

# Pietinių paprastosios pušies (*Pinus sylvestris* L.) populiacijų perkėlimo efektas Lietuvos klimato sąlygomis

**Linus Bužinskas,**

**Darius Danusevičius**

*Aleksandro Stulginskio universitetas,  
Studentų g. 11,  
53361 Akademija, Kauno r.  
El. paštas: buzinskas.linus@gmail.com;  
darius.danusevicius@asu.lt*

Tyrimo tikslas – ištirti pietinių paprastosios pušies populiacijų medžių produktyvumo ir kokybės požymius, palyginti juos su kitų populiacijų požymiais Kazlų Rūdos mokomojoje ir Mažeikių miškų urėdijose įveistuose paprastosios pušies populiacijų bandomuosiuose želdiniuose. Išmatuota per 3 000 medžių dviejų tipų bandymuose: tiesioginio perkėlimo (45 metų amžiaus populiacijų palikuonys) ir perkėlimo sukuriant populiacijų hibridus (25 metų amžiaus hibridai). Rezultatai parodė, kad pietinių populiacijų tiesioginė introdukcija duotų neigiamą efektą, nes aukštų temperatūrų poveikis vietinėms pušies populiacijoms vasaros metu nėra pakankamai reikšmingas, kad suteiktų pietinėms paprastosios pušies populiacijoms adaptacinį pranašumą, o žiemą periodiškai pasitaikantys šalčiai yra rimta ir reikšminga grėsmė jų prisitaikymui bei ekonomiškai vertingų požymių kokybei. Netolimų šiaurinių populiacijų (Pskovo, Novgorodo regionai) perkėlimas Lietuvos sąlygomis duotų teigiamą efektą stiebo kokybei, tačiau šiek tiek sumažintų medžių produktyvumą. Jeigu nekyla problemų su vietinių populiacijų adaptacija ar nėra rinkos poreikio aukštai stiebo kokybei, jų tiesioginė introdukcija taip pat nerekomenduotina. Populiacijų hibridizacijos tyrimai rodo, kad kol kas pietinių genetinė integracija į vietines populiacijas yra naudingesnė (saugesnė) per hibridizaciją su vietiniais genotipais. Šią integraciją būtų efektyvu atlikti įtraukiant į selekcinę populiacijas pietinius genotipus.

**Raktažodžiai:** paprastoji pušis, klimato kaita, adaptyvumas, populiacijų perkėlimas

## ĮVADAS

Nagrinėjama problema yra su globaliniais klimato pokyčiais susiję miško medžių adaptacinių aplinkų pokyčiai, kai susidaro palankesnės sąlygos pietinių adaptacinių aplinkų miško medžių genotipams šiauresnėse vietovėse (Danusevičius, Persson, 2001; Allen et al., 2010; Taeger et al., 2013). Paprastosios pušies populiacijos per evoliuciją yra prisitaikę prie tolygių natūralių aplinkos pokyčių, tačiau iš dalies dėl neigiamų žmogaus veiklos padarinių, kai klimatas keičiasi labai greitai, vietinės paprastosios pušies populiacijos natūraliu būdu gali nespėti prisitaikyti prie naujų

sąlygų (Danusevičius, Gabrilavičius, 2001; Aučina et al., 2005; Bužinskas, Danusevičius, 2016). Iškyla pušynų – vienos iš svarbiausių ekologinių ir ekonominiu požiūriu miško medžių rūšies medynų Europoje – degradacijos pavojus (Eriksson, 1982; Gabrilavičius, Danusevičius, 2006). Tikslinga dirbtiniu būdu padėti miško medžių populiacijoms prisitaikyti prie sparčiai besikeičiančios aplinkos (Eriksson, 1991; Buchovska, Danusevičius, 2012; Buchovska ir kt., 2012; Kavaliauskas ir kt., 2015). Genetika yra vienas iš kertinių medynų stabilumo garantų, jis su kitomis priemonėmis labai prisidėtų prie kompleksinio su klimato kaita susijusių problemų sprendimo.

Paprastoji pušis yra viena iš svarbiausių miško medžių rūšių Lietuvoje tiek ūkine, tiek ekologine prasme, todėl svarbu laiku pradėti jos adaptyvumo tyrimus siekiant išsiaiškinti, kaip besikeičiantis klimatas veikia skirtingų adaptacinių aplinkų paprastosios pušies populiacijas. Medžio adaptyvumą mes suprantame kaip medžio prisitaikymo galimybes prie tam tikrų adaptacinės aplinkos sąlygų (Dietrichson, 1971; Eriksson, 1982; Raškauskaitė, Danusevičius, 2015). Perkėlimas iš vėsesnių į šiltesnio klimato zonas gali padėti prognozuoti pušies populiacijų atsaką į šiltėjantį klimatą (Eriksson et al., 1980; Shutyaev, Giertych, 1997). Be to, sąsajos tarp bandomuosiuose želdiniuose išbandomų paprastosios pušies populiacijų kilmės vietos adaptacinių aplinkų ir gebėjimo toleruoti ar netoleruoti stresorių naujoje aplinkoje suteiktų vertingų žinių apie jų adaptyvumo didinimą dėl klimato kaitos poveikio (Persson, Ståhl, 1990; Stahl, 1998; Kerpauskaitė, Danusevičius, 2016). Kaimyninėse šalyse atliekami, o pastaruoju metu ypač suintensyvėjo paprastosios pušies atskirų arealo dalių populiacijų tyrimai bandomuosiuose želdiniuose. Taip galima patikimai ištirti jų perkėlimo kryptis, atstumus ir naudą (Persson, Ståhl, 1990; Ericsson, 1993; Stephan, 1996; Beuker et al., 1998; Danusevičius, 2000; Taeger et al., 2013; Barzdajn et al., 2016). Vėsesnės žiemos, vasaromis dėl vandens deficito atsiradę stresoriai verčia spręsti, ar prie tokių sąlygų jau prisitaikę pietinės kilmės pušies genotipai neatneštų naudos didinant vietinių populiacijų adaptyvumą.

Ankstesnių paprastosios pušies populiacijų perkėlimo genetinių tyrimų siekis buvo išsiaiškinti paprastosios pušies populiacijų prisitaikymo dėsningumus ir priežastingumą, atrinkti genetiškai adaptyvias, plastiškas paprastosios pušies populiacijas, gebančias toleruoti su klimato kaita susijusius stresus (Dietrichson, 1969; Lundkvist, 1982; Danusevičius, 2000; Danusevičius, 2008; Heuertz et al., 2010). Tyrimais nustatyta, kad fenologiniai požymiai (medelio fiziologinių būsenų kitimo ritmas kaičiantis sezonams) yra svarbiausi paprastosios pušies adaptaciniai požymiai temperatūrinėje ir šiaurinėje klimato zonose (Hannerz, 1998). Šių fenologinių požymių fiziologijos ir priežastingumo samprata yra būtina studijuojant pušynų genetinį atsaką į aplinkos stresorius Lietuvoje (Dietrichson, 1969; Danusevičius, 2008).

Svarbiausi mūsų klimato zonoje paprastosios pušies fenologiniai požymiai yra sezoninio augimo pradžios ir pabaigos laikas, pumpurų gilios ir negilios ramybės būsenos laikas ir stiprumas, ūglių sumedėjimas ir atsparumas šalčiui (Krutzsch, 1974; Dormling, 1979, 1993; A. Persson, B. Persson, 1992; Hannerz, 1999). Kalbant apie šalčio įtaką pušies genotipams, ankstyvosios rudeninės šalnų ir žemos temperatūros žiemą gali stipriai pakenkti jauniems pušies medeliams, augantiems atvirose vietovėse. Pušies genotipų sugebėjimas išvengti šalnų ir pakęsti žiemos šalčius yra tampriai susijęs su jų augimo ritmu, t. y. aktyvaus augimo periodo pradžia ir pabaiga. Vėlai pradėję augti pušies medeliai baigia augti taip pat vėlai, dėl to jie būna aukštesni, palyginti su anksti pradedančiais ir anksti baigiančiais augti pušies medeliais (Hannerz, 1993, 1998). Pušies medelių gebėjimas baigti augti pakankamai anksti, kad laiku tinkamai sumedėtų ūgliai, turi adaptacinę svarbą. Itin vėlai baigiantys augti pušies genotipai gali būti smarkiai pakenkti rudeninių šalnų, o vėliau ir žiemos šalčių (Krutzsch, 1974; Hannerz et al., 1999). Kita vertus, jei pradeda augti per anksti, pušies medeliai gali nukentėti nuo pavasarinių šalnų (Dormling, 1979; A. Persson, B. Persson, 1992; Danusevičius, Persson, 1998). Tik tie genotipai, kurie turi tinkamą tam tikromis klimato sąlygomis augimo ritmą, gali turėti teigiamos įtakos būsimų kartų genetinei sudėčiai. Siekiant prisitaikyti prie per metus besikeičiančių temperatūros pokyčių, egzistuoja plati augimo ritmo požymių įvairovė tarp spygliuočių populiacijų rūšių arealo dalyse, ypač klimato gradientu iš pietų į šiaurę (Hannerz, 1998). Spygliuočių medžių rūšių populiacijų augimo ritmo požymiai yra tampriai susiję su jų natūralaus augimo vietų geografiniais kintamaisiais, kurie atspindi fotoperiodą (santykinę dienos ir nakties trukmę) ir klimato sąlygas populiacijų kilmės vietose (Dietrichson, 1969; Krutzsch, 1974; Danusevičius, Gabrilavičius, 2001). Didėjant tiek pušies, tiek eglės populiacijų kilmės šiaurės platumai bei aukščiui virš jūros lygio, vegetatyvinių ir generatyvinių pumpurų sprogimo ir sukrovimo laikas palaipsniui ankstėja, todėl medelių aukštis būna mažesnis, jie anksčiau pradeda medėti, greičiau sumedėja, palyginti su vėlai pradedančiomis ir vėlai baigiančiomis augimą populiacijomis (Dormling, 1979; Eriksson et al., 1980; A. Persson, B. Persson, 1992).

