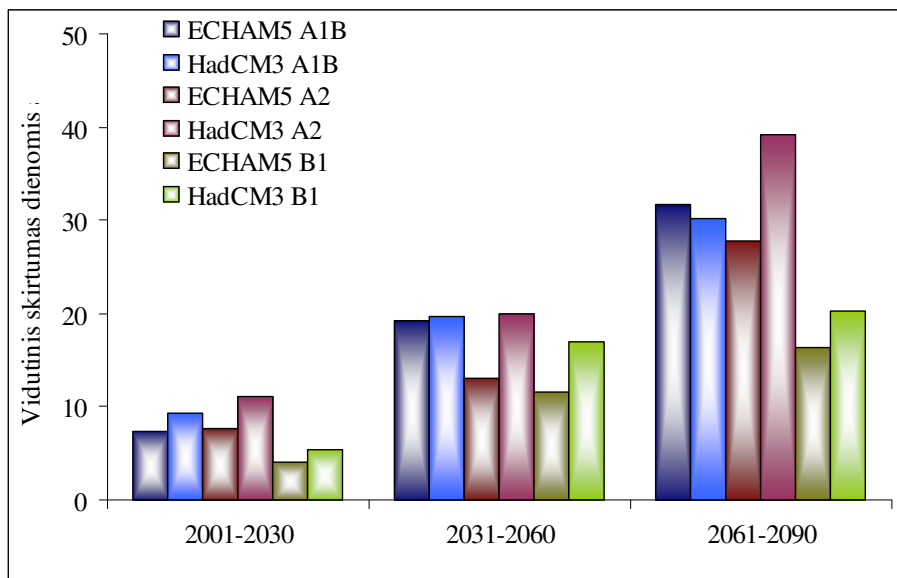
3.74 pav. Mažalapės liepos pražydimo skirtumas (dienomis) tarp fenologinių stebėjimų (1970–1999 m.) ir sumodeliuotų pražydimo duomenų pagal HadCM3 B1 (2001–2090 m.)

2001-2030 m., lyginant su 1970–1999 m. pražydimo skirtumas gali siekti 1–11 dienų. Pajūryje numatomi didžiausi pražydimo pokyčiai. 2031–2060 m., lyginant su fenologinių stebėjimų duomenimis, pokyčiai sieks 15–21 dienas. Numatomi mažiausi pražydimo skirtumai Šiaurės, Pietvakarių ir Pietryčių

Lietuvoje, o didžiausi pajūrio teritorijoje. 2061–2090 m. pokyčiai dar padidės visoje Lietuvoje ir gali siekti 17–24 dienas.

Palyginus numatomus pokyčius trisdešimtmečiais pastebima, kad 2031–2060 m., lyginant su 2001–2030, pokyčiai gali padidėti iki 10–15 dienų, o 2061–2090 m. (lyginant su 2031–2060 m.) – dar 2–5 dienomis. Taigi vidutiniškai XXI a. mažalapės liepos pražydimo didžiausi pokyčiai tikėtini 2030–2060 m. laikotarpiu.

Lyginant su karpotojo beržo, mažalapės liepos pražydimo skirtumai tarp daugiamečių stebėjimų ir sumodeliuotų duomenų yra didesni, tačiau mažesni nei paprastojo lazdyno. Iš pirmo žvilgsnio keistai atrodančią situaciją dėl liepos žydėjimo reikšmingo ankstyvėjimo (3.74 pav.) paaiškina oro temperatūros kaita. Vertinant vidutinius oro temperatūros pokyčius, pasikeitimai vasarą nenusileidžia žiemai, o daugeliu atveju dvigubai viršija vidutinį kvadratinį nuokrypį (Rimkus ir kt., 2007). Perėjimo per 15°C datos šiek tiek pasislinks, todėl mažalapės liepos pražydimo ankstyvėjimas yra ryškus. Taigi lieka tikimybė, kad per tokį trumpą laiką liepos ekofiziologinės charakteristikos nepasikeis, bet žydėjimo laikas paankstės.



3.75 pav. Mažalapės liepos pražydimo pokyčiai Lietuvoje, remiantis skirtingais klimato modeliais ir dujų emisijos scenarijais

Nepriklausomai nuo pasirinkto modelio (HadCM3, ECHAM5) ar šiltnamio dujų emisijų scenarijaus (A1B, A2, B1), per beveik šimtą metų įvykiai gali pasikeisti taip, kad liepos žydės iki 25 d. anksčiau nei rodo daugiamečiai stebėjimų duomenys (3.75 pav.). 2001–2030 m. ir 2031–2060 m. labai didelių skirtumų tarp pražydimo Lietuvoje nenustatyta. HadCM3 išvesties duomenimis, 2001–2030 m. mažalapės liepos pražydimo skirtumas Lietuvoje sieks 5–11 dienas, o 2031–2060 m. – 17–20 dienų. Panašiai kaip ir ECHAM5 duomenimis (4–8 dienos ir 12–19 dienų).

Pagal A1B emisijų scenarijų gegužės mėnesio temperatūra numatoma šiek tiek aukštesnė lyginant su kitais scenarijais, todėl kai kuriais atvejais nurodomi pokyčiai prilygsta pagal A2 scenarijų gautiems pokyčiams. Pagal A2 mažalapės liepos žydėjimas gali paankstėti 35–43 dienomis. Didžiausi pokyčiai Vakarų Lietuvoje ir mažiausi – pajūryje ir Pietų Lietuvoje. Gegužės mėnesio temperatūra taip pat paaiškina gautus skirtumus tarp HadCM3 ir ECHAM5 išvesties duomenų pagrindu sumodeliuotų mažalapės liepos pražydimo datų ir fenologinių stebėjimo duomenų.

Paankstyvėjus augalų dulkėjimo laikotarpiui Lietuvoje, liepos genties augalų žiedadulkių sezono ankstyvėjimas, kuris sieks mėnesį, taip pat neišvengiamas. Tokie dideli pokyčiai susiję su prognostine oro temperatūros situacija Lietuvoje. Kadangi dulkėjimo laikotarpis ir žiedadulkių sezonas yra labai susiję tarpusavyje, o augalų dulkėjimo periodas Lietuvoje lemia žiedadulkių sezono pradžią, todėl numatomi pokyčiai galimi. Svarbu ne tik numatomų pokyčių mastai, bet ir galimos kitimo tendencijos. Kadangi 90 metų laikotarpiu prognozuojami ne staigūs pokyčiai, o vykstantys pamažu, darosi akivaizdu, kad augalams prisitaikius prie teritorijos terminio režimo pakitimų, padidės fenologinių fazių variacija. Iš žiedadulkių sklaidos aspektų išryškėja pagrindinė tendencija: pasikeitus vegetacijos laikotarpiui Lietuvoje, skirtingais mastais pakis konkrečių žiedadulkių morfotipų žiedadulkių sezonai, rezultatas – žiedadulkių sklaidos dėsniumai turės būti adekvačiai įvertinami pagal susiklosčiusias kitimo aplinkybes.

IŠVADOS

1. Lietuvoje žiedadulkių sezono metu didžiausiomis paros žiedadulkių koncentracijomis pasižymi beržo genties ($4\,680$ žiedad./ m^3) ir pušinių šeimos ($3\,515$ žiedad./ m^3) augalai.
2. Lietuvos atmosferoje augalų dulkėjimo metu daugiausia aptinkama beržo genties (26–32 %), pušinių šeimos (14–28 %), dilgėlinių šeimos (12–22 %), alksnio genties (6–8 %), miglinių šeimos (5–8 %) ir kiečio genties (4–8 %) augalų žiedadulkių. Vidutinis žiedadulkių sezonas tęsiasi nuo 28 (beržų) iki 83 dienų (miglinių augalų).
3. Lietuvos bioaerolyje balandžio mėnesį vyrauja beržo ir alksnio genties augalų žiedadulkės (77,4 % nuo bendro žiedadulkių kiekio per mėnesį), gegužės – pušinių ir beržo (88,2 %), birželio – pušinių, miglinių ir dilgėlinių (88,2 %), liepos – dilgėlinių ir miglinių (82,9 %) ir rugpjūčio – dilgėlinių ir kiečio (90 %).
4. Vilniuje, lyginant su Klaipėda ir Šiauliais, fiksuojamos didesnės beržo genties (33–49 % bendro žiedadulkių kiekio aerobiologinėse stotelėse) ir pušinių (41–73 %), dilgėlinių (35–50 %) šeimų augalų žiedadulkių koncentracijos. Klaipėdoje kiečio genties augalų žiedadulkių fiksuojama mažiausiai (vidutiniškai 23 % nuo bendro per metus).
5. Žiedadulkių sklaidos ore ir augalų pražydimo lyginamoji analizė parodė, kad vietinių augalų žydėjimas ne visada sutampa su žiedadulkių sezonu, todėl vien tik fenologiniai stebėjimai nepakankamai tiksliai charakterizuoja šalies alergeninę situaciją. Tiksliau ją apibūdina aeropalinologiniai tyrimai.
6. Atgalinių oro masių trajektorijų analizė atskleidė, kad dalis žiedadulkių yra advekcinės kilmės. 2004–2009 m., augalų dulkėjimo laikotarpiu, Lietuvoje vyravo vakarų ir šiaurės vakarų krypties oro masių slinktis (35–45 % visų atvejų). Šiomis sąlygomis buvo užfiksuota vidutiniškai 32 % metinio žiedadulkių kiekio.
7. Iš Centrinės ir Pietinės Europos atslenkančios oro masės vasaros pabaigoje yra potencialūs ambrozijos žiedadulkių šaltiniai. Daugiausiai ambrozijos

žiedadulkių užfiksuota rugpjūčio pabaigoje ir rugsėjo pradžioje Vilniaus aerobiologinėje stotelėje (10–61 žiedad./m³).

