

## MEDŽIO SKERSMENS MATAVIMO METODŲ PALYGINAMOJI ANALIZĖ

**Martynas BLAŽYS**, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Miškų ir ekologijos fakultetas, el. paštas: [martynas.blazys@vdu.lt](mailto:martynas.blazys@vdu.lt)

### Santrauka

Tikslus medžių skersmens matavimas yra labai svarbus miškininkystėje, atliekant įvairius miškų darbus, vykdamas įvairias miškų inventorizacijas, nustatant medžių tūrį bei prieaugį. Matuojant medžius skirtingais matavimo metodais yra gaunami skirtingi matavimo rezultatai, kuriems įtakos gali turėti medžių rūšis, matavimo metodika, matavimo kryptis ir naudojamų matavimų prietaisai, dėl to šios analizės tikslas – palyginti ir išanalizuoti skirtingų skersmens matavimų metodų tikslumą, poslinkį, taiklumą ir ar jie statistiškai skiriasi vienas nuo kito. Šiai analizei atlikti buvo pamatuota po 400 pušies, eglės, buko ir drebulės medžių keturiais skersmens matavimo metodais tai: rulete, žerglėmis, liniuote ir vizualiniu būdu. Matavimas žerglėmis atliktas dvejomis kryptimis ir iš jų išvedant vidurkį. Visų matavimų poslinkio, tikslumo ir taiklumo procentas buvo paskaičiuotas, lyginant juos su ruletės matavimais. Gauti analizės rezultatai parodė, kad tarp skirtingų matavimų metodų nėra statistiškai reikšmingo skirtumo visose pasirinktose matuotose medžių rūšyse, o skirtingų skersmens matavimo metodų poslinkių, tikslumo ir taiklumo analizė parodė, kad žerглиų matavimai visose medžių rūšyse turėjo didžiausius matavimo poslinkius, bet ir didžiausius matavimų tikslumus ir taiklumus, kur liniuotės ir vizualinio matavimo metodai turėjo mažiausius matavimo poslinkius, bet ir mažiausius matavimų tikslumus ir taiklumus, tačiau liniuotės skersmens matavimo tikslumas ir taiklumas buvo labiau artimas žerglės matavimų taiklumui ir tikslumui.

**Reikšminiai žodžiai:** skersmens matavimai, taiklumas, poslinkis, tikslumas, ruletė, žerglės, liniuotė, vizualinis matavimas.

### Įvadas

Tikslus medžių skersmens matavimas yra labai svarbus miškininkystėje atliekant įvairius miškų darbus, vykdamas įvairias miškų inventorizacijas, nustatant medžių tūrį bei prieaugį. Miškų matavimo praktikoje yra naudojami įvairūs skersmens matavimo būdai bei metodai, kurių rezultatai dažnai priklauso nuo užsibrėžtų darbo sąnaudų, matavimo metodikos ir pasirinktų skersmens matavimo prietaisų, dėl to pasirinkus vieną ar kitą matavimo metodą surinkti matavimų rezultatai gali skirtis. Kitas faktorius, darantis įtaką medžių skersmens matavimo rezultatams, yra medžių rūšis, dėl skirtingų medžių rūšies žievės ir augimo ypatumų gali atsirasti skirtumai matuojant tais pačiais skersmens matavimo metodais, dėl to šioje analizėje buvo įtrauktos 4 medžių rūšys: pušis (*pinus silvestris*), eglė (*picea abies*), drebulė (*populus tremula*) ir bukas (*fagus sylvatica*). Visi matavimai buvo pamatuoti tokia pačia aukštyje ir tokia pačia kryptimi, naudojant skritulinių barelių metodiką. Šia analize siekiama parodyti ir palyginti matavimų skirtumus tarp ruletės, žerglės, liniuotės ir vizualinio skersmenų matavimo metodų, atsižvelgiant į skirtingas medžių rūšis. Taip tikintis sudaryti nuomonę pasirenkant vieną ar kitą skersmens matavimo metodą.

**Tyrimo tikslas** – išanalizuoti ir palyginti medžių skersmenį matuojant skirtingais matavimo metodais.

Išsikeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Išanalizuoti, ar yra statistiškai reikšmingai skirtumai tarp skirtingų matavimo metodų naudojant ANOVA analizę.
2. Išanalizuoti skirtingų skersmens matavimo metodų poslinkį, tikslumą ir taiklumą kiekvienai matuotai medžių rūšiai.