Lietuvoje įveisti paprastosios pušies populiacijų bandomieji želdiniai pasiekė patikimo genetinio vertinimo amžių ir juos ištyrus galima gauti daug vertingos informacijos apie populiacijų adaptyvumą, reakciją į perkėlimo sukeltus aplinkos pokyčius. Mūsų tyrimo tikslas buvo ištirti paprastosios pušies pietinių populiacijų kiekybinius, kokybinius požymius ir sveikatos būklę vyresnio amžiaus (20–40 metų) dviejuose lauko bandomuosiuose želdiniuose, įveistuose Kazlų Rūdoje (Centrinė Lietuva) ir Ventoje (Šiaurinė Lietuva). Bandomieji želdiniai skiriasi genetinės medžiagos perkėlimo būdu: (a) Ventos bandomuosiuose želdiniuose populiacijos perkeltos tiesiogiai – surinktos sėklos jų kilmės vietose, atvežtos į Lietuvą ir iš jų išauginti sodmenys bandymui; (b) Kazlų Rūdos bandomuosiuose želdiniuose pasodinti populiacijų hibridai, gauti susikryžminus Lietuvoje augantiems nevietinės kilmės motinmedžiams su vietinės kilmės žiedadulkių mišiniu.

## TYRIMŲ METODAI

### Ventos paprastosios pušies populiacijų bandomieji želdiniai

2015 m. buvo atliktas paprastosios pušies populiacijų palikuonių vertinimas Ventos girininkijos bandomuosiuose želdiniuose šiaurės vakarinėje Lietuvos dalyje. Bandomieji želdiniai buvo įveisti 1975 m. Kairiškių girininkijoje (buvusi Ventos g-ja), plotas 7 ha. Medžių amžius vertinimo metu siekė 42 metus (1975 m. įveisti vienmečiais sodinukais). Pradinis sodinimo atstumas buvo 1,5 × 1,5 m., retinta nebuvo, augavietė Nbl, dirvožemis – smėlžemis. Kartu su Jūrės girininkijos bandomaisiais želdiniais tai vieni iš vyriausių rytinio paprastosios pušies populiacijų perkėlimo bandomųjų želdinių Europoje (Danusevičius, 2001). Iš viso buvo tirta 20 paprastosios pušies populiacijų iš šiaurinės, pietinės ir pietrytinės paprastosios pušies Europinio arealo dalies (1 lentelė). Populiacijos buvo sugrupuotos į tokius regionus: tolima šiaurė (Leningrado, Karelijos regionai), artima šiaurė (Pskovo ir Novgorodo regionai), pietūs (Šiaurės Ukraina), pietryčiai (pietinė europinės Rusijos dalis) ir Tolimieji Rytai (Orenburgo ir Novosibirsko regionai) (1 lentelė). Populiacijų išdėstymo eksperimentinė schema – dideli, paprastai stačiakampio formos, 100–150 medžių ploteliai.

Ventos bandomuosiuose želdiniuose kiekvienos populiacijos plotelyje buvo vertinti visi medžiai, vidutiniškai apie 100 medžių populiacijoje (1 lentelė). Stiebo tiesumas vertintas klasėmis: 1 – tiesus, 2 – kreivokas, 3 – kreivas. Šakų storis buvo vertinamas 4–5 m aukštyje esančiame menturyje klasėmis: 1 – plonesnės; 2 – storesnės. Dvistiškus: 1 – vienastiebis; 2 – dvistiškus. Pleištinės šakos defektas vertintas: 0 – nėra, 1 – yra (medžių su plėštine šaka proporcija populiacijoje). Šakų skaičius menturyje 2 m aukštyje. Šakų pasvirimo kampas lajos vidurinėje dalyje vertinant tris gretimų menturių požymius: 1 – status (60–90°); 2 – vidutinis (30–60°); 3 – smailas (<30°). Įvertintas išlikusių medžių ir visų sodintų medžių kiekybinis santykis, vyraujantis nuo 0 iki 1. Norint vienu skaitmeniniu indeksu nustatyti medžių produktyvumą ir jų prisitaikymą (išlikimą) buvo sudarytas skersmens ir išlikimo indeksas (populiacijos vidutinis medžių skersmuo (cm) padaugintas iš populiacijos išlikusių medžių proporcijos, kurios reikšmės gali svyruoti nuo 0 (neiškiko nė vienas populiacijos medis) iki 1 (išliko visi populiacijos medžiai)).

### Kazlų Rūdos paprastosios pušies populiacijų hibridų bandomieji želdiniai

Kazlų Rūdos bandomieji želdiniai buvo įveisti 1993 m. Kazlų Rūdos mokomosios urėdijos Jūrės girininkijoje, sodinti dvimečiai sėjinukai. Sodinio atstumai buvo 1,5 × 1,5 m (retinta nebuvo). Bandymo plotas – 2,0 ha. Bandomoji medžiaga buvo populiacijų hibridai, gauti kryžminantis nevietinės kilmės paprastosios pušies motinmedžiams, augantiems sėklinėje plantacijoje (jų vyriški stobilai buvo šalinami), su vietinės kilmės paprastosios pušies žiedadulkių mišiniu. Bandomieji želdiniai įveisti 1986–1993 m. tuometinio Lietuvos miškų instituto mokslininkų (2 lentelė) (Danusevičius, 2001).

Jūrės bandomuosiuose želdiniuose 2016 m. (medžių amžius matavimo metu buvo 25 metai) išmatuoti ir vizualiai įvertinti tokie požymiai: medžių skersmuo 1,3 m aukštyje (visų medžių iš vienos pusės); stiebo tiesumas klasėmis: 1 – tiesus, 2 – kreivokas, 3 – kreivas, 4 – labai kreivas; šakų prisegimo kampas vizualiai 1,3 metrų aukštyje esančiame menturyje klasėmis: 1 – bukas (60–90°), 2 – smailus (45–60°).

1 lentelė. Ventos bandomuosiuose želdiniuose tirtų populiacijų kilmės vietų aprašymas ir išmatuotų medžių skaičius populiacijoje. Medžių skaičius rodo tam tikros populiacijos išmatuotų medžių skaičių. Populiacijų kodas naudotas žemiau pateiktuose žemėlapiuose nurodant jų kilmės vietas

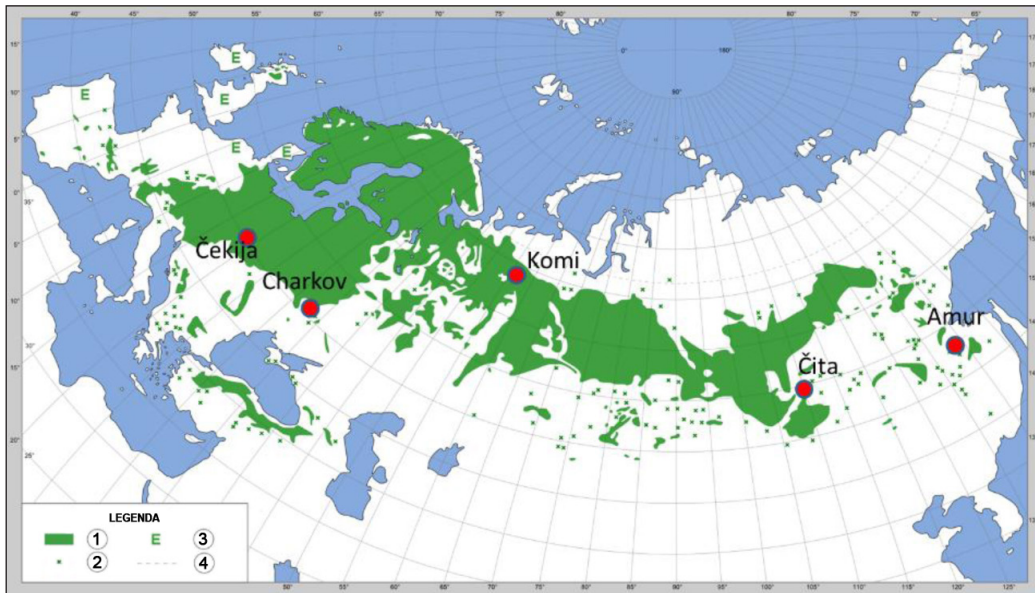
Table 1. Location of the populations tested in the Venta field trial. The tree number is the number of measured trees per population. The population code is used in the maps below

Regionas Region	Populiacija Population	Populiacijos kodas Pop code	Medžių skaičius Tree number	Šiaurės platuma Lat.	Rytų ilguma Long.	Aukštis v. j. l., m Alt.
Šiaurė tolima	Karelija 15	15	70	61,40	33,40	120
Šiaurė tolima	Karelija 16	16	70	61,40	33,40	120
Šiaurė tolima	Leningradas	19	100	60,00	30,25	14
Šiaurė tolima	Karelija C17	C17	70	61,40	33,4	120
Centrinė Rusija	Maskva	43	70	55,40	37,10	203
Šiaurė artima	Pskovas	22	70	57,43	30,31	89
Šiaurė artima	Novgorodas	23	70	58,15	33,28	194
Tolimieji Rytai	Novosibirskas	86	50	55,01	83,16	106
Tolimieji Rytai	Orenburgas	83	98	55,30	64,40	106
Lietuva	Lietuva	M2	100	56,16	22,21	72
Pietryčiai	Totorija 65	65	70	55,50	48,09	91
Pietryčiai	Totorija 66A	66A	70	55,40	51,26	132
Pietryčiai	Baškirija	C69	100	55,30	54,40	106
Pietryčiai	Penza	57	70	53,20	45,46	263
Pietūs	Ukraina 33	33	70	51,30	26,4	153
Pietūs	Ukraina 37	37	38	50,50	31,20	122
Pietūs	Ukraina 38	38	70	52,01	34,01	185
Pietūs	Ukraina 39	39	37	49,27	39,03	294