8. Nustatyta, kad, virš Rusijos susidarius aukšto slėgio sričiai, o ties Islandija ir Škotija – giliai žemo slėgio sričiai ir sustiprėjus pietų krypties vėjams, beržų žiedadulkės į Lietuvą gali būti atnešamos iš Pietinės Švedijos, Danijos, Vokietijos, Lenkijos, Baltarusijos, Ukrainos, Moldavijos.
9. Įvertinus meteorologinių parametų poveikį, nustatytas statistiškai patikimas ($p < 0,05$) ryšys tarp žiedadulkių kiekio ore ir santykinės oro drėgmės, oro temperatūros, kritulių kiekio ir vėjo greičio. Toks dėsningumas būdingas atitinkamai 79 %, 67 %, 50 % ir 31 % žiedadulkių morfotipų.
10. Daugialypės regresijos analizė atskleidė ($p < 0,05$), kad 40 % analizuotų atvejų žiedadulkių koncentraciją ore lemia santykinė oro drėgmė, 12 % – oro temperatūra ir drėgmė, 12 % – oro temperatūra ir vėjo greitis ir 9 % – oro temperatūra. Likusius 27 % atvejų sudaro įvairūs oro temperatūros, drėgnumo, kritulių kiekio ir vėjo greičio kompleksai.
11. Fenologinių stebėjimų (1970–1999 m. ir 2003–2009 m.) duomenų chronologinė analizė rodo ($p < 0,05$), kad paprastojo lazdyno žydėjimas per laikotarpį vidutiniškai paankstėjo 20–30 dienų, karpotojo beržo – 10–15 dienų, o mažalapės liepos – 5–15 dienų.
12. Analizuojant klimato šiltėjimo įtaką paprastojo lazdyno, karpotojo beržo ir mažalapės liepos pražydimui nustatyta, kad, lyginant su XX a., labiausiai turėtų keisis anksti pavasarį žydinčių augalų pražydimas.
13. Jei klimato kaita vyks pagal B1 scenarijų, didžiausi paprastojo lazdyno pražydimo pokyčiai (ankstyvėjimas) XXI a. numatomi pajūryje (daugiau kaip 29 dienos), mažiausi – Šiaurės rytų, Pietryčių Lietuvoje (8–13 dienų). Jei pagal A2 – daugiau kaip 53 dienos ir 46 dienos atitinkamai.
14. XXI a. pagal B1 scenarijų numatomas 5–8 dienų karpotojo beržo pražydimo ankstyvėjimas visoje Lietuvoje. Pagal A2 scenarijų numatomi didžiausi pokyčiai pajūryje ir Pietų Lietuvoje (daugiau kaip 33 dienos), mažiausi – Vakarų Lietuvoje (apie 23 dienas).

15. Pagal B1 scenarijų mažalapė liepa anksčiausiai pražys pajūryje (24 dienų skirtumas), vėliausiai centrinėje Lietuvos dalyje (17 dienų). Pagal A2 scenarijų numatomi didžiausi pokyčiai Vakarų Lietuvoje (43 dienos) ir mažiausi pajūryje ir Pietų Lietuvoje (35–36 dienos).

LITERATŪRA

1. Aasa A., Jaagus J., Ahas R., Sepp M. (2004). The influence of atmospheric circulation on plant phenological phases in central and eastern Europe. *International Journal of Climatology*, 24: 1551-1564.
2. Abreu I., Ribeiro H., Cunha M. (2003). An Aeropalynological study of the Porto region (Portugal). *Aerobiologia*, 19: 235-241.
3. Accorsi C. A., Bandini Mazzanti M. Romano B., Frenguelli G., Minicigrucci G. (1991). Allergenic pollen: morphology and microscopic photographs. *Allergenic Pollen and Pollinosis in Europe*. Edited by G. D'Amato, F. Th. M. Spieksma, S. Bonini. Blackwell Scientific. 24-35.
4. Ahas R. (1999). Long-term phyto-, ornitho- and ichtyophenological time-series analyses in Estonia. *International Journal of Biometeorology*, 42: 119-123.
5. Ahas R., Aasa A. (2006). The effects of climate change on the phenology of selected Estonian plant, bird and fish populations. *International Journal of Biometeorology*, 51: 17-26.
6. Ahas R., Aasa A., Menzel A., Fedotova V. G., Scheifinger H. (2002). Changes in European spring phenology. *International Journal of Climatology*, 22: 1727-1738.
7. Ahas R., Jaagus J., Aasa A. (2000). The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean air temperature. *International Journal of Biometeorology*, 44: 159-166.
8. Alcázar P., Stach A., Nowak M., Galán C. (2009). Comparison of airborne herb pollen types in Córdoba (Southwestern Spain) and Poznan (Western Poland). *Aerobiologia*, 25: 55-63.
9. Altıntaş D. U., Karakoc G. B., Yilmaz M., Pinar M., Kendirli S. G., Cakan H. (2004). Relationship between pollen counts and weather variables in east-Mediterranean coast of Turkey. Does it affect allergic symptoms in pollen allergic children? *Clinical & Developmental Immunology*, 11(1): 87-96.

10. Andersen T. B. (1991). A model to predict the beginning of the pollen season. *Grana*, 30: 269-275.
11. Aono Y., Kazui K. (2008). Phenological data series of cherry tree flowering in Kyoto, Japan, and its application to reconstruction of springtime temperatures since the 9th century. *International Journal of Climatology*, 28: 905-914.
12. Apatini D., Replyuk E., Novak E., Paldy A. (2008). Ragweed pollution in Hungary, 1992-2007. *4th European Symposium on Aerobiology, Turku, Finland*.
13. Asero R, Wopfner N, Gruber P, Gadermeier G, Ferreira F. (2006). *Artemisia* and *Ambrosia* hypersensitivity: co-sensitization or co-recognition? *Clinical & Experimental Allergy*, 36(5): 658-665.
14. Badeck F.W., Bondeau A., Böttcher K., Doktor D., Lucht W., Schaber J., Sirch S. (2004). Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist*, 162: 295-309.
15. Bagdonas A., Karalevičienė R. (1987). *Agrometeorologo žinynas*. Vilnius: Mokslas.
16. Behrendt H., Becker W. M., Friedrichs K. H., Darson V., Tomingas R. (1992). Interaction between aeroallergens and airborne particulate matter. *International Archives of Allergy and Immunology*, 99: 425-428.
17. Belmonte J., Alarcón M., Avila A., Scialabba E., Pino D. (2008). Long-range transport of beech (*Fagus sylvatica* L.) pollen to Catalonia (north-eastern Spain). *International Journal of Biometeorology*, 52: 675-687.
18. Belmonte J., Canela M. (2002). Modelling aerobiological time series. Application to *Urticaceae*. *Aerobiologia*, 18: 287-295.
19. Belmonte J., Vendrell M., Roure J. M., Vidal J., Botey J., Cadahía A. (2000). Levels of *Ambrosia* pollen in the atmospheric spectra of Catalan aerobiological stations. *Aerobiologia*, 16: 93-99.
20. Bergant K., Kajfež-Bogataj L., Črepinšek Z. (2002). Statistical downscaling of general-circulation-model- simulated average monthly air temperature to the beginning of flowering of the dandelion (*Taraxacum*

- officinale*) in Slovenia. . *International Journal of Biometeorology*, 46: 22-32.
21. Bibi S., Husain S. Z., Malik R. N. (2008). Pollen analysis and heavy metals detection in honey samples from seven selected countries. *Pakistan Journal of Botany*, 40(2): 507-516.
 22. Biesboer D. (1977). Aeropalynology. *The American Biology Teacher*, 39(2): 88-92.
 23. Bohren Ch. (2009). *Ambrosia artemisiifolia* – a challenge for European-wide control. *Ambrosie, the first international ragweed review*, 26: 5-9.
 24. Bortenschlager S., Bortenschlager I. (2005). Altering airborne pollen concentrations due to the Global Warming. A comparative analysis of airborne pollen records from Innsbruck and Obergurgl (Austria) for the period 1980-2001. *Grana*, 44(3): 172-180.
 25. Bradley B. A., Mustard J. F. (2008). Comparison of phenology trends by land cover class: a case study in the Great Basin, USA. *Global Change Biology*, 14: 334-346.
 26. Bruns E., Chmielewski F.-M., VanVliet A. J. H. (2003). The Global Phenological Monitoring concept. *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Schwartz M. D. ed., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 93-104.
 27. Bucher E., Kofler V. (2004). *Pollen atlas*. Polleninfo.org. (http://www.polleninfo.org/index.php?language=en&nav=_n2&module=article&action=first_page&row=0&id_parent=2055)
 28. Bukantis A., Kazakevičius S., Korkutis P., Markevičienė I., Rimkus E., Rimkutė L., Stankūnavičius G., Valiuškevičienė L., Žukauskaitė L. (1998). *Klimato elementų kintamumas Lietuvos teritorijoje*. Vilnius: Geografijos institutas.
 29. Burczyk J., DiFazio S. P., Adams W. T. (2004). Gene flow in forest trees: how far do genes really travel? *Forest Genetics*, 11(3–4): 179-192.
 30. Carroll E., Sparks T., Donnelly A., Cooney T. (2009). Irish phenological observations from the early 20th century reveal a strong response to