### Tyrimų objektas ir metodai

Darbo objektas yra brandūs, kirtimo amžiaus sulaukę pušies (*pinus silvestris*) eglės (*picea abies*), drebulės (*populus tremula*) ir buko (*fagus sylvatica*) medynai. Medynai buvo atrinkti naudojantis valstybinio miškų kadastro duomenimis iš filtruojant brandžius kertamo amžiaus medynus Anykščių ir Jurbarko regioniniuose padaliniuose, Kavarsko ir Kalvelių girininkijose. Iš viso atrinkta 13 sklypų, 2 buko ir drebulės, 6 eglės ir 3 pušies. Pušies amžius siekė 100 m., eglės nuo 80 iki 100 m., drebulės nuo 60 iki 80 m., buko – 100 m. Iš viso išmatuota 1600 medžių, po 400 kiekvienos pasirinktos medžių rūšies.

Kiekviename iš atrinktų sklypų išdėstyti apskritimo formos bareliai, kurių skersmuo siekė 20 m. Bareliai buvo išdėstyti traktais, kurie buvo išdėstyti šiaurės, rytų, pietų ir vakarų kryptimis, nuo vieno barelio centro iki kito yra nutolę po 50 m. Pirmą barelį atsitiktinai, bet ne arčiau kaip 10 metrų nuo sklypo ribos ir 100 metrų nuo vieno kito. Traktų ir barelių atstumas ir jų išdėstymas buvo matuojamas GPS prietaisu (4–5 m tikslumu) ir kompasu, remiantis valstybinių miškų kadastro duomenimis. Iš viso buvo išmatuoti 33 bareliai, iš jų – 9 pušies, 9 – eglės, 8 – drebulės ir 7 – buko.

Kiekvieno barelio centre buvo įsmeigiamas ryškus kuoliukas, nuo kurio su rulete buvo matuojamas atstumas iki barelio krašto, ir žiūrint, ar ribinių medžio skersmens centras patenka į barelį. Buvo matuojami visi sveiki pasirinktos rūšies medžiai 1,3 m aukštyje nuo šaknies kaklelio. Matavimas prasidėdavo nuo šiaurės krypties barelio centro atžvilgiu, sukantis laikrodžio rodyklės kryptimi, matuojant visus medžius atsisukus į barelio centrą. Priėjus prie medžio visų pirma buvo pažymimas 1,3 m aukštis nuo medžio šaknies kaklelio. Matavimas vykdavo pirma nustatant kamieno skersmenį iš akies (vizualiniu būdu) 1 cm tikslumu, po to – priglaidus liniuote barelio centro kryptimi ir nustatant skersmenį vieną liniuotės kraštą ties nulių sulyginus su kamieno kraštu ir barelio centru ir kitą kamieno pusės kraštą sulyginus su barelio centru, kamieno kraštu ir liniuotės matmenimis, 0,1 cm tikslumu. Tada „Haglof“ žerglėmis buvo matuojama 2 kartus,

bareljo centro kryptimi ir statmenai barelio centrui ir galiausiai buvo pamatuojamas skersmens perimetras rulete „Bandmab“, 0,1 cm tikslumu. Ruletės matavimai buvo naudojami kaip kontrolė ir nuo jų buvo atskaičiuojamos kitų matavimų paklaidos, matavimų poslinkis, tikslumas ir taiklumas. Visi skaičiavimai buvo atlikti naudojantis „MS Excel“ programa.

## Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Vienas iš būdų nustatyti skirtingų duomenų sąsają tarp vienas kito yra ANOVA analizė skaičiavimas, kuris parodo, ar tarp duomenų yra statistiškai reikšmingas skirtumas. Ši analizė dažnai naudojama, norint išsiaiškinti, ar tarp skirtingų matavimų prietaisų ar metodų yra reikšmingas skirtumas, todėl daugelis mokslininkų šią analizę pateikia savo tyrimuose, norint įrodyti surinktų duomenų skirtumus. Šioje palyginamoje analizėje buvo tirama, ar yra bendras statistikai reikšmingas skirtumas tarp trijų žerglės matavimo metodų, matavimo juostos (ruletės), liniuotės ir vizualinio skersmens matavimo duomenų skirtingose medžių rūšyse. Kadangi skersmens matavimas yra svarbi miško ūkio dalis, yra atlikta daug tyrimų, kuriuose tiriamas skersmens matavimo tikslumas, efektyvumas ir skirtumai tarp jų. Vienas iš atliktų tyrimų parodė, kad statistiškai reikšmingo skirtumo nėra tarp trijų skirtingų žerglės matavimų metodų ir diametro juostos skersmens matavimų, o reikšmingas skirtumas atsiranda tik tarp matuojamų skirtingų medžių rūšių ir skirtingų skersmens klasių (Moran, Williams, 2002). Kitame tyrime tyrti tiesioginiai ir netiesioginiai (nuotolinių) skersmens matavimų skirtumai, kuris parodė kad tarp tiesioginių žerglės matavimų ir nuotolinių matavimų naudojant mobiliojo telefono aplikaciją nėra statistiškai reikšmingo skirtumo (Ucar, Değermenci, Zengin, Bettinger, 2022). Mobiliosios aplikacijos naudojimą iš dalies galima prilyginti vizualiniam skersmens matavimu. Matant šiuos skirtingų autorių skirtingų skersmens matavimų metodų skirtumų palyginimus, galima daryti prielaidą, kad skirtingi skersmens matavimo metodai dažniausiai neturi statistiškai reikšmingo skirtumo.

ANOVA analizė parodė, kad buko skirtingų skersmens matavimų metodų p reikšmė siekia 0,891 ir yra didesnė už 0,05. Tai reiškia, kad tarp skirtingų matavimų metodų nėra statistiškai reikšmingo skirtumo. Buko tarp skirtingų matavimo metodų standartinis nuokrypis siekia 0,337. Pušies skirtingų skersmens matavimų metodų ANOVA analizė parodė, kad p reikšmė siekia 0,699 ir yra didesnė už 0,05. Tai reiškia, kad tarp skirtingų matavimų metodų nėra statistiškai reikšmingo skirtumo. Pušies skirtingų matavimo metodų standartinis nuokrypis siekia 0,601. Drebulės skirtingų skersmens matavimų metodų ANOVA analizė parodė, kad p reikšmė siekia 0,736 ir yra didesnė už 0,05. Tai reiškia, kad tarp skirtingų matavimų metodų nėra statistiškai reikšmingo skirtumo. Drebulės skirtingų matavimo metodų standartinis nuokrypis siekia 0,552. ANOVA analizė parodė, kad eglės skirtingų skersmens matavimų metodų p reikšmė siekia 0,666 ir yra didesnė už 0,05. Tai reiškia, kad tarp skirtingų matavimų metodų nėra statistiškai reikšmingo skirtumo. Eglės skirtingų matavimo metodų standartinis nuokrypis siekia 0,644 (žr. 1 lentelę).

**1 lentelė.** Skirtingų skersmens matavimų metodų ANOVA analizės gautos p reikšmės ir standartinis nuokrypis, kiekvienai matuotai medžių rūšiai.

**Table 1.** ANOVA analysis of different diameter measurement methods obtained p-values and standard deviation for each measured tree species.