2 lentelė. Kazlų Rūdos bandomuosiuose želdiniuose tirtų tarpopuliacinių hibridų šeimų motinmedžių kilmės vietos ir išmatuotų medžių skaičius šeimoje

Table 2. Location of the populations tested in the Kazlų Rūda field trial. The tree number is the number of measured trees per hybrid family

Motinmedžio kilmės vieta Origin of mother tree	Motinmedžio kilmės šalis / regionas Region	Medžių skaičius Tree number	Šiaurės platuma Lat.	Rytų ilguma Long.	Aukštis v. j. l., m Alt.
Amūras	Amūro miškų ūkis, Rusija, Tolimieji Rytai	58	52°42'	131°15'	622
Čita	Čitos miškų ūkis, Rusija, Tolimieji Rytai	75	52°02'	112°53'	843
Komija	Komijos miškų ūkis, Rusija, šiaurė	95	63°38'	55°18'	169
Charkovas	Charkovo miškų ūkis, Ukraina	85	49°55'	36°51'	187
Chvoinovas	Chvoinovo miškų ūkis, Čekija	105	49°27'	15°16'	593
Vilnius	Vilniaus miškų ūkis, Lietuva	99	54°36'	25°12'	184



**1 pav.** Kazlų Rūdos bandomuosiuose želdiniuose išbandomų paprastosios pušies tarp populiacinių hibridų šeimų motinmedžių kilmės vietos. Tamsia spalva parodytas paprastosios pušies natūralaus išplitimo arealas

*Fig. 1.* Origin of the maternal trees used for hybridization with local male parents. The natural range of Scots pine is marked in dark. The mother trees of foreign origin were grafted clones in a seed orchard where the natural mating took place

### Statistinės analizės metodai

Požymių dispersijos analizė (ANOVA) buvo atlikta SAS kompiuterine programa (PROC GLM, SAS soft. 1994) individualaus medžio lygmeniu pagal modelį:

$$y_{ijk} = R_i + POP_j(R_i) + e_{ijk} \text{ (Ventos bandomieji želdiniai);}$$

$$y_{ij} = SEIM_i + e_{ij} \text{ (Jūrės bandomieji želdiniai);}$$

$y_{ijk}$  – analizuojamo požymio individualaus medžio reikšmė,  $R$  – regiono efektas požymio dispersijai,  $POP(R)$  – populiacijos efektas regiono viduje,  $SEIM$  – populiacijų hibridų šeimos efektas,  $e$  – atsitiktinė paklaida.

Požymių variacijos komponentės buvo apskaičiuotos SAS kompiuterine programa (PROC VARCOMP, SAS soft. 1994) pagal modelį:

$$y_{ij} = P_i + e_{ij};$$

$y_{ij}$  – analizuojamo požymio individualaus medžio reikšmė,  $P_i$  –  $i$ -tosios populiacijos efektas požymio dispersijai,  $e_{ij}$  – atsitiktinė paklaida.

Ryšiai tarp požymių buvo ištirti apskaičiuojant Pirsono (Pearson) koreliacijos koeficientus individualaus medžio ir populiacijos vidurkių lygmeniu SAS kompiuterine programa (PROC CORR, SAS soft. 1994).

Ventos bandomuosiuose želdiniuose įvertintų požymių principinių komponentių analizė (PKA) atlikta programa PAST (Kemple et al., 1989).

### TYRIMO REZULTATAI IR DISKUSIJA

Požymių dispersijos analizė Kazlų Rūdos bandomuosiuose želdiniuose atskleidė, kad šeimos efektas buvo reikšmingas visiems mūsų vertintiems požymiams Kazlų Rūdos bandomuosiuose želdiniuose ( $F$  kriterijaus reikšmingumas visiems požymiams buvo  $p < 0,001$ ), o Ventos bandomuosiuose želdiniuose išryškėjo skirtumų tarp regionų ir populiacijų regiono viduje reikšmingumas visiems požymiams (3 lentelė). Populiacijai šiame tyrime atstovavo vidutiniškai 72 medžiai, kas sudaro statistiškai patikimą imties dydį populiacijos požymių savitumui atskleisti ir požymių variacijos šaltinių įtakos reikšmingumui nustatyti (Danusevičius, 2001; Danusevičius, Gabrilavičius, 2001). Žemiausias populiacijos ir regiono efekto reikšmingumas buvo gautas pleištinės šakos defektui ( $p < F$  reikšmės, 3 lentelė). Tai gana nelauktas rezultatas, kadangi pleištinės šakos defektas yra žinomas kaip spygliuočių medžių prisitaikymo problemas atspindintis požymis (Hannerz, 1998;

Danusevičius, 2008). Pleištinės šakos defektas dažnai aptinkamas pietinės kilmės paprastosios pušies medžiuose, kurie baigia savo sezoninį augimą vėlai ir nespėja laiku sustiprėti bei pasiekti tam tikrai adaptacinei zonai reikiamo ūglių užsigrūdinimo, todėl būna pažeidžiami žiemos šalčio (A. Persson, B. Persson, 1992). Dispersinės analizės Fišerio (Fisher's) kriterijaus ( $F$ ) palyginimas rodo, kad regiono ar populiacijos regiono viduje efektas yra stipresnis tam tikro požymio kintamumui (dispersijai). Skersmens, šakų skaičiaus menturyje, stiebo tiesumo dispersijai regionas turėjo didesnę įtaką nei populiacija regiono viduje. Šis rezultatas rodo prisitaikymo ir kilmės vietos reikšmę, kuri yra svarbesnė nei kiti mažiau reikšmingi veiksniai regiono viduje (taip pat

ir atsitiktiniai veiksniai). Šakų prisegimo kampo kintamumui didesnę įtaką darė populiacijų skirtumai regiono viduje nei skirtumai tarp regionų. Tai rodo, kad šis požymis yra stipriau lemiamas vietos aplinkos sąlygų, palyginti su fotoperiodo ir temperatūros nulemtų prisitaikymo dėsningumu, kuriuos atspindi skirtumai tarp regionų.

Variacijos komponentių analizė Ventos bandomuosiuose želdiniuose parodė požymių genetinę įtaką: kokia bendros tam tikro požymio variacijos dalis buvo dėl skirtumų tarp populiacijų (3 lentelė). Šakų požymiams populiacijos variacijos komponentė sudarė 30–38 %, medžių skersmeniui – 23 % (3 lentelė). Tai gana stiprus genetinis priklausomumas, juk šie požymiai taip pat yra stipriai priklausomi nuo aplinkos sąlygų,

3 lentelė. Ventos bandomuosiuose želdiniuose įvertintų požymių dispersinės analizės (ANOVA) ir variacijos komponentių (VARCOMP) rezultatai. Laisvės laipsniai regionui, populiacijai regiono viduje ir paklaida yra 6, 12 ir 1374. Pop. var. komp. (%) yra populiacijos variacijos komponentė pagal variacijos analizę. Pop(regionas) – populiacijos efektas regiono viduje.  $F$  – Fišerio kriterijus,  $p$  –  $F$  kriterijaus statistinis reikšmingumas

Table 3. Results of ANOVA and variance components for the traits scored in the Venta field test. The degrees of freedom for region population within the region and the error were 6, 12 and 1374. Pop(region) is the population effect within a region. Var. komp. is the variance component for population (as single independent variable in the model).  $F$  is the Fisher value and  $p < F$  is its significance

Požymis Trait	Variacijos šaltinis ir variacijos komponentės Source of variation and variance components	$F$	$p < F$
Skersmuo Diameter	Regionas	52,2	0,000001
	Pop(regionas)	4,1	0,000002
	Pop. var. komp., %	23,4 %	–
Pleištinė šaka Spike knot	Regionas	3,5	0,001924
	Pop(regionas)	2,1	0,012036
	Pop. var. komp., %	2,2 %	
Šakų kampas Branch angle	Regionas	6,8	0,000001
	Pop(regionas)	40,9	0,000001
	Pop. var. komp., %	36,3 %	
Šakų skaičius Branch number	Regionas	80,4	0,000001
	Pop(regionas)	23,7	0,000001
	Pop. var. komp., %	36,3 %	
Šakų storis Branch thickness	Regionas	72,6	0,000001
	Pop(regionas)	12,8	0,000001
	Pop. var. komp., %	33,4 %	
Stiebo tiesumas Stem straightness	Regionas	38,9	0,000001
	Pop(regionas)	7,2	0,000001
	Pop. var. komp., %	22,0 %	

pavyzdžiui, konkurencijos, augavietės, šviesos. Pleištinės šakos defektui populiacijos variacijos komponentė buvo mažiausia – 2,2 %, tačiau tiek regiono, tiek populiacijos efektas pleištinės išakos defektui buvo statistiškai reikšmingas, kas rodo, kad medžių genetinės savybės turi reikšmingos įtakos šio požymio dispersijai mūsų bandomuosiuose želdiniuose. Medžių požymių dispersinė ir variacijos komponentių analizės parodė, kad regionų ir populiacijų vidurkiai statistiškai reikšmingai atspindi jų genetines savybes, t. y. mūsų išmatuotų požymių kintamumas nėra atsitiktinių veiksnių poveikio rezultatas bandomuosiuose želdiniuose, todėl pagal juos galime patikimai spręsti apie populiacijų tinkamumą auginti Lietuvos sąlygomis, įvertinti jų skirtumus.