- temperature. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, 109B(2): 115-126.
31. Cecchi L., Torrigiani Malaspina T., Albertini R., Zanca M., Ridolo E., Usberti I., Morabito M., Dall' Aglio P., Orlandini S. (2007). The contribution of long-distance transport to the presence of Ambrosia pollen in central northern Italy. *Aerobiologia*, 23: 145-151.
 32. Charpin D., Calleja M., Lahoz C., Pichot C., Waisel Y. (2005). Allergy to cypress pollen. *Allergy*, 60: 293-301.
 33. Chen X., Tan Z., Schwartz M. D., Xu Ch. (2000). Determining the growing season of land vegetation on the basis of plant phenology and satellite data in Northern China. *International Journal of Biometeorology*, 44: 97-101.
 34. Chuine I., Cour P., Rousseau D. D. (1998). Fitting models predicting dates of flowering of temperate-zone trees using simulated annealing. *Plant, Cell and Environment*, 21: 455-466.
 35. Chuine I., Cour P., Rousseau D. D. (1999). Selecting models to predict the timing of flowering of temperate trees: implications for tree phenology modelling. *Plant, Cell and Environment*, 22: 1-13.
 36. Clark R. M., Roy Thompson R. (2009). Predicting the impact of global warming on the timing of spring flowering. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.2004.
 37. Cleland E. E., Chuine I., Menzel A., Mooney H. A., Schwartz M. D. (2007). Shifting plant phenology in response to global change. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 22(7): 357-365.
 38. Clot B. (2001). Airborne birch pollen in Neuchâtel (Switzerland): onset, peak and daily patterns. *Aerobiologia*, 17: 25-29.
 39. Comtois P. (1998). Statistical analysis of aerobiological data. P. Mandrioli, P. Comtois, & V. Levizzani. *Methods in aerobiology* . Pitagora Editrice Bologna. 217-257.
 40. Cowie J. (2007). *Climate change. Biological and human aspects*. Cambridge University Press.

41. Crimi P., Macrina G., Folli C., Bertoluzzo L., Bricchetto L., Caviglia I., Fiorina A. (2004). Correlation between meteorological conditions and Parietaria pollen concentration in Alassio, north-west Italy. *International Journal of Biometeorology*, 49:13-17.
42. Čekanavičius V., Murauskas G. (2002). *Statistika ir jos taikymai II*. Vilnius: TEV.
43. Črepinšek Z., Kajfež-Bogataj L., Bergant K. (2006). Modelling of weather variability effect on fitophenology. *Ecological Modelling*, 194: 256-265.
44. D'Amato G. (2000). Urban air pollution and plant-derived respiratory allergy. *Clinical and Experimental Allergy*, 30: 628-636.
45. D'Amato G., Cecchi L., Bonini S., Nunes C., Annesi-Maesano I., Behrendt H., Liccardi G., Popov T., Cauwenberge van, P. (2007a). Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy*, 62: 976-990.
46. D'Amato G., Cocco G., Liccardi G., Melillo G. (1983). A study on airborne allergenic pollen content of the atmosphere of Naples. *Clinical Allergy*, 13: 537-544.
47. D'Amato G., Liccardi G., D'Amato M., Cazzola M. (2001). The role of outdoor air pollution, and climatic changes on the rising trends of respiratory allergy. *Respiratory Medicine*, 95(7): 606-611.
48. D'Amato G., Liccardi G., Frenguelli G. (2007b). Thunderstorm-asthma and pollen allergy. *Allergy*, 62: 11-16.
49. D'Amato G., Spiekma F. Th. M., Liccardi G., Jager S., Russo M., Kontou-Fili K., Nikkels H., Wiithrich B., Bonini S. (1998). Pollen-related allergy in Europe. *Allergy*, 53: 567-578.
50. Dahl A., Strandhede S. O. (1996). Predicting the intensity of the birch pollen season. *Aerobiologia*, 12: 97-106.
51. Dahl A., Strandhede S. O., Wihl J. A. (1999). Ragweed – an allergy risk in Sweden? *Aerobiologia*, 15: 293-297.
52. Davies R. R. (1969). Spore Concentrations in the Atmosphere at Ahmadi, a New Town in Kuwait. *Journal of General Microbiology*, 55: 425-432.

53. Dąbrowska A. (2008). The influence of weather conditions on the course of pollen seasons on alder (*Aplus* spp.), hazel (*Corylus* spp.) and birch (*Betula* spp.) in Lublin (2001-2006). *Acta Agrobotanica*, 61(1): 53-57.
54. De Pascale A., Maggi R., Montanari C., Moreno D. (2006). Pollen, herds, jasper and copper mines: economic and environmental changes during the 4th and 3rd millennia BC in Liguria (NW Italy). *Environmental Archaeology*, 11(1): 115-124.
55. Déchamp Ch., Méon H., Reznik S. (2009). *Ambrosia artemisiifolia* L. an invasive weed in Europe and adjacent countries: the geographical distribution (except France) before 2009. *Ambroisie, the first international ragweed review*, 26: 5-9.
56. Defila C., Clot B. (2001). Phytophenological trends in Switzerland. *International Journal of Biometeorology*, 45: 203-207.
57. Dirmhirn I. (1991). Biometeorology in Austria: past, present and future. *International Journal of Biometeorology*, 35:133-138.
58. Docampo S., Recio M., Trigo M. M., Melgar M., Cabezudo B. (2007). Risk of pollen allergy in Nerja (southern Spain): a pollen calendar. *Aerobiologia*, 23:189-199.
59. Draxler R. R., Hess G. D. (1997). Description of the HYSPLIT 4 modeling system. NOAA Technical Memorandum ERL ARL-224. Air Resources Laboratory, Silver Spring, Maryland.
60. Draxler R. R., Rolph G. D. (2003). *HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory)* Model access via NOAA ARL READY Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
61. Dubakienė R. (2002). *Alergologija*. Vilnius: Žiburys.
62. El-Ghazali G., El-Ghazali P. K., Larsson K. A., Nilsson S. (1993). Comparison of airborne pollen grains in Huddinge and Stockholm, Sweden. *Aerobiologia*, 9: 53-67.
63. Emberlin J., Detandt M., Gehrig R., Jaeger S., Nolard N., Rantio-Lehtimäki A. (2002). Responses in the start of *Betula* (birch) pollen seasons to

- recent changes in spring temperatures across Europe. *International Journal of Biometeorology*, 46:159-170.
64. Emberlin J., Smith M., Close R., Adams-Groom B. (2007). Changes in the pollen seasons of the early flowering trees *Alnus* spp. and *Corylus* spp. in Worcester, United Kingdom, 1996–2005. *International Journal of Biometeorology*, 51: 181-191.
65. Erdtman G. (1943). *An introduction to pollen analysis*. Chronica Botanica, Waltham, Mass.
66. Estrella N., Menzel A., Krämer U., Behrendt H. (2006). Integration of flowering dates in phenology and pollen counts in aerobiology: analysis of their spatial and temporal coherence in Germany (1992–1999). *International Journal of Biometeorology*, 51: 49-59.
67. Frei T. (1998). The effects of climate change in Switzerland 1969-1996 on airborne pollen quantities from hazel, birch and grass. *Grana*, 37: 172-179.
68. Frei T., Gassner E. (2008a). Climate change and its impact on birch pollen quantities and the start of the pollen season an example from Switzerland for the period 1969–2006. *International Journal of Biometeorology*, 52: 667-674.
69. Frei T., Gassner E. (2008b.) Trends in prevalence of allergic rhinitis and correlation with pollen counts in Switzerland *International Journal of Biometeorology*, 52: 841-847.
70. Gaigalas A., Vaikutienė G., Vainorius J., Kazlauskas M. (2008.) Development of Lake Rėkyva and its environment in Late Pleistocene and Holocene. *Geologija*, 61(1): 28-36.
71. Galán C., Alcázar P., Cariñanos P., Garcia H., Domínguez-Vilches E. (2000). Meteorological factors affecting daily *urticaceae* pollen counts in southwest Spain. *International Journal of Biometeorology*, 43: 191-195.
72. Galán C., Cariñanos P., García-Mozo H., Alcázar P., Domínguez-Vilches E. (2001). Model for forecasting *Olea europaea* L. airborne pollen in

- the South-West Andalucía, Spain. *International Journal of Biometeorology*, 45: 59-63.
73. Galinis V. (1984). *Aukštesniųjų augalų sistematika*. Vilnius, Mokslas.
74. Galperin M. (1999). Approaches for improving the numerical solution of the advection equation. Large scale computations in air pollution modelling. Z. Zlatev, J. Dongarra, I. Dimov, J. Brandt, P. J. Builtjes (Eds.). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 161-172.
75. Galperin M. (2000). The approaches to correct computation of airborne pollution advection. *Problems of ecological monitoring and ecosystem modelling*, XVII: 54-68.
76. Galperin M., Maslyayev A., Pekar M., Sofiev M. (1996). The development of HM model in 1996. MSC-E Report 5/96, Moscow, July 1996, 62.
77. Galperin M., Sofiev M. (1998). The long-range transport of ammonia and ammonium in the Northern Hemisphere. *Atmospheric Environment*, 32: 373-380.
78. Galvonaitė A. (1994). Meteorologinių faktorių įtaka atmosferos užterštumui Lietuvoje. *Geografijos metraštis*, 28: 195-211.
79. Galvonaitė A. Misiūnienė M., Valiukas D., Buitkuvienė M. S. (2007). Lietuvos klimatas. Monografija. Vilnius.
80. García-Mozo H., Galán C., Aira M. J., Belmonte J., De La Guardia C. D., Fernández D., Gutierrez A. M., Rodriguez F. J., Trigo M. M., Dominguez-Vilches E. (2002). Modelling start of oak pollen season in different climatic zones in Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 110: 247-257.
81. García-Mozo H., Galán C., Belmonte J., Bermejo D., Candau P., Díaz de la Guardia C., Elvira B., Gutiérrez M., Jato V., Silva I., Trigo M. M., Valencia R., Chuine I. (2008). Predicting the start and peak dates of the *Poaceae* pollen season in Spain using process-based models. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(2): 256-262.
82. García-Mozo H., Galán C., Jato V., Belmonte J., Díaz de la Guardia C., Fernández D., Gutiérrez M., Aira M. J., Roure J. M., Ruiz L., Trigo M.