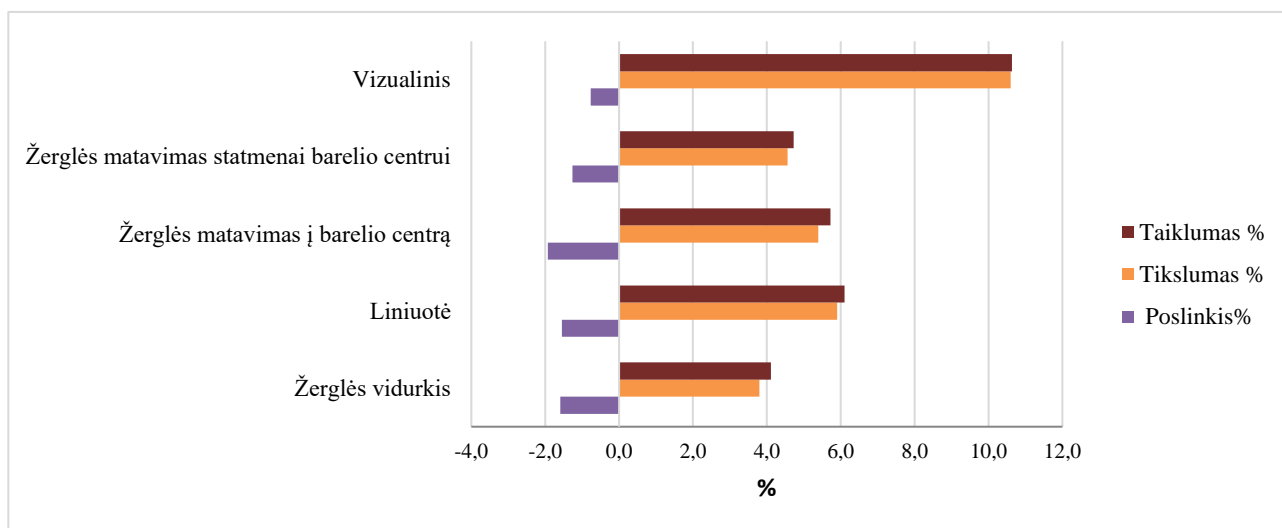
Medžių rūšis	p - reikšmė ( p - value)	Standartinis nuokrypis
Bukas ( <i>fagus sylvatica</i> )	0,891	0,337
Pušis ( <i>pinus silvestris</i> )	0,699	0,602
Drebulė ( <i>populus tremula</i> )	0,736	0,553
Eglė ( <i>picea abies</i> )	0,666	0,644

Taiklumas formaliai apibrėžiamas kaip „skirtumas tarp matavimo ar įvertinimo apie ką nors ir jo tikrosios vertės“. Poslinkis apibrėžiamas kaip „skirtumas tarp pakartotinių matavimų arba kažko įvertinimų rinkinio vidurkio ir tikrosios vertės“. Tikslumas apibrėžiamas kaip „pakartotinių matavimų ar įverčių rinkinio kitimas iš kažko“ (West, Philip, 2009).

Iš buko skersmens matavimų metodų didžiausias didžiausių matavimų poslinkį turi matavimas žerglėmis į barelio centrą 1,9 %, po to eina žerglės vidurkis, kurio duomenų poslinkis siekia 1,6 %. 0,1 % mažesnį poslinkį turi matavimas liniuote ir 0,3 % mažesnį poslinkį turi matavimas žerglėmis statmenai barelio centrui ir mažiausių matavimų poslinkį turi matavimas vizualiniu būdu 0,8 %.

Didžiausią tikslumą turi žerglės vidurkis, kuris netikslus – tik 3,8 %, po jo eina matavimas žerglėmis į barelio centrą, kuris netikslus 5,9 %, toliau eina matavimas į barelio centrą žerglėmis, kuris netikslus 5,4 %, kiek mažesnį tikslumą turi skersmens matavimas liniuote, kuris netikslus 5,9 %, mažiausių matavimų tikslumą turi vizualinis matavimo metodas, kuris netikslus 10,6 %.

Mažiausių matavimų taiklumą turi matavimas vizualiniu skersmens matavimo metodu, kuris netaiklus 10,6 %, po to kiek didesnį taiklumą turi matavimas liniuote, kuris netaiklus 6,1 %. Didžiausi taiklumai yra matuojant žerglėmis, iš jų mažiausias taiklumas matuojant žerglėmis į barelio centrą, kuris netaiklus 5,7 %, po jo kiek didesnį taiklumą turi matavimas žerglėmis statmenai barelio centrui, kuris netaiklus 4,7 %. Didžiausias matavimų taiklumas yra matuojant žerglėmis abiem kryptimis ir paskaičiavus matavimų vidurkį, kuris netikslus tik 4,1 % (žr. 1 pav.).