Požymių ir populiacijų kilmės vietos geografinių kintamųjų koreliacijos analizė Ventos bandomuosiuose želdiniuose (4 lentelė) atskleidė stiprius ir statistiškai reikšmingus ryšius tarp populiacijų kilmės vietos šiaurės platumos ir medžių skersmens (mažėjo einant link šiaurės),

stiebo tiesumo (tiesesni stiebai šiaurės link), šakų skaičiaus menturyje (mažiau šakų menturyje šiaurės link) ir šakų storio (plonesnės šakos šiaurės link). Požymių ir populiacijų kilmės vietos rytų ilgumos ryšiai buvo silpnesni ir reikšmingi tik individualiai: skersmuo (šiek tiek didėjo rytų link), stiebų tiesumas (truputį kreivesni rytų link), šakų storis (nežymiai didėjo rytų link), šakų kampas (darėsi statesnis rytų link). Tai rodo, kad šių požymių variacija buvo neatsitiktinė, o reikšmingai susijusi su medžių kilmės vieta. Populiacijų vidurkių požymiai nebuvo reikšmingai susiję su jų kilmės vietos rytų ilguma. Tačiau individualiai, kur imtys koreliacijos koeficientui skaičiuoti buvo didesnės, rytų ilguma buvo silpnai, bet statistiškai reikšmingai susijusi su visais požymiais, išskyrus pleištinės šakos defektą (4 lentelė). Ryšio palyginimas tarp kilmės vietos geografinių kintamųjų ir medžių požymių rodo, kad paprastosios pušies perkėlimui reikšmingesnį poveikį turi šiaurės–pietų nei rytų–vakarų gradientas.

4 lentelė. Pirsono koreliacijos koeficientai tarp paprastosios pušies požymių Ventos bandomuosiuose želdiniuose ir jų kilmės vietos geografinių koordinatų. Koeficientai pateikti atskirai koreliacijai pagal populiacijų vidurkį ir individualų medį. Koreliacijos koeficiento statistinis reikšmingumas pateiktas po kiekvienu koeficientu. ŠP – šiaurės platumas, RI – rytų ilgumas, Alt. – aukštis virš jūros lygio

Table 4. Pearson product-moment correlation coefficients between the geographical location variables and the traits scored in the Venta field test on an individual tree ( $n = 1393$ ) and population mean levels ( $n = 19$ ). The significance is given below each coefficient

Kintamasis Variable	Populiacijos lygmuo Population mean level $n = 19$			Individualus lygmuo Individual tree level $n = 1393$		
	ŠP Lat.	RI Long.	Alt.	ŠP Lat.	RI Long.	Alt.
Skersmuo <i>Diameter</i>	<b>-0,91</b> 0,0001	<b>0,09</b> 0,7086	<b>0,36</b> 0,126	<b>-0,42</b> 0,0001	<b>0,09</b> 0,0013	<b>0,17</b> 0,0001
Stiebo tiesumas <i>Stem straightness</i>	<b>-0,82</b> 0,0001	<b>0,13</b> 0,5918	<b>0,48</b> 0,0384	<b>-0,35</b> 0,0001	<b>0,10</b> 0,0001	<b>0,17</b> 0,0001
Pleištinė šaka <i>Spike knot</i>	<b>-0,62</b> 0,005	<b>0,11</b> 0,6427	<b>0,28</b> 0,253	<b>-0,11</b> 0,0001	<b>0,03</b> 0,2223	<b>0,04</b> 0,1108
Šakų skaičius menturyje <i>Branch number</i>	<b>-0,62</b> 0,0048	<b>-0,22</b> 0,3665	<b>0,38</b> 0,1049	<b>-0,34</b> 0,0001	<b>-0,14</b> 0,0001	<b>0,22</b> 0,0001
Šakų kampas <i>Branch angle</i>	<b>-0,12</b> 0,6287	<b>-0,24</b> 0,3271	<b>0,42</b> 0,0717	<b>-0,07</b> 0,006	<b>-0,13</b> 0,0001	<b>0,26</b> 0,0001
Šakų storis <i>Branch thickness</i>	<b>-0,74</b> 0,0003	<b>0,22</b> 0,37	<b>0,15</b> 0,5298	<b>-0,39</b> 0,0001	<b>0,21</b> 0,0001	<b>0,08</b> 0,0043

Ryšiai tarp požymių Ventos bandomuosiuose želdiniuose patvirtino anksčiau aprašytus dėsnin-gumus tiek pagal populiacijos vidurkius, tiek ir pagal individualius medžius (5 lentelė). Storesni medžiai turėjo storesnes ir daugiau šakų, o jų prisegimo kampas buvo smailesnis. Bukas šakų kampas teigiamai siejosi su stiebo tiesumu, plo-nesnėmis šakomis.

Medžių požymių regionų ir populiacijų vidur-kių palyginimas atskleidė kai kuriuos dėsnin-gumus (2 pav.). Ukrainos, Pietryčių Rusijos ir To-limųjų Rytų populiacijos pasižymėjo reikšmingai didesniu nei vietinė Lietuvos populiacija medžių skersmeniu, prastesniu medžių išlikimu ir že-mesne stiebo kokybe (2 pav., regionų vidurkių standartinės paklaidos nepersidengia). Reikia pa-brėžti, kad kontinentiniam klimatui atstovaujan-

čios Tolimųjų Rytų pušies populiacijos, perkeltos per kelis tūkstančius kilometrų vakarų link, iš-silaikė geriau nei Šiaurės Ukrainos populiacijos, kurioms perkėlimo atstumas buvo mažesnis, o kryptis nusidriekė šiaurės link (2 pav.). Tačiau Tolimųjų Rytų populiacijos nusileido šiaurinėms populiacijoms pagal stiebo kokybę (2 ir 3 pav.), tai rodo jų mažesnę nei šiaurinių populiacijų tin-kamumą Lietuvos sąlygoms.

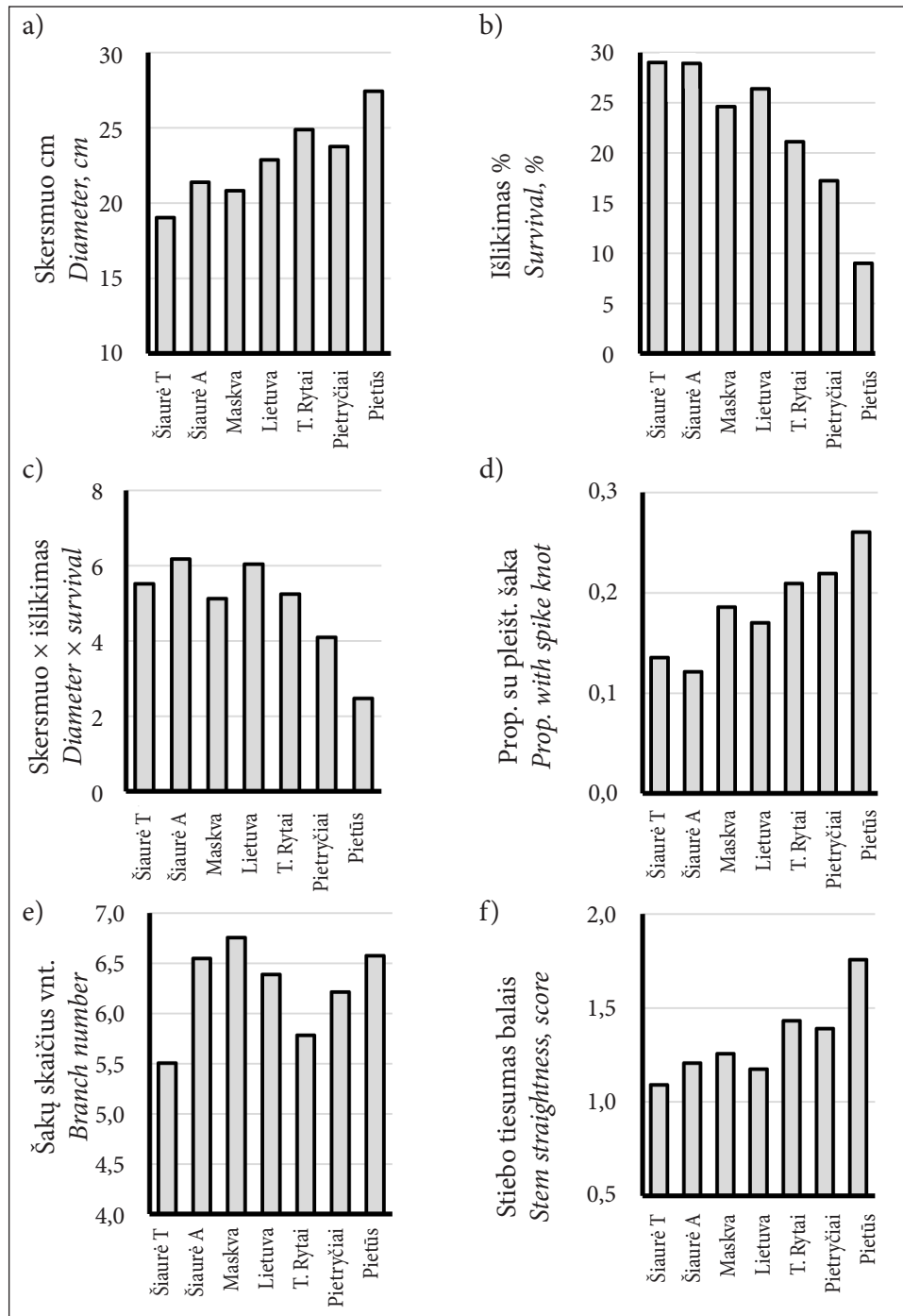
Pagal išlikimą, kuris atspindi bendrą populiaci-jų medžių prisitaikymą Lietuvos sąlygomis, mūsų tirtas populiacijas galima skirstyti į tris stambias grupes: aukščiausio išlikimo vietinės ir šiaurinės populiacijos, mažiausio išlikimo Ukrainos popu-liacijos ir vidutinio išlikimo rytinės populiaci-jos (2 ir 4 pav.). Priešingai nei pietinės ir ryti-nės kilmės, populiacijos iš šiaurinių ir Centrinės

5 lentelė. Pirsono koreliacijos koeficientai tarp paprastosios pušies požymių Ventos bandomuosiuose žel-diniuose: populiacijų vidurkių (viršuje nuo diagonalės) ir individualaus medžio (apačioje nuo diagonalės). Koreliacijos koeficiento statistinis reikšmingumas ir imties dydis pateikti po kiekvienu koeficientu