- M, Domínguez-Vilches E. (2006). *Quercus* pollen season dynamics in the Iberian Peninsula: response to meteorological parameters and possible consequences of climate change. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 13: 209-224.
83. Gassmann I. M., Pérez F. C. (2006). Trajectories associated to regional and extra-regional pollen transport in the southeast of Buenos Aires province, Mar del Plata (Argentina). *International Journal of Biometeorology*, 50: 280-291.
84. Gearey B. R., Marshall P., Hamilton D. (2009). Correlating archaeological and palaeoenvironmental records using a Bayesian approach: a case study from Sutton Common, South Yorkshire, England. *Journal of Archaeological Science*, 36: 1477-1487.
85. Giner M. M., Garcia J. S. C., Camacho C. N. (2002). Seasonal fluctuations of the airborne pollen spectrum in Murcia (SE Spain). *Aerobiologia*, 18: 141-151.
86. Gioulekas D., Balafoutis Ch., Damialis A., Papakosta D., Gioulekas G., Patakas D. (2004). Fifteen years' record of airborne allergenic pollen and meteorological parameters in Thessaloniki, Greece. *International Journal of Biometeorology*, 48: 128-136.
87. Goggi A. S., Lopez-Sanchez H., Caragea P., Westgate M., Arritt R., Clark C. A. (2007). Gene flow in maize fields with different local pollen densities. *International Journal of Biometeorology*, 51: 493-503.
88. Goldberg C., Buch H., Moseholm L., Weeke E. V. (1988). Airborne pollen records in Denmark, 1977-1986. *Grana*, 27: 209-217.
89. Golubeva J. V. (2008). Klimat i pastitelnost Golocena na teritoriji Respubliki Komi. *Litosfera*, 2: 124-132.
90. Gouveia C., Trigo R. M., DaCamara C. C., Libonatia R., Pereira J. M. C. (2008). The North Atlantic Oscillation and European vegetation dynamics. *International Journal of Climatology*, 28: 1835-1847.
91. Green B. J., Dettmann M., Yli-Panula E., Rutherford Sh., Simpson R. (2004). Atmospheric *Poaceae* pollen frequencies and associations with

- meteorological parameters in Brisbane, Australia: a 5-year record, 1994–1999. *International Journal of Biometeorology*, 48: 172-178.
92. Gudžinskas Z. (1999). *Lietuvos induočiai augalai*. Vilnius: Botanikos instituto leidykla.
93. Gudžinskas Z., Rašomavičius V. (2004). Kelis lietuviškus pavadinimus turinčių augalų genčių nomenklatūra ir jos norminimo principai. *Botanica Lithuanica*, Suppl. 6: 3-18.
94. Gupta S., Chanda S. (1991). Aerobiology of subtropical Eastern Himalayas (Kurseong), India. *Aerobiologia*, 7: 118-128.
95. Guvensen A. M., Ozturk. (2003). Airborne pollen calendar of Izmir-Turkey. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 10: 37-44.
96. Heide O. M., Sønsteby A. (2007). Interactions of temperature and photoperiod in the control of flowering of latitudinal and altitudinal populations of wild strawberry (*Fragaria vesca*). *Physiologia Plantarum*, 130: 280-289.
97. Heikinheimo M., Lappalainen H. (1997). Dependence of the flower bud burst of some plant taxa in Finland on effective temperature sum: implications for climate warming. *Annales Botanici Fennici*, 34: 229-243.
98. Helbig N., Vogel B., Vogel H., Fiedler F. (2004). Numerical modelling of pollen dispersion on the regional scale. *Aerobiologia*, 20: 3-19.
99. Hirst J. M. (1952). An automatic volumetric spore trap. *Annals of Applied Biology*, 39: 257-265.
100. Ho Ch.-H., Lee E.-J., Lee I., Jeong S.-J. (2006). Earlier spring in Seoul, Korea. *International Journal of Climatology*, 26: 2117-2127.
101. Ianovici N. (2008). The analysis of daily concentrations of airborne pollen in the west and southwest of Romania. *Analele științifice ale Universității “Al. I. Cuza” Iași Tomul LIV, fasc. 2, s.II a. Biologie vegetală*, 73–78.

102. Iglesias I., Méndez J., Comtois P. (2003). Aerobiological survey of *Alnus* pollen in Ourense (N.W. Iberian Peninsula), 1993-2000. *Grana*, 42: 112-120.
103. IPCC. (2007). *Climate change 2007: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Geneva, Switzerland.
104. Yasaka M., Kobayashi S., Takeuchi S., Tokuda S., Takiya M., Ohno Y. (2009). Prediction of birch airborne pollen counts by examining male catkin numbers in Hokkaido, northern Japan. *Aerobiologia*, 25: 111-117.
105. Yli-Panula E., Fekedulegn D. B., Green B. J., Ranta H. (2009). Analysis of Airborne Betula Pollen in Finland; a 31-Year Perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6: 1706-1723.
106. Jäger S. (1988). EANS - European Aeroallergen Network Server. *Aerobiologia*, 4: 16-19.
107. Jäger S. (2000). Ragweed (*Ambrosia*) sensitisation rates correlate with the amount of inhaled airborne pollen. A 14-year study in Vienna, Austria. *Aerobiologia*, 16: 149-153.
108. Jäger S. (2004a). *Plants with airborne pollen. Europe*. Polleninfo.org. (http://www.polleninfo.org/index.php?language=en&nav=_n7&module=article&action=first_page&id=1135&id_parent=312).
109. Jäger S. (2004b). *Load maps: birch*. Polleninfo.org. (http://www.polleninfo.org/index.php?language=en&nav=&module=states&action=first_page&row=&id_parent=27®ister=_r3b&typeofpollen=betu&bigmap=betu041.gif).
110. Jato M.V., Rodríguez F.J., Seijo M.C. (2000). Pinus pollen in the atmosphere of Vigo and its relationship to meteorological factors. *International Journal of Biometeorology*, 43:147-153.
111. Jato V., Javier Rodríguez-Rajo F., Jesús Aira M. (2007). Use of phenological and pollen-production data for interpreting atmospheric

- birch pollen curves. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 14: 271-280.
112. Jato V., Méndez J., Rodríguez-Rajo J., Seijo C. (2002). The relationship between the flowering phenophase and airborne pollen of *Betula* in Galicia (N.W. Spain). *Aerobiologia*, 18: 55-64.
113. Jato V., Rodríguez-Rajo J. F., Dacosta N., Aira J. M. (2004). Heat and chill requirements of *Fraxinus* flowering in Galicia (NW Spain). *Grana*, 43: 217-223.
114. Jones M. B., Donnelly A., Albanito F. (2006). Responses of irish vegetaton to future climate change. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, 106B(3): 323-334.
115. Kabailienė M. (1979). Taikomosios palinologijos pagrindai. Vilnius: Mokslas.
116. Kabailienė M. (2007). *Gamtinės aplinkos raida Lietuvoje per 14000 metų*. Vilnius: VU.
117. Kalkstein L. S. (1998). Activities within Study Group 6 of the International Society of Biometeorology. *International Journal of Biometeorology*, 42: 8-9.
118. Kalnina L., Strautnieks I., Cerina A. (2007). Upper Pleistocene biostratigraphy and traces of glacioteconics at the Satiki site, western Latvia. *Quaternary International*, 164–165: 197-206.
119. Kasprzyk I. (2003). Flowering phenology and airborne pollen grains of chosen tree taxa in Rzeszo´w (SE Poland). *Aerobiologia*, 19: 113-120.
120. Kazakevičius S., Mikelinskienė A. (2001). Tolimosios oro masių pernašos poveikis teršalų koncentracijai krituliuose. *Klimato svyravimų poveikis fiziniams geografiniams procesams Lietuvoje*. Vilnius: 108-120.
121. Keatley M. R., Fletcher T. D., Hudson I. L., Ades P. K. (2002). Phenological studies in Australia: potential application in historical and future climate analysis. *International Journal of Climatology*, 22: 1769-1780.