Table 5. Pearson product-moment correlation coefficients among the traits scored in the Venta field test on an individual tree ( $n = 1393$ , below the diagonal) and population mean levels ( $n = 19$ , above the diagonal). The signifi-cance is given below each coefficient

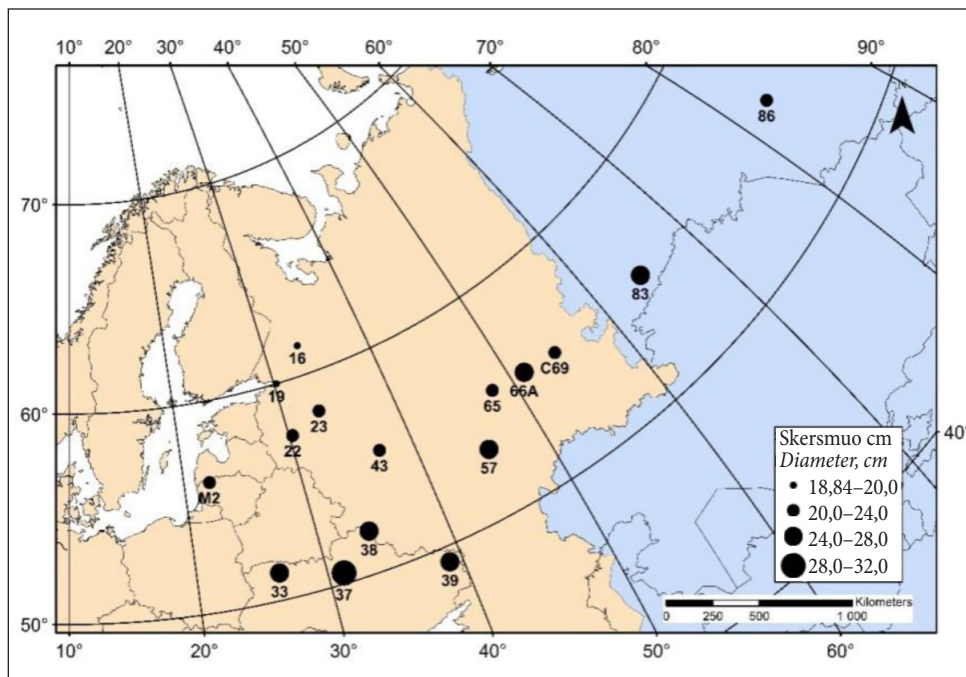
Požymis Trait	Skersmuo Diameter	Stiebo tiesumas Stem straightness	Pleištinė šaka Spike knot	Šakų skaičius Branch number	Šakų kampas Branch angle	Šakų storis Branch thickness
	<b>1</b>	<b>0,79</b>	<b>0,68</b>	<b>0,60</b>	<b>0,18</b>	<b>0,86</b>
Skersmuo Diameter	0	0,0001	0,0012	0,0071	0,4615	0,0001
		19	19	19	19	19
	<b>0,45</b>	<b>1</b>	<b>0,75</b>	<b>0,54</b>	<b>0,04</b>	<b>0,75</b>
Stiebo tiesumas Stem straightness	0,0001	0	0,0002	0,017	0,8791	0,0002
		1393	19	19	19	19
	–	–	<b>1</b>	<b>0,59</b>	<b>0,27</b>	<b>0,73</b>
Pleištinė šaka Spike knot	–	–	0	0,0075	0,2724	0,0004
	–	–		19	19	19
	<b>0,30</b>	<b>0,32</b>	<b>0,23</b>	<b>1</b>	<b>0,33</b>	<b>0,40</b>
Šakų skaičius Branch number	0,0001	0,0001	0,0001	0	0,1709	0,089
		1393	1393		19	19
	<b>0,21</b>	<b>0,14</b>	<b>0,15</b>	<b>0,25</b>	<b>1</b>	<b>-0,05</b>
Šakų kampas Branch angle	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0	0,8518
		1393	1393	1393		19
	0,62	0,47	0,27	0,27	0,18	1
Šakų storis Branch thickness	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0
		1393	1393	1393	1393	





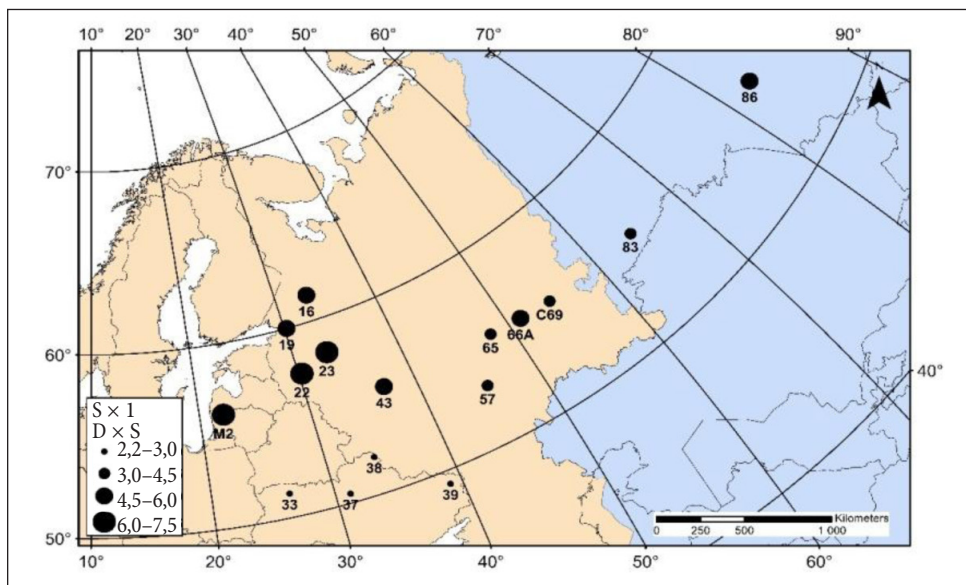
**2 pav.** Populiacijų regionų vidurkiai ir jų standartinės paklaidos požymiai, įvertinti 45 metų amžiaus Ventos tolimų paprastosios pušies populiacijų bandomuosiuose želdiniuose. Regionų sutrumpinimai: Šiaurė T – šiaurė tolimesnė, Šiaurė A – šiaurė artimesnė, T. Rytai – Tolimieji Rytai. Šakų kampas įvertintas trimis balais, kur 1 – status. Šakų skaičius 2 m aukštyje esančiame menturyje. Stiebo tiesumas trimis balais, kur 3 – kreivas. a) grafike skaičiai stulpelių viršuje rodo regiono populiacijų bendrą išmatuotų medžių skaičių, kuris yra vienodas visiems požymiams

**Fig. 2.** Population means and standard errors of the traits scored in the Venta field test at age 45. Upper plots: diameter (left), survival % (middle), survival × diameter index (right). Lower plots: proportion of trees with spike knots (left), branch number on whorl at 1.3 m height (middle), stem straightness in 3 scores (right, where 3 is curvy)



**3 pav.** Vidutinio populiacijų medžių skersmens, išmatuoto Ventos bandomuosiuose želdiniuose (45 metų amžius), geografinis pasiskirstymas. Apskritimai žymi populiacijų kilmės vietas, jų dydis – medžių skersmens klases (cm). Ventos bandomieji želdiniai pažymėti M2 žyma (kaip ir populiacija M2)

**Fig. 3.** Geographical distribution of the population mean tree diameter measured in the Venta field trial at age 45. The population location is marked by cycles that are scaled according to diameter values. Location of the Venta test site is marked by M2 (the same location as population M2)



**4 pav.** Populiacijų skersmens  $\times$  išlikimo indekso (vidutinio populiacijų medžių skersmens sandauga su išlikusių populiacijos medžių proporcija, kintančia nu 0 iki 1) geografinis pasiskirstymas. Apskritimai žymi populiacijų kilmės vietas, jų dydis – skersmens  $\times$  išlikimo indekso vertes

**Fig. 4.** Geographical distribution of the population means for the index of “tree diameter  $\times$  survival” measured in the Venta field trial at age 45

Rusijos (Maskvos) regionų turėjo reikšmingai mažesnę medžių skersmenį, tačiau panašų išlikimą ir reikšmingai aukštesnę stiebo kokybę nei vietinė ir pietinės populiacijos (2 ir 4 pav.).

Ventos bandomuosiuose želdiniuose išmatuotų populiacijų požymių principinių komponentių analizė (PKA) parodė, kad multivariacinė duomenų matrica gali būti aprašyta dviejų principinių komponentių (PK), kurios kartu sudaro 81 % bendro kintamumo (6 lentelė). Trečioji ir ketvirtoji PK atitinkamai sudarė 8 ir 5 % kintamumo, todėl gali būti ignoruotos. Pirmąją PK sudaro bendrai tarpusavyje teigiamai susijusių skersmens, stiebo kokybės ir neigiamai susijusio išlikimo kintamieji, sudarantys pagrindinę variacijos komponentę (65 %) (7 lentelė). Ši pirmoji variacijos komponentė didžia dalimi atspindi populiacijų fotoperiodo atsaką, perkėlus jas į šiaurės–pietu gradientą (žr. tolimesnę diskusiją). PK2 variacija

yra nesusijusi su PK1 atspindimais dėsningumais ir yra sudaryta iš šakų kampo variacijos, kuri silpniau veikiama fotoperiodinio perkėlimo efekto ir stipriau atspindi kontinentinių populiacijų augimo ypatumus santykinai jūrinio klimato sąlygomis bei individualių populiacijų ar genotipų variaciją populiacijų viduje. Šioje PK2 komponentėje, priešingai nei PK1, šakų kampas yra teigiamai susijęs su skersmeniu ir šakų storium (kuo smalesnis kampas, tuo plonesni ir tiesesni stiebai). Ši teiginį patvirtina populiacijų išsidėstymo PK ašyse dėsningumai: PK2 ašyje iš bendro PK2 kintamumo išsiskiria dvi kontinentinės populiacijos (5 pav.). Pagal PK1 fotoperiodinį perkėlimo efektą atspindinčius požymius, populiacijos skirstosi į grupes: Ukrainos ir Pietryčių Rusijos populiacijos (žemas išlikimas, bloga stiebo kokybė ir aukštas produktyvumas) ir šiaurinių populiacijų grupė (kaip aptarta anksčiau).

6 lentelė. Principinių komponentių analizės rezultatai Ventos bandomuosiuose želdiniuose. Pirmų septynių principinių komponentių (PK) reikšmingumas bendrai požymių variacijai

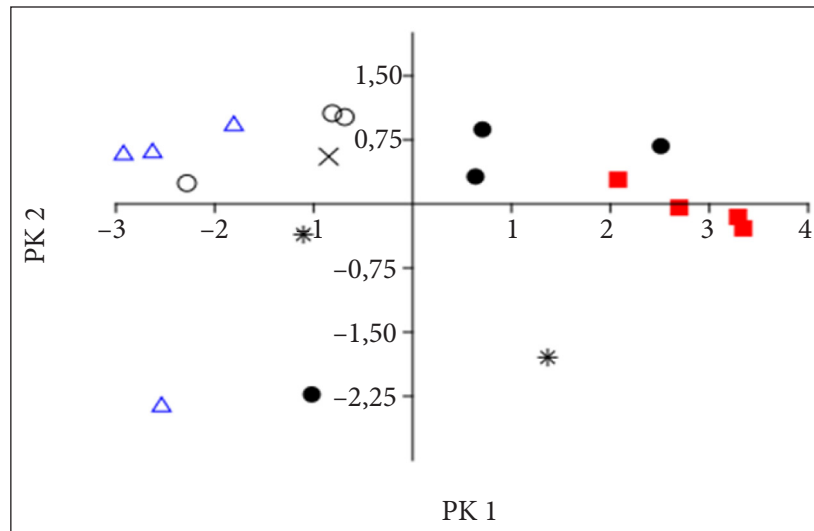
Table 6. Results of the principal component analysis on the traits scored in the Venta field trial. The scores of the first seven principle components (PC) and the percentage of the variance explained are given

PK / PC	Reikšmingumo koeficientas / PC score	Variacijos % / variance
1	4,54	65
2	1,15	16
3	0,57	8
4	0,35	5
5	0,24	3
6	0,12	2
7	0,04	1

7 lentelė. Pirmas tris principines komponentes (PK) sudarančių kintamųjų svoriniai koeficientai (vyrauja nuo 0 iki 1). Principinės komponentės paaiškina bendros variacijos dalis procentais (pateikta skliausteliuose ties PK numeriais)

Table 7. The standardised scores of the traits making up the first three principal components (PK) from the analysis in the Venta field test. The % of variation explained by the PKs is given in the table heading

Kintamasis / Variable	PK1 (65 %)	PK2 (16 %)	PK3 (8 %)
Skersmuo / Diameter	0,44	-0,07	-0,16
Stiebo tiesumas / Stem straightness	0,42	-0,15	0,16
Pleištinė šaka / Spike knot	0,40	0,12	0,13
Šakų skaičius / Branch number	0,32	0,38	0,74
Šakų kampas / Branch angle	0,11	0,85	-0,45
Šakų storis / Branch thickness	0,41	-0,30	-0,16
Išlikimas / Survival	-0,42	0,12	0,40



**5 pav.** Populiacijų pasiskirstymas dviejų pirmųjų principinių komponentų (PK) ašyse. Vietinė populiacija pažymėta × ženklu, pietinės – kvadratais, tolma šiaurė – trikampaiais, Tolimieji Rytai – žvaigždutėmis ir pietryčiai – juodais apskritimais, artima šiaurė ir Maskva – baltais apskritimais  
**Fig. 5.** Groups of populations emerging in the plot of population means scores of the first two principal components from the PCA in the Venta field trial. The local population is marked by “x”, far north by triangle, far east by asterisk, south east by filled cycles, near north and Moscow by open cycles

Sutinkamai su ankstesniais paprastosios pušies populiacijų perkėlimo tyrimais, Pietinių Ukrainos ir Pietrytinių Rusijos populiacijų spartesnį augimą galima paaiškinti dviem pagrindiniais veiksniais: (a) perkėlimo efektu ir (b) galimai spartesniu medžių augimu vasaros metu (A. Persson, B. Persson, 1992). Perkėlimo efektas pasireiškia trimis pagrindiniais veiksniais: (i) atsaku į pakitusį fotoperiodą, kuris daro reikšmingą įtaką medžių sezoninio augimo pabaigos laikui ir stipriau veikia populiacijas, perkeltas šiaurės–pietų gradientu; (ii) atsaku į pakitusią temperatūrą, ypač šaltojo sezono metu, kuris turi įtakos medžių sezoninio augimo pradžios laikui, jų užsigrūdinimui, taip pat lemia tiek platumos, tiek ilgumos populiacijų perkėlimo kryptis; (iii) temperatūros svyravimui, ypač šaltojo sezono metu, kurie stipriau veikia iš kontinentinio į santykinai jūrinį klimatą perkeltų pušies populiacijų ramybės būseną šaltuoju sezonu (Dormling, 1979, 1993). Antrojo kriterijaus – greito augimo – atveju, pietinės kilmės paprastosios pušys dėl stipresnio fotosintetinio aparato pasižymi didesne vegetatyvinio augimo energija per augimo sezoną, kas yra prisitaikymo prie santykinai stipresnės konkurencijos su supančia augmenija rezultatas.

Panagrinėkime šių veiksnių poveikius atskirai. Fotoperiodo poveikis. Perkėlus pušies populiacijas iš pietų į šiaurę, keičiasi jų atsakas į fotoperiodą: pietinės kilmės medžiams reikia ilgesnės kritinės nakties periodo sezoninio augimo pabaigai indukuoti, todėl jos baigia sezoninį augimą santykinai vėliau nei vietinės (Dormling, 1979, 1993). Dėl santykinai ilgesnės kritinės nakties poreikio augimo terminams šiauriau perkelti pietinės kilmės medžiai baigia savo sezoninį augimą vėliau, taip priaugina daugiau medienos ir tampa produktyvesni nei vietinės populiacijos medžiai (Danusevičius, 2001; A. Persson, B. Persson, 1992). Svarbu pažymėti, kad toks fotoperiodo pokytis pasireiškia tik perkeliant populiacijas pietų–šiaurės, bet ne rytų–vakarų gradientu. Todėl medžių skersmens fotoperiodo atsakas į perkėlimą stipriau pasireiškė Ukrainos populiacijos medžiams, kurie mūsų tyrime buvo perkelti tiesiogiai į šiaurę, nei pietryčių Rusijos populiacijoms, kurios buvo perkeltos šiaurės vakarų link (3 pav.). Ukrainos populiacijų medžiai buvo didesnio skersmens nei Rytų Rusijos ar vietinių populiacijų medžiai (2 pav.). Šiaurinėms populiacijoms fotoperiodo perkėlimo efektas buvo priešingas: santykinai ankstyva

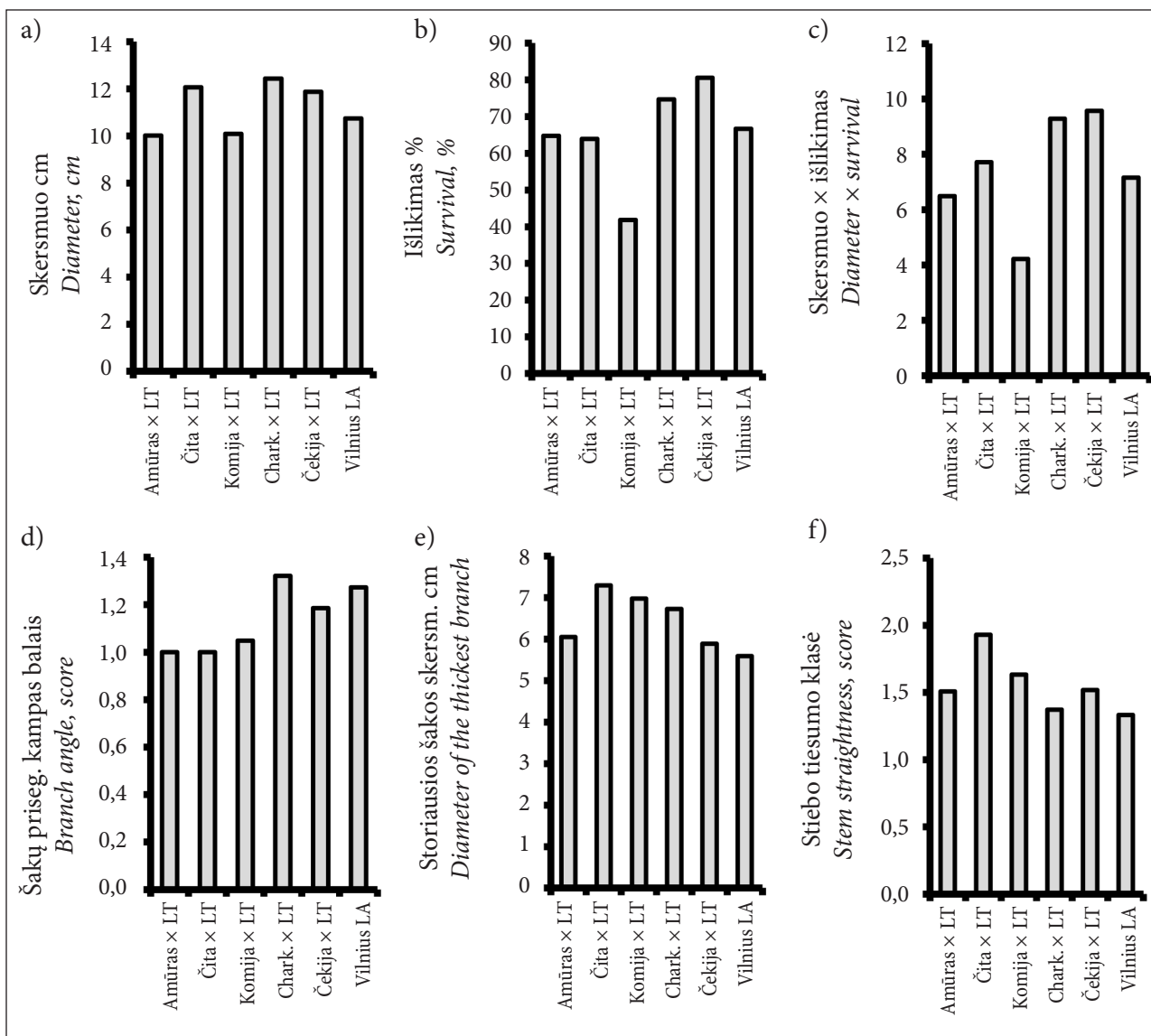
sezoninio augimo pabaiga (dėl trumpesnio kritinės nakties poreikio sezoninio augimo terminacijai), todėl dėl trumpesnio vegetacijos periodo gautas mažesnis medžių skersmuo nei vietinių ir pietinių populiacijų (2 pav.).