122. Kobzar N. V. (1999). Aeropalynological monitoring in Bishkek, Kyrgyzstan. *Aerobiologia*, 15: 149-153.
123. Kulienė L., Tomkus J. (1990). *Bendroji fenologija*. Monografija. Vilnius: Mokslas.
124. Kuliešis A., Kulbokas G. (2009). *Lietuvos nacionalinė miškų inventorizacija 2004–2008. Miškų ištekliai ir jų kaita*. Valstybinė miškotvarkos tarnyba. Kaunas: Lututė.
125. Kusch W., Fong H. Y., Jendritzky G., Jacobsen I. (2004). *Guidelines on biometeorology and air quality forecasts*. WMO, Geneva, Switzerland.
126. Laaidi K. (2001a). Predicting days of high allergenic risk during *Betula* pollination using weather types. *International Journal of Biometeorology*, 45: 124-132.
127. Laaidi M. (2001b). Forecasting the start of the pollen season of *Poaceae*: evaluation of some methods based on meteorological factors. *International Journal of Biometeorology*, 45: 1-7.
128. Ladeau S. L., Clark J. S. (2006). Pollen production by *Pinus taeda* growing in elevated atmospheric CO₂. *Functional Ecology*, 20: 541-547.
129. Leuschner R. M. (1993). Human biometeorology, Part II. Pollen (Multi-Author Reviews). *Cellular and Molecular Life Sciences*, 49: 931-942.
130. Lewis W. H. (1986). Airborne pollen of the Neotropics. Potential roles in pollination and pollinosis. *Grana*, 25: 75-83.
131. Liccardi G., Custovic A., Cazzola M., Russo M., D'Amato M., D'Amato G. (2001). Avoidance of allergens and air pollutants in respiratory allergy. *Allergy*, 56: 705-722.
132. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. (1998). Agrometeorologinių stebėjimų nuostatai. Vilnius.
133. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. (2004). Fenologiniai stebėjimai. Metraštis. 2003 m. Vilnius.

134. Linkosalo T., Lechowicz M. J. (2006). Twilight far-red treatment advances leaf bud burst of silver birch (*Betula pendula*). *Tree Physiology*, 26: 1249-1256.
135. Mahura G. A., Korsholm S. U., Baklanov A. A., Rasmussen A. (2007). Elevated birch pollen episodes in Denmark: contributions from remote sources. *Aerobiologia*, 23: 171-179.
136. Majd A., Chehregani A., Moin M., Gholami M., Kohno S., Nabe T., Shariatzade M. A. (2004). The effects of air pollution on structures, proteins and allergenicity of pollen grains. *Aerobiologia*, 20: 111-118.
137. Makra L., Juhász M., Béczi R., Borsos E. (2005). The history and impacts of airborne *Ambrosia* (*Asteraceae*) pollen in Hungary. *Grana*, 44: 57-64.
138. Makra L., Juhász M., Borsos E., Béczi R. (2004). Meteorological variables connected with airborne ragweed pollen in Southern Hungary. *Journal of Biometeorology*, 49: 37-47.
139. Mandrioli P., Comtois P., Dominguez Vilches E., Galan Soldevilla C., Isard S., Syzdek, L. (1998). Sampling: Principles and Techniques. P. Mandrioli, P. Comtois, & V. Levizzani. *Methods in aerobiology* . Pitagora Editrice Bologna. 49-101.
140. Markevič V. S. Bugdaeva E. V. (2009). Palinologičeskoje obosnovanije vozrasta pograničnix otloženiji Jury i Mela v Bureiskom Baseine (Rosyjski Dalnij Vostok). *Tihookeanskaja geologija*, 28(3): 91-100.
141. Masaitytė M., Rimkus E. (2002). Meteorologiniai matavimai Lietuvoje 1777-2002 metais. *Geografijos metraštis*, 35(1-2), 307-321.
142. McMaster S. G, Wilhelm W. (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87: 291-300.
143. Menzel A. (2000). Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *International Journal of Biometeorology*, 44: 76-81.
144. Menzel A., Estrella N., Schleip C. (2008). Impacts of Climate Variability, Trends and NAO on 20th Century European Plant Phenology. *Climate Variability and Extremes during the Past 100 Years*. S. Brönnimann, J.

- Luterbacher, T. Ewen, H. F. Diaz, R. S. Stolarski, U. Neu (Ed.). 221-233.
145. Menzel A., Jakobi G., Ahas R., Scheifinger H., Estrella N. (2003). Variations of the climatological growing season (1951–2000) in Germany compared with other countries. *International Journal of Climatology*, 23: 793-812.
146. Menzel A., Sparks T. H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., Alm-Kübler E. Bissolli P., Braslavská O., Briede A., Chmielewski F. M. Crepinsek Z., Curnel Y., Dahl Å., Defila C., Donnelly A., Filella Y., Jatzcak K., Måge F., Mestre A., Nordli Ø., Peñuelas J., Pirinen P., Remišová V., Scheifinger H., Striz M., Susnik A., Van Vliet A. S. H., Wielgolaski F.-E., Zach S., Zust A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12: 1969-1976.
147. Mosyakin S. L., Yavorska O. G. (2002). The nonnative flora of the Kyiv (Kiev) Urban Area, Ukraine: a checklist and brief analysis. *Urban Habitats*, 1(1): 45-65.
148. Mur P., Feo Brito F., Lombardero M., Barber D., Galindo P. A., Gomez E., Borja J. (2001). Allergy to linden pollen (*Tilia cordata*). *Allergy*, 56: 457-458.
149. Murray M. G., Galán C., Villamil C. B. (2008). Aeropalynological research in *Salitral de la Vidriera*, Buenos Aires province, Argentina. *Aerobiologia*, 24: 181-190.
150. Nacevičius St. (1958). Taikomoji fenologija. Vilnius: Valstybinė politinės ir mokslinės literatūros leidykla.
151. Nakicenovic N., Alcamo J., Davis G., de Vries B., Fenhann J., Gaffin S., Gregory K., Grübler A., Jung T. Y., Kram T., La Rovere E. L., Michaelis L., Mori S., Morita T., Pepper W., Pitcher H., Price L., Riahi K., Roehrl A., Rogner H.-H., Sankovski A., Schlesinger M., Shukla P., Smith S., Swart R., van Rooijen S., Victor N., Dadi Z.

- (2000). *IPCC Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
152. Navasaitis M., Ozolinčius R., Smaliukas D., Balevičienė J. (2003). *Lietuvos dendroflora*. Kaunas: Lututė.
153. Nilsson S., Praglowski J., Nilsson L. (1977). *Atlas of airborne pollen grains and spores in northern Europe*. Stockholm: Natur och Kultur.
154. Nitiu D. S., Mallo A. C., Romero E. J. (2003). Quantitative aeropalynology in the atmosphere of Buenos Aires city, Argentina. *Aerobiologia*, 19: 1-10.
155. O'rourke M. K., Quackenboss J. J., Lebowitz M. D. (1989). An epidemiological approach investigating respiratory disease response in sensitive individuals to indoor and outdoor pollen exposure in Tucson, Arizona. *Aerobiologia*, 5: 104-110.
156. Ogden E. C., Raynor G. S., Hayes J. V., Lewis D. M., Haines J. H. (1974). *Manual for Sampling Airborn Pollen*. New York: Hafner Press.
157. Orlandi F., Ruga L., Romano B., Fornaciari M. (2005). Olive flowering as an indicator of local climatic changes. *Theoretical and Applied Climatology*, 81: 169-176.
158. Osborne C. P., Chuine I., Viner D., Woodward F. I. (2000). Olive phenology as a sensitive indicator of future climatic warming in the Mediterranean. *Plant, Cell and Environment*, 23: 701-710.
159. Pashley C. H., Fairs A., Edwards R. E., Bailey J. P., Corden J. M., Wardlaw A. J. (2009). Reproducibility between counts of airborne allergenic pollen from two cities in the East Midlands, UK. *Aerobiologia*, 25: 249-263.
160. Peeters A. G. (2000). *Ambrosia* sp. pollen in Switzerland. *Aerobiologia*, 16: 295-297.
161. Peternel R., Culig J., Hrga I., Hercog P. (2006). Airborne ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen concentrations in Croatia, 2002-2004. *Aerobiologia*, 22: 161-168.

162. Peternel R., Srnec L., Hrga I., Hercog P., Culig J. (2005). Airborne pollen of *Betula*, *Corylus* and *Alnus* in Zagreb, Croatia. A three-year record. *Grana*, 44: 187-191.
163. Petkevičienė B. (2008). Sėjios laiko ir veislių įtaka cukrinių runkelių produktyvumui. *Zemdirbyste-Agriculture*, 95(4): 59-70.
164. Phuphumirat W., Mildenhall D. C., Purintavaragul Ch. (2009). Pollen Deterioration in a Tropical Surface Soil and its Impact on Forensic Palynology. *The Open Forensic Science Journal*, 2: 34-40.
165. Piana M. L., Belligoli P., Persano Oddo L., Piperno S. (2006). Pollen analysis of royal jelly contribution to analytical methods and characterization. *APIACTA*, 41: 28-43.
166. Pinar N. M., Şakiyan N., İnceoğlu Ö., Kaplan A. (1999). A one-year aeropalynological study at Ankara, Turkey. *Aerobiologia*, 15: 307-310.
167. Pyšek P., Lambdon P. W., Arianoutsou M., Kühn I., Pino J., Winter M. (2009). Alien vascular plants of Europe. *Handbook of Alien Species in Europe*. Berlin: Springer, 43-61.
168. Primack R. B., Ibanez I., Higuchi H., Lee S. D., Miller-Rushing A. J., Wilson A. M., Silander J. A. (2009). Spatial and interspecific variability in phenological responses to warming temperatures. *Biological Conservation*, 142: 2569-2577.
169. Prospero J. M., Blades E., Mathison G., Naidu R. (2005). Interhemispheric transport of viable fungi and bacteria from Africa to the Caribbean with soil dust. *Aerobiologia*, 21: 1-19.
170. Pudas E., Leppälä M., Tolvanen A., Poikolainen J., Venäläinen A., Kubin E. (2008). Trends in phenology of *Betula pubescens* across the boreal zone in Finland. *International Journal of Biometeorology*, 52: 251-259.
171. Radauer Ch., Breiteneder H. (2006). Pollen allergens are restricted to few protein families and show distinct patterns of species distribution. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 117: 141-147.