Produktyvumas yra ne vienintelis medžių požymis, susijęs su augimo pabaigos laiku. Kitas svarbus veiksnys – ar laiku įgyjamas tinkamas užsigrūdinimas žemoms temperatūroms šaltojo sezono metu. Aišku, kad jei aktyvusis augimas baigiamas per vėlai, pietinių populiacijų medeliai nespėja laiku užsigrūdinti ir yra stipriau pažeidžiami rudeninių šalnų ar žiemos šalčių, palyginti su vietiniais ar šiaurinės kilmės pušies medeliais. Tyrime gautą žemą pietinių populiacijų išlikimą ir stiebo kokybę galėjo lemti dvi pagrindinės priežastys: (a) kaip parodė kolegų ir mūsų tyrimo rezultatai, vėlyva sezoninė augimo pabaiga yra susijusi su žemesne stiebo kokybe ir mažesniu išlikimu (2 pav.), kadangi nespėjama tinkamai užsigrūdinti (Hannersz, 1998; Danusevicius, 2008); (b) prastas pietinių populiacijų medžių ūglių užsigrūdimas ir negebėjimas žiemomis ištvirti žemų neigiamų temperatūrų (A. Persson, B. Persson, 1992; Danusevicius, Persson, 1998). Kadangi Ukrainos populiacijų išlikimas buvo ypač žemas, galima teigti, kad jų palikuonys turėjo abi anksčiau paminėtas adaptacines problemas. Rytinės kontinentinės populiacijos, kurių kilmės vietose žiemos yra šaltos, turėtų pasiekti tinkamą užsigrūdinimo lygį, kad ištvirtų šaltas Lietuvos žiemos. Todėl pietrytinių kontinentinių populiacijų išlikimas buvo didesnis nei Ukrainos (4 pav.). Rytinėms kontinentinėms populiacijoms žiemomis galimi kiti stresoriai (Bužinskas, Danusevičius, 2016). Būtent ramybės būsenos problemos, nulemtos temperatūros svyravimų žiemą, kai pušies medeliams sutrinka apikalinis dominavimas ar indukuojama negili ramybė būseną, turi įtakos prastam jų užsigrūdinimui (Heninen, 1990; Bužinskas, Danusevičius, 2016). Anksčiau paminėti su ramybės būsenos trikdytu sietini stresoriai taip pat gali sukelti šalčio pažeidimus ar apikalinio dominavimo sutrikimus, dėl kurių formuojasi pleištinės šakos, kreivi stiebai ir prastėja išlikimas (Beuker et al., 1998).

Ką šiuo klausimu yra ištyrę Šiaurės šalys? Švedijos pušies selekcininkai nustatė, kad pu-

šies populiacijų perkėlimas iš pietų į šiaurę duoda neigiamą efektą (Ståhl, 1998; Persson, Ståhl, 1990). Švedijoje žiemą šalčiau stipriau nei Lietuvoje veikia pušies medelius. Neigiamas žiemos šalčio kaip adaptacinio veiksnio poveikis pušies medeliams – medžiai su pleištinėmis šakomis (smailiu kampu prisegtomis šakomis, kurios yra buvę viršūnės). Kita vertus, Švedijos bandomųjų želdinių tyrimai parodė, kad paprastosios pušies populiacijos, perkeltos netolimaus atstumais iš šiaurės į pietus (panašiai kaip mūsų tyrime), buvo mažiau produktyvios, bet pasižymėjo puikia stiebo kokybe – neturėjo pleištinųjų šakų defektų, tiesiais stiebais ir plonomis šakomis (Hannerz, 1998). Švedijos mokslininkai, kuriems jų šiaurinėse teritorijose labai svarbu, kaip išvengti šalčio pažeidimų, netgi svarbiau nei pušies medienos tūris, rekomenduoja naudoti arba vietinės kilmės populiacijas, arba populiacijas, atkeltas per 2–3 šiaurės platumos laipsnius į pietus. Panašios yra ir Suomijos pušies selekcininkų išvados (Beuker et al., 1998). Lietuvos sąlygomis šias nuostatas reikėtų adaptuoti pagal tyrimų rezultatus, gautus atliekant tyrimus vietinio klimato sąlygomis, kur žiemos darosi vis švelnesnės. Tam ir skirtas mūsų tyrimas.

Populiacijų hibridų požymių palyginimas Kazlų Rūdos bandomuosiuose želdiniuose, kur išmatuotas palyginti didelis, po 54–111 medžių iš kiekvienos hibridų šeimos, medžių skaičius parodė, kad pietinės kilmės motinmedžių palikuonys buvo reikšmingai didesnio medžių skersmens nei vietinių, šiaurinės ir Tolimųjų Rytų kilmės motinmedžių palikuonys, išskyrus Tolimųjų Rytų Čitos kilmės palikuonis, jų skersmuo buvo panašus į vietinės kilmės medžių (6 pav.). Skersmuo tarp tolimos kilmės šeimų skyrėsi statistiškai reikšmingai, nors tikėjomės didesnių skirtumų. Priešingai nei tiesiogiai perkeltų populiacijų Kazlų Rūdos bandomuosiuose želdiniuose, šeimų hibridų išlikimo skirtumai buvo reikšmingesni: pagal išlikimo reikšmes pietinės Charkovo ir Čekijos populiacijos buvo pranašesnės nei vietinės ir šiaurinės kilmės motinmedžių palikuonys (6 pav.). Pietinių motinmedžių palikuonys turėjo aukščiausias adaptyvumą atspindinčio indekso skersmens  $\times$  išlikimo indekso reikšmes (6 pav.).



**6 pav.** Kazlų Rūdos bandomuosiuose želdiniuose augančių tarpopuliacinių hibridų šeimų produktyvumo ir kokybės požymių vidutinės reikšmės ir vidurkių standartinės paklaidos (25 metų amžius). X ašyje pateikta hibridų šeimų motininio medžio kilmės vieta: c) skersmens ir išlikimo indeksas, gautas skersmenį cm padauginus iš šeimos išlikusių medžių proporcijos (nuo 0 iki 1); d) šakų prisegimo kampas, balais, 1 – bukas, 2 – smailas; f) stiebo tiesumas keturiais balais, kur 4 – labai kreivas

**Fig. 6.** Means and standard errors of the interpopulation hybrid families for the traits scored in the Kazlų Rūda field test at age 25. Upper plots: diameter (left plot), survival % (middle), survival × diameter index (right). Lower plots: branching angle in 2 scores, where 2 is sharp (left), diameter if the thickest branch number on whorl at 1.3 m height (middle), stem straightness in 4 scores (right, where 4 is curvy)

## IŠVADOS

Apibendrinami tiesioginę paprastosios pušies populiacijų introdukciją pagal kompleksą svarbiausių požymių (produktyvumą (stiebo skersmuo), prisitaikymą (išlikimas ir stiebo kokybė)), ištirtų bandomuosiuose želdiniuose, darome šias išvadas:

1. Pietinių populiacijų tiesioginė introdukcija duotų neigiamą efektą dėl santykinai didesnio

mirtingumo, stiebo ir medienos kokybės defektų. Periodiškai žiemomis pasitaikantys šalčiai yra rimta ir reikšminga grėsmė jų prisitaikymui bei ekonomiškai vertingų požymių kokybei.

2. Tolimos šiaurinės kilmės paprastosios pušies medžiai daug mažesnio produktyvumo nei vietinių populiacijų. Todėl jų introdukcija nerekomenduotina, ateities klimato kaitos prognozės taip pat nėra palankios šiaurinės kilmės medžiams.

3. Netolimų šiaurinių populiacijų (Pskovo, Novgorodo regionai) perkėlimas Lietuvos sąlygomis duotų teigiamą efektą stiebo kokybei, tačiau šiek tiek sumažintų medžių produktyvumą. Kol nėra problemų su vietinių populiacijų adaptacija, o rinka nereikalauja aukštos stiebo kokybės, jų tiesioginė introdukcija taip pat nerekomenduotina. Atsiradus aukštos stiebo kokybės poreikiui, verta sudaryti jų introdukcijos per kryžminimus / hibridizaciją selekcinis planus.

4. Dėl su adaptacija prie besikeičiančio klimato sąlygų susijusiomis problemomis sudarant ateities introdukcijos prioritetus pirmiausia reikėtų atkreipti dėmesį į pietrytines kontinentines populiacijas, kurios savo kilmės vietoje puikiai prisitaiko tiek prie šalčių, tiek vasaromis prie vandens trūkumo.

5. Populiacijų hibridizacijos tyrimai rodo, kad kol kas pietinių genetinė integracija į vietines populiacijas yra naudingesnė (saugesnė) per hibridizaciją su vietiniais genotipais.

Gauta 2018 01 07  
Priimta 2018 03 26

## LITERATŪRA

- Allen C. D. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*. Vol. 259(4). P. 660–684.
- Aučina A., Danusevičius J., Danusevičius D., Riepišas E., Skridaila A., Balčiūnienė L., Žilinskaitė S., Meidus E., Meiduvienė A., Rylėškis D., Štukėnienė G., Dapkūnienė S. 2005. Response of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings to different climatic conditions and their adaptation peculiarities. *Biologija*. Vol. 2. P. 40–46.
- Barzdajn W., Kowalkowski W., Chmura D. J. 2016. Variation in growth and survival among European provenances of *Pinus sylvestris* in a 30-year-old experiment. *Dendrobiology*. Vol. 75. P. 67–77.
- Beuker E., Valtonen E., Repo T. 1998. Seasonal variation in the frost hardiness of Scots pine and Norway spruce in old provenance experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*. Vol. 107(1–3). P. 87–98.
- Buchovska J., Danusevičius D. 2012. Paprastosios pušies populiacijų genetinės struktūros tyrimų apžvalga. *Miškininkystė*. Nr. 2(72). P. 69–80.
- Buchovska J., Danusevičius D., Nowakowska J., Bužinskas L. 2012. Lietuvos ir rytinio arealo dalies paprastosios pušies populiacijų chloroplasto DNR polimorfizmo palyginimas. *Miškininkystė*. Nr. 1(71). P. 12–22.
- Bužinskas L., Danusevičius D. 2016. Šilumos poveikis paprastosios pušies sėjinukų ramybės būsenai ir būklei žiemos metu. *Miškininkystė*. Nr. 2(80). P. 32–45.
- Danusevičius D., Garbrilavičius R. 2001. Variation in juvenile growth rhythm among *Picea abies* provenances from the Baltic states and adjacent regions. *Scandinavian Journal of Forest Research*. Vol. 16(4). P. 305–317.
- Danusevičius D., Persson B. 1998. Phenology of natural Swedish population of *Picea abies* as compared with introduced seed sources. *Forest Genetics*. Vol. 5. P. 211–220.
- Danusevičius J. 2000. *Pušies selekcija: kilmių atranka, introdukcija, hibridizacija, selekcinė sėklininkystė*: mokslinė monografija. Kaunas. 352 p.
- Danusevičius, D. 2008. Hybrid vigour from intra-specific crosses of Scots pine. *Baltic Forestry*. Vol. 14(1). P. 2–6.
- Danusevičius D., Garbrilavičius R. 2001. Variation in juvenile growth rhythm among *Picea abies* provenances from the Baltic states and adjacent regions. *Scandinavian Journal of Forest Research*. Vol. 16(4). P. 305–317.
- Danusevičius D., Persson B. 1998. Phenology of natural Swedish populations of *Picea abies* as compared with introduced seed sources. *Forest Genetics*. Vol. 5. P. 211–220.
- Dietrichson J. 1969. The geographic variation in spring-frost resistance and growth cessation in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Meddr. Norske Skogfors Ves*. Vol. 27. P. 91–104.
- Dietrichson J. 1971. A summary of studies on genetic variation in forest trees grown in Scandinavia with special reference to the adaptation problem. *Meddr. Norske Skogfors Ves*. Vol. 29. P. 25–56.
- Dormling I. 1979. Influence of light intensity and temperature on photoperiodic response of Norway spruce provenances. In: *Proceedings of the IUFRO Meeting of WP Norway Spruce Provenances (S 2.03.11) and Norway Spruce Breeding (S 2.02.11)*. Bucharest, Romania. P. 398–407.
- Dormling I. 1993. Bud dormancy, frost hardiness and frost drought in seedlings of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. In: *Advances in Cold Hardiness*. Eds. P. H. Li, L. Christersson. CRC Press. P. 285–298.
- Ericsson T. 1993. Survival of *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* in northern Sweden. *Proceedings of the IUFRO WP 2.02.06 Symposium*. P. 326–333.
- Eriksson G. 1982. Ecological genetics of conifers in Sweden. *Silva Fennica*. Vol. 16. P. 149–156.
- Eriksson G. 1991. Challenges for forest genetics. *Silva Fennica*. Vol. 25(4). P. 257–266.
- Eriksson G., Andersson S., Eiche V., Ifver J., Persson A. 1980. Severity index and transfer effects on survival and volume production of *Pinus sylvestris* in northern Sweden. *Studia Forestalia Suecica*. Vol. 156. P. 1–32.

22. Gabrilavičius R., Danusevičius D. 2006. Genotipų atrankos ir genetinių išteklių išsaugojimo ypatumai eglės sėklinėse plantacijose. *Vagos*. Nr. 70(23). P. 7–12.
23. Hannerz M. 1993. *Norway Spruce Provenances in Central Sweden: Height Growth and Damage in a 12-year-old Provenance Trial in Southern Gästrikland*. Report 1. The Forestry Research Institute of Sweden. 23 p.
24. Hannerz M. 1998. *Genetic and Seasonal Variation in Hardiness and Growth Rhythm in Boreal and Temperate Conifers – A Review and Annotated Bibliography*. Report 2. The Forestry Research Institute of Sweden. 140 p.
25. Hannerz M. 1999. *Early Testing of Growth Rhythm in Picea abies for Prediction of Frost Damage and Growth in the Field*. Dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences.
26. Heuertz M., Teufel J., Gonzalez-Martinez S. C., Soto A., Fady B., Alia R., Vendramin G. G. 2010. Geography determines genetic relationships between species of mountain pine (*Pinus mugo* complex) in western Europe. *Journal of Biogeography*. Vol. 37. P. 541–556.
27. Kavaliauskas D., Danusevičius D., Baliuckas V., Baranov O. 2015. Paprastosios pušies populiacijų genetinė struktūra Lietuvoje pagal chloroplasto DNR žymenis. *Miškininkystė*. Nr. 1(77). P. 45–55.
28. Kemple W. G., Sadler P. M., Strauss D. J. 1989. A prototype constrained optimization solution to the time correlation problem. In: *Statistical Applications in the Earth Sciences. Geological Survey of Canada*. Eds. F. P. Agterberg, G. F. Bonham-Carter. Vol. 89–9. P. 417–425.
29. Kerpauskaitė V., Danusevičius D. 2016. Pušies medynų erdvinė genetinė struktūra. *Miškininkystė*. Nr. 1(79). P. 33–39.
30. Krutzsch P. 1974. The IUFRO 1964/68 provenance test with Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Silvae Genetica*. Vol. 23. P. 58–62.
31. Lundkvist K. 1982. Genetic structure in natural and cultivated forest tree populations. *Silva Fennica*. Vol. 16(2). P. 141–146.
32. Persson A., Persson B. 1992. *Survival, Growth and Quality of Norway Spruce (Picea abies (L.) Karst.) Provenances at the Three Swedish Sites of the IUFRO 1964/68 Provenance Experiment*. Report 29. Swedish University of Agricultural Sciences. 67 p.
33. Persson B., Ståhl E. G. 1990. Survival and yield of *Pinus sylvestris* L. as related to provenance transfer and spacing at high altitudes in northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*. Vol. 5(1–4). P. 381–395.
34. Raškauskaitė M., Danusevičius D. 2015. Geografinės kilmės ir sėklos masės įtaka paprastosios pušies (*Pinus sylvestris* L.) palikuonių produktyvumui ir stiebo kokybei. *Miškininkystė*. Nr. 1(77). P. 33–44.
35. Shutyaev A. M., Giertych M. 1997. Height growth variation in a comprehensive Eurasian provenance experiment of (*Pinus sylvestris* L.). *Silvae Genetica*. Vol. 46. P. 138–151.
36. Ståhl E. G. 1998. Changes in wood and stem properties of *Pinus sylvestris* caused by provenance transfer. *Silva Fennica*. Vol. 32(2). P. 163–172.
37. Stephan B. R., Liesebach M. Results of the IUFRO 1982 Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenance experiment in Southwestern Germany. *Silvae Genetica*. Vol. 45(5–6). P. 342–354.
38. Taeger S., Zang C., Liesebach M., Schneck V., Menzel A. Impact of climate and drought events on the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances. 2013. *Forest Ecology and Management*. Vol. 307. P. 30–42.

**Linas Bužinskas, Darius Danusevičius**

#### **THE TRANSFER EFFECT OF SOUTHERN POPULATIONS OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) ON CLIMATIC CONDITIONS OF LITHUANIA**

##### *Summary*

The objective of our study was to assess the quantitative and qualitative traits of southern Scots pine populations and compare these traits with the local populations tested in two field tests in Kazlų Rūda (central Lithuania) and in Venta (north-eastern Lithuania). In total, we measured ca. 3 000 trees in these two tests: (a) direct population transfer (Kazlų Rūda, tree age 45) and (b) test of interpopulation hybrids (Kazlų Rūda, age 25). The results showed that the direct introduction of southern populations of Scots pine into Lithuania would give a negative effect (low survival, inferior stem quality). Apparently, the effect of relatively warmer winters is not strong enough to give an adaptive advantage for the southern over local populations. The cold spells in winter could still be a limiting factor and serious threat to sound development of the southern origins of Scots pine transferred to Lithuania. Transfer of populations from near north (Pskov, Novgorod regions) would give a positive effect on stem straightness, but would slightly reduce wood yield. Therefore, in the absence of a serious threat for adaptedness or no demand for supreme quality timber, we would not recommend the direct introduction of these northerly populations as well. However, the hybridisation field test revealed a superior survival, stem quality and wood yield of hybrids obtained by mating southern mother-trees with the local male parents. Therefore, at present, the introduction of southern genes via admixing southern genotypes in local breeding populations is a better approach than the direct introduction.

**Keywords:** Scots pine, climatic change, adaptedness, population transfer, population hybrids