172. Ranta H., Hokkanen T., Linkosalo T., Laukkanen L., Bondestam K., Oksanen A. (2008). Male flowering of birch: Spatial synchronization, year-to-year variation and relation of catkin numbers and airborne pollen counts. *Forest Ecology and Management*, 255: 643-650.
173. Ranta H., Kubin E., Siljamo P., Sofiev M., Linkosalo T., Oksanen A., Bondestam K. (2006). Long distance pollen transport cause problems for determining the timing of birch pollen season in Fennoscandia by using phenological observations. *Grana*, 45: 297-304.
174. Ranta H., Satri P. (2007). Synchronized inter-annual fluctuation of flowering intensity affects the exposure to allergenic tree pollen in North Europe. *Grana*, 46: 274-284.
175. Rasmussen A. (2002). The effects of climate change on the birch pollen season in Denmark. *Aerobiologia*, 18: 253-265.
176. Recio M., Cabezudo B., Trigo M. M., Toro J. (1997). Accumulative air temperature as a predicting parameter for daily airborne olive pollen (*Olea europaea* L.) during the pre-peak period in Málaga (Western Mediterranean area). *Grana* 36: 44-48.
177. Rimkus E., Kažys J., Junevičiūtė J., Stonevičius E. (2007). Lietuvos klimato pokyčių XXI a. prognozė. *Geografija*, 43(2): 37-47.
178. Rodríguez-Rajo F. J., Frenguelli D, Jato V. (2003a). The influence of air temperature on the starting date of *Quercus* pollination in the South of Europe. *Grana*, 42: 145-152.
179. Rodríguez-Rajo F. J., Frenguelli D, Jato V. (2003b). Effect of air temperature on forecasting the start of the *Betula* pollen season at two contrasting sites in the south of Europe (1995–2001). *International Journal of Biometeorology*, 47:117–125.
180. Roeckner E., Bäuml G., Bonaventura L., Brokopf R., Esch M., Giorgetta M., Hagemann S., Kirchner I., Kornbluh L., Manzini E., Rhodin A., Schlese U., Schulzweida U., Tompkins A. (2003). *The atmospheric general circulation model ECHAM 5. PART I: Model description*. Max

- Planck Institut Report. 349. Hamburg: Max-Planck-Institut für Meteorologie.
181. Roetzer T., Wittenzeller M., Haeckel H., Nekovar J. (2000). Phenology in central Europe – differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas. *International Journal of Biometeorology*, 44: 60–66.
 182. Rogers Ch. A., Wayne P. M., Macklin E. A., Muilenberg M. L., Wagner Ch. J., Epstein P. R., Bazzaz F. A. (2006). Interaction of the onset of spring and elevated atmospheric CO₂ on ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen production. *Environmental Health Perspectives*, 114(6): 865-869.
 183. Romanovskaja D. (2003). Fenologinių sezonų pradžios augalų indikatorių vystymosi dėsningumai Lietuvoje 1961-2000 m. laikotarpiu. *Žemdirbystė. Mokslo darbai*, 84: 150-164.
 184. Romanovskaja D. (2004). Klimato šiltėjimo įtaka fenologinių sezonų trukmei Lietuvos teritorijoje. *Žemės ūkio mokslai*, 1: 28-35.
 185. Romanovskaja D., Bakšienė E. (2006). Fenologiniai tyrimai Lietuvoje Europos fenologinio tinklo kontekste. *Žemės ūkio mokslai*, 2: 8-17.
 186. Romanovskaja D., Bakšienė E. (2007). Influence of the thermal mode on seasonal phenological phenomena in Lithuania. *Ekologija*, 53(1): 15-20.
 187. Rötzer T., Chmielewski F.-M. (2001). Phenological maps of Europe. *Climate Research*, 18: 249-257.
 188. Rousseau D.–D., Schevin P., Ferrier J., Jolly D., Andreassen T., Ascanius S. E., Hendriksen S. E., and Poulsen U. (2008). Long-distance pollen transport from North America to Greenland in spring. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences*, 113, G02013, doi:10.1029/2007JG000456.
 189. Saar M., Gudžinskas Z., Ploompuu T., Linno E., Minkienė Z., Motiekaitytė V. (2000). Ragweed plants and airborne pollen in the Baltic states. *Aerobiologia*, 16: 101-106.

190. Scheifinger H., Menzel A., Koch E., Peter C. (2003). Trends of spring time frost events and phenological dates in central Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 74: 41-51.
191. Scheifinger H., Menzel A., Koch E., Peter C., Ahas R. (2002). Atmospheric mechanisms governing the spatial and temporal variability of phenological phases in central Europe. *International Journal of Climatology*, 22: 1739-1755.
192. Shafer S. L., Bartlein P. J., Thompson R. S. (2001). Potential changes in the distributions of Western North America tree and shrub taxa under future climate scenarios. *Ecosystems*, 4: 200-215.
193. Siljamo P., Sofiev M., Ranta H., Linkosalo T., Kubin E., Ahas R., Genikhovich E. Jatzcak K., Jato V., Nekovár J., Minin A., Severova E., Shalaboda V. (2008a). Representativeness of point-wise phenological *Betula* data collected in different parts of Europe. *Global Ecology and Biogeography*, 17: 489-502.
194. Siljamo P., Sofiev M., Severova E., Ranta H., Kukkonen J., Polevova S., Kubin E., & Minin A. (2008b). Sources, impact and exchange of early-spring birch pollen in the Moscow region and Finland. *Aerobiologia*, 24: 211-230.
195. Siljamo, P.; Sofiev, M.; Severova, E.; Ranta, H.; Polevova, S. (2007). On influence of long-range transport of pollen grains onto pollinating seasons. *Developments in Environmental Science*, 6. C.Borrego & E.Renner (Eds.). *Air Pollution Modelling and its Applications, XVIII*: 708-716.
196. Skjøth C. A., Petersen H., Sommer J., Smith M. (2009a). Copenhagen: A harbinger for ragweed (*Ambrosia*) in Northern Europe under climate change? *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 6, 142031, doi: 10.1088/1755-1307/6/14/142031.
197. Skjøth C. A., Sigsgaard T., Sommer J., Hertel O., Wåhlin P., Petersen H. (2009b). Combined analysis of air pollution and aeroallergens in a climatic perspective. *Climate Change: Global Risks, Challenges and*

- Decisions. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 6, 142030, doi:10.1088/1755-1307/6/4/142030.
198. Skjøth C. A., Smith M., Brandt J., Emberlin J. (2009c). Are the birch trees in Southern England a source of *Betula* pollen for North London? *International Journal of Biometeorology*, 53: 75-86.
199. Skjøth C. A., Sommer J., Stach A., Smith M., Brandt J. (2007). The long-range transport of birch (*Betula*) pollen from Poland and Germany causes significant pre-season concentrations in Denmark. *Clinical and Experimental Allergy*, 37: 1204-1212.
200. Skoner D. P. (2001). Allergic rhinitis: definition, epidemiology, pathophysiology, detection and diagnosis. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 108: S2-S8.
201. Small E. (1978). A numerical and nomenclatural analysis of morphogeographic taxa of *Humulus*. *Systematic Botany*, 3(1): 37-76.
202. Smith M., Emberlin J. (2005). Constructing a 7-day ahead forecast model for grass pollen at north London, United Kingdom. *Clinical & Experimental Allergy*, 35: 1400-1406.
203. Smith M., Emberlin J. (2006). A 30-day-ahead forecast model for grass pollen in north London, United Kingdom. *International Journal of Biometeorology*, 50: 233-242.
204. Smith M., Emberlin J., Kress A. (2005). Examining high magnitude grass pollen episodes at Worcester, United Kingdom, using back-trajectory analysis. *Aerobiologia*, 21: 85-94.
205. Smith M., Skjøth C. A., Myszkowska D., Uruska A., Puc M., Stach A., Balwierz Z., Chlopek K., Piotrowska K., Kasprzyk I., Brandt J. (2008). Long-range transport of *Ambrosia* pollen to Poland. *Agricultural and forest meteorology*, 148: 1402-1411.
206. Snyder L. R., Spano D., Cesaraccio C., Duce P. (1999). Determining degree-day thresholds from field observations. *International Journal of Biometeorology*, 42: 177-182.

207. Sofiev M. (2000). A model for the evaluation of long-term airborne pollution transport at regional and continental scales. *Atmospheric Environment*, 34: 2481-2493.
208. Sofiev M. (2002). Extended resistance analogy for construction of the vertical diffusion scheme for dispersion models. *Journal of Geophysical Research–Atmosphere*, 107, D12. doi:10.1029/2001JD001233.
209. Sofiev M., Siljamo P., Ranta H., Linkosalo T., Jaeger S., Jaeger, C. (2008). From Russia to Iceland: An evaluation of a large-scale pollen and chemical air pollution episode during April and May, 2006. *Aerobiological Monographs*, 1. (spaudioje).
210. Sofiev M., Siljamo P., Ranta H., Rantio-Lehtimäki A. (2006a). Towards numerical forecasting of long-range air transport of birch pollen: theoretical considerations and a feasibility study. *International Journal of Biometeorology*, 50: 392-402.
211. Sofiev M., Siljamo P., Valkama I., Ilvonen M., Kukkonen, J. (2006b). A dispersion modelling system SILAM and its evaluation against ETEX data. *Atmospheric Environment*, 40: 674–685.
212. Song Z., Lu B.-R., Chen J. (2004). Pollen flow of cultivated rice measured under experimental conditions. *Biodiversity and Conservation*, 13: 579-590.
213. Spano D., Cesaraccio C., Duce P., Snyder R. L. (1999). Phenological stages of natural species and their use as climate indicators. *International Journal of Biometeorology*, 42: 124–133.
214. Sparks T. H., Jeffree E. P., Jeffree C. E. (2000). An examination of the relationship between flowering times and temperature at the national scale using long-term phenological records from the UK. *International Journal of Biometeorology*, 44: 82–87.
215. Stach A., Emberlin J., Smith M., Adams-Groom B., Myszkowska D. (2008). Factors that determine the severity of *Betula* spp. pollen seasons in Poland (Poznań and Krakow) and the United Kingdom (Worcester and London). *International Journal of Biometeorology*, 52: 311-321.

216. Stach A., Smith M., Skjøth C. A., Brandt J. (2007). Examining *Ambrosia* pollen episodes at Poznań (Poland) using back-trajectory analysis. *International Journal of Biometeorology*, 51: 275-286.
217. Staikūnienė J., Japertienė L. M., Sakalauskas R. (2005). Žiedadulkių ir maisto alergenais įsijautrinimo įtaka polinozės klinikiniamis požymiams. *Medicina (Kaunas)*, 41(3): 208-216.
218. Stančikaitė M., Milkevičius M., Kisielienė D. (2003). Palaeoenvironmental changes in the environs of Žadeikiai bog, NW Lithuania, during Late Glacial and the Holocene according to palaeobotanical and 14C data. *Geologija*, 43: 47-60.
219. Stančikaitė M., Šinkūnas P., Risberg J., Šeirienė V., Blažauskas N., Jarockis R., Karlsson S., Miller U. (2009). Human activity and the environment during the Late Iron Age and Middle Ages at the Impiltis archaeological site, NW Lithuania. *Quaternary International*, 203: 74-90.
220. Stefanic E., Rasic S., Merdic S., Colakovic K. (2007). Annual variation of airborne pollen in the city of Vinkovci, northeastern Croatia. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 14: 97-101.
221. Sudre B., Vacheyrou M., Braun-Fahrländer C., Normand A.-C., Waser M., Reboux G., Ruffaldi P., von Mutius E., Piarroux R., and the PASTURE study group. (2009). High levels of grass pollen inside European dairy farms: a role for the allergy-protective effects of environment? *Allergy*, 64: 1068-1073.
222. Szczepanek K. (1994). Pollen calendar for Cracow (southern Poland), 1982-1991. *Aerobiologia*, 10: 65-70.
223. Šaulienė I., Motiekaitytė V. (2005). Peculiarities of Aeropalinological Monitoring in Northern Lithuania. *The 6th International Conference on Environmental Engineering. Selected Papers, Vol 1 (May 26–27 2005, Vilnius, Lithuania)*, 252-256.

224. Šaulienė I., Motiekaitytė V., Kalzlauskas M. (2003). Oro užterštumo žiedadulkėmis Šiaulių mieste ypatumai. *Vadyba: mokslo tiriamieji darbai*, 2(3): 171-173.
225. Šaulienė I., Veriankaitė L. (2006). Using of backward air mass trajectory analysis on evaluation of airborne pollen dispersion. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. XIV (3): 113-120.
226. Šikoparija B., Smith M., Skjøth A. C., Radišić P., Milkovska S., Šimić S., Brandt J. (2009). The Pannonian Plain as a source of *Ambrosia* pollen in the Balkans. *International Journal of Biometeorology*, 53: 263-272.
227. Šulc G. E. (1981). *Obščaja fenologija*. Leningrad: Nauka.
228. *Taikomoji fenologija Lietuvoje*. (1983). Sud. L. Kulienė. Vilnius: Mokslas.
229. Tal O. (2006). *Comparative flowering ecology of Fraxinus excelsior, Acer platanoides, Acer pseudoplatanus and Tilia cordata in the canopy of Leipzig's floodplain forest*. Doctoral Dissertation, Faculty of Biology, Leipzig University.
230. Turčinienė J., Bukantis A. (2009). Oro temperatūros erdvinio lauko Lietuvoje tyrimas. *Geografija*, 45(2): 131-138.
231. Undén P., Rontu L., Järvinen H., Lynch P., Calvo J., Cats G., Cuxart J., Eerola K., Fortelius C., Garcia-Moya J., A., Jones C., Lenderlink G., McDonald A., McGrath R., Navascues B., Woetman N., Ødegaard V., Rodriguez E., Rummukainen M., Rõõm R., Sattler K., Hansen Sass B., Savijärvi H., Wichers Schreur B., Sigg R., The H., Tijm, A. (2002). *HIRLAM-5 Scientific Documentation, December 2002. Technical report, HIRLAM*.
232. Vaikutienė G. (2004). Vakarinės ir pietrytinės Baltijos jūros dalies vėlyvojo ledynmečio ir holoceno nuosėdų diatomėjų rūšinės sudėties palyginimas. *Geologija*, 48: 58-69.

233. Van de Water K. P., Levetin E. (2001). Contribution of upwind pollen sources to the characterization of *Juniperus ashei* phenology. *Grana*, 40: 133-141.
234. Van Vliet A. J. H., Overeem A., de Groot R. S., Jacobs A. F. G., Spijksma F. T. M. (2002). The influence of temperature and climate change on the timing of pollen release in the Netherlands. *International Journal of Climatology*, 22: 1757-1767.
235. Vilkonis K. K. (2001). *Lietuvos žaliasis rūbas*. Kaunas: Lututė.
236. Vrtala S., Susani M., Sperr W. R., Valent P., Laffer S., Dolecek Ch., Kraft D., Valenta R. (1996). Immunologic characterization of purified recombinant timothy grass pollen (*Phleum pratense*) allergens (Phl p 1, Phl p 2, Phl p 5). *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 97: 781-787.
237. Wagner S., Radauer Ch., Bublin M., Hoffmann-Sommergruber K., Kopp T., Greisenegger E. K., Vogel L., Vieths S., Scheiner O., Breiteneder H. (2008). Naturally occurring hypoallergenic Bet v 1 isoforms fail to induce IgE responses in individuals with birch pollen allergy. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 121: 246-252.
238. Wiebicke K., Schlenvoigt G., Jager L. 1987. Allergologic-immunochemical study of various tree pollens. I. Characterization of antigen and allergen components in birch, beech, alder, hazel and oak pollens. *Allergie und Immunologie*, 33: 181-90.
239. Wielgolaski F. E. (2003). Climatic factors governing plant phenological phases along a Norwegian fjord. *International Journal of Biometeorology*, 47: 213-220.
240. Wiltshire P. E. J. (2006). Consideration of some taphonomic variables of relevance to forensic palynological investigation in the United Kingdom. *Forensic Science International*, 163: 173-182.
241. Winkler H., Ostrowski R., Wilhelm M. (2001). *Pollenbestimmungsbuch der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst*. Takt-Verlag.

242. Ziska L. H., Epstein P. R., Rogers Ch. A. (2008). Climate change, aerobiology, and public health in the Northeast United States. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 13: 607-613.

PUBLIKACIJOS DISERTACIJOS TEMA

Straipsniai moksliniuose leidiniuose, įrašytuose į Mokslinės informacijos instituto (ISI) „ISI Web of Science“ duomenų bazę:

1. **Veriankaitė L.**, Siljamo P., Sofiev M., Šaulienė I., Kukkonen J. 2010. Modelling analysis of source regions of long-range transported birch pollen that influences allergenic seasons in Lithuania. *Aerobiologia*, 26 (1): 47–62.
2. **Veriankaitė L.**, Šaulienė I., Bukantis A. 2010. The modelling of climate change influence on plant flowering shift in Lithuania. *Žemdirbystė-Agriculture*, 97(1): 41–48.
3. **Veriankaitė L.**, Šaulienė I., Bukantis A. 2010. Analysis of changes in flowering phases and airborne pollen dispersion of the genus *Betula* (birch). *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 18(2): 137–144.

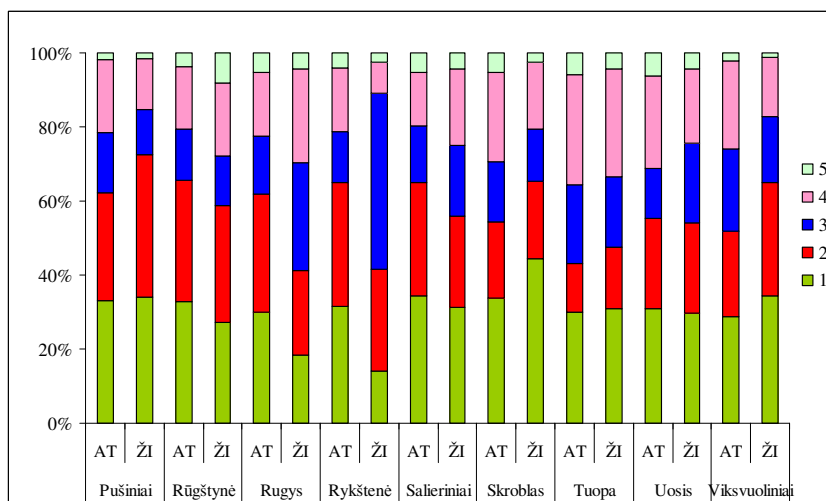
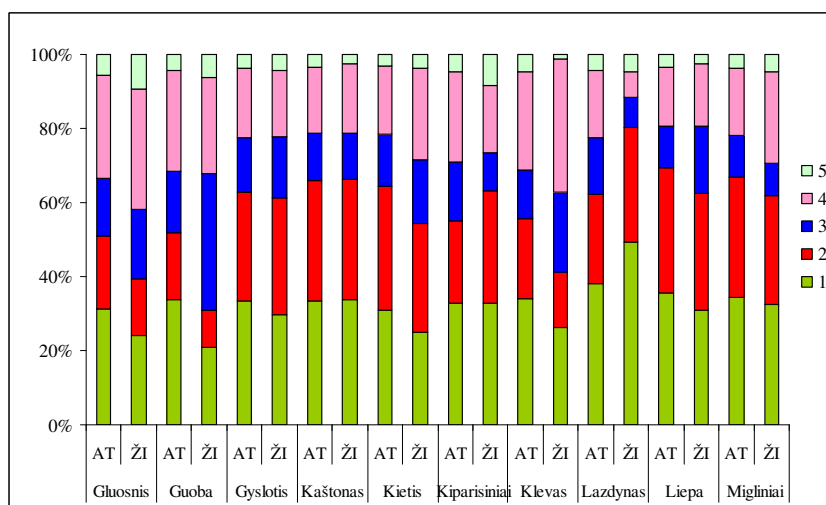
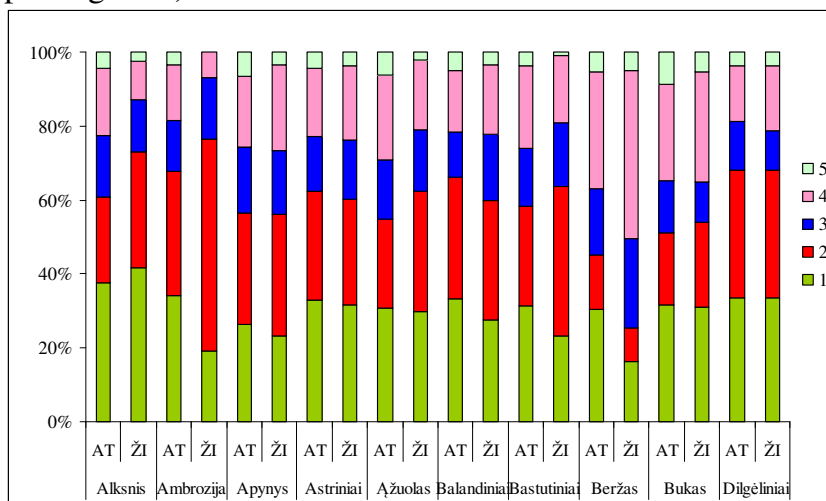
Straipsniai moksliniuose leidiniuose, įrašytuose į Mokslinės informacijos instituto (ISI) sąrašą:

1. Šaulienė I., **Veriankaitė L.**, Lankauskas A. 2007. The analysis of the impact of long distance air mass to airborne pollen concentration. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis. Cross-Border Cooperation in Researches of Biological Diversity*, Supl.1: 61–74.
2. Šaulienė I., **Veriankaitė L.** 2009. The distribution of airborne *Ambrosia* pollen in Lithuania. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*, 9(2): 255–262.

PRIEDAI

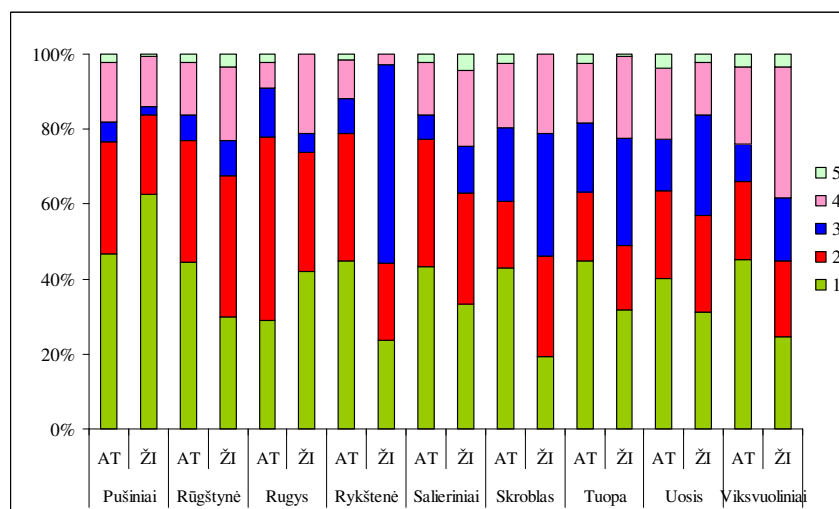
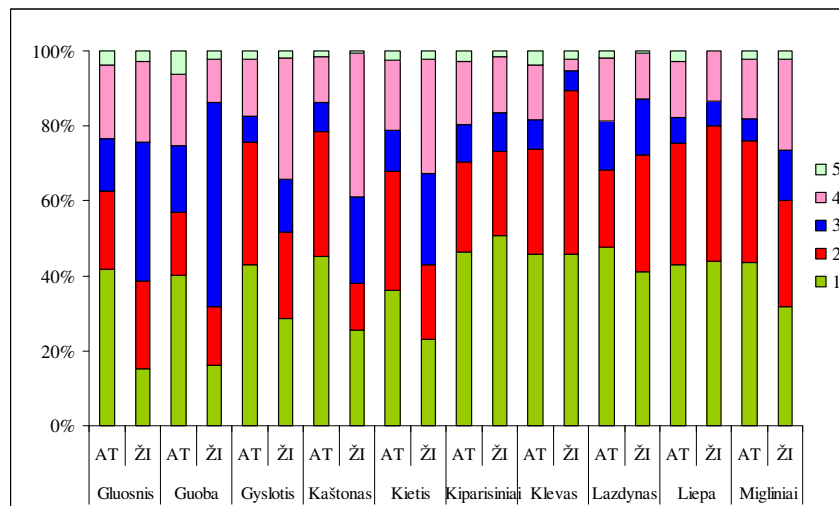
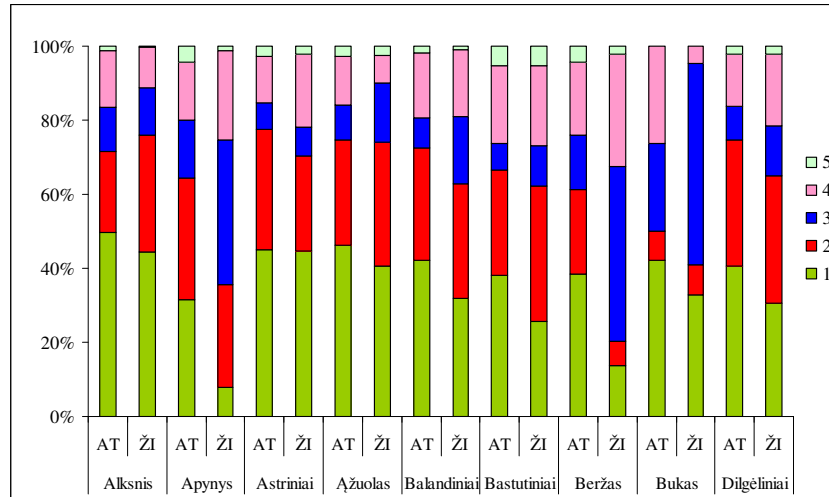
1 priedas

Atgalinių oro masių trajektorijų ir žiedadulkių kiekio, nustatyto Vilniaus aerobiologinėje stotelėje, pasiskirstymas (%) žiedadulkių sezonu (2005-2009 m.): AT –atgalinės trajektorijos; ŽI –žiedadulkių indeksai (1-5 Europos regionai)



2 priedas

Atgalinių oro masių trajektorijų ir žiedadulkių kiekio, nustatyto Klaipėdos aerobiologinėje stotelėje, pasiskirstymas (%) žiedadulkių sezonu (2005-2009 m.): AT –atgalinės trajektorijos; ŽI –žiedadulkių indeksai (1-5 Europos regionai)



3 priedas

Atgalinių oro masių trajektorijų ir žiedadulkių kiekio, nustatyto Šiaulių aerobiologinėje stotelėje, pasiskirstymas (%) žiedadulkių sezonu (2005-2009 m.): AT –atgalinės trajektorijos; ŽI –žiedadulkių indeksai (1-5 Europos regionai)