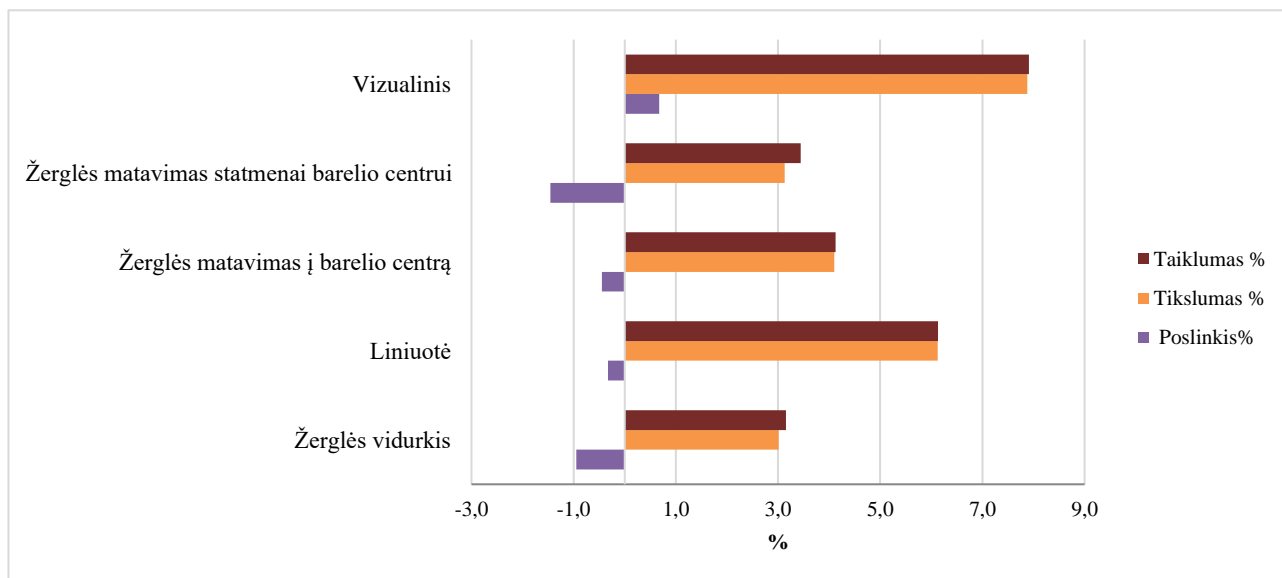
**1 pav.** Buko (*fagus sylvatica*) skirtingų skersmens matavimų metodų poslinkis, tikslumas ir taiklumas.

**Fig. 1.** Bias, accuracy and precision of different diameter measurement methods for European beech (*fagus sylvatica*).

Matuojant pušį didžiausią matuotų duomenų poslinkį turi žerglės matavimas statmenai barelio centrui 1,5 %, po to eina žerglės vidurkis, kurio poslinkis siekia 0,9 %. Mažiausią matavimų poslinkį turi matavimas liniuote, kurio poslinkis siekia 0,3 %, 0,1 % didesnį poslinkį turi matavimas žerglėmis į barelio centrą ir po jo eina matavimas vizualiniu būdu, kurio matavimo poslinkis siekia 0,7 %.

Didžiausias duomenų tikslumas yra matuojant žerglėmis, iš šių matavimų didžiausią taiklumą turi žerglės vidurkis, kuris netikslius tik 3 %, po jo kiek mažesnę tikslumą turi žerglės matavimas statmenai barelio centro, kuris netikslius 3,4 %, ir mažiausią tikslumą iš žerglės matavimų turi matavimas žerglėmis į barelio centrą, kuris netikslius 4,1 %. Mažiausius tikslumus turi vizualinio ir liniuotės matavimų metodai, iš kurių liniuotės matavimas netikslius 6,1 %, o vizualinis matavimas 7,9 %.

Didžiausią matavimų taiklumą turi žerglės matavimai, iš jų didžiausią matavimų taiklumą turi žerglės vidurkis, kuris netaiklus tik 3,2 %, po jo kiek mažesnę taiklumą turi žerglės matavimas statmenai barelio centro, kuris netaiklus 3,4 %, ir mažiausią taiklumą iš žerglės matavimų turi matavimas žerglėmis į barelio centrą, kuris netaiklus 4,1 %. Mažiausius matavimų taiklumus turi vizualinio ir liniuotės matavimų metodai, iš kurių liniuotės matavimas netaiklus 6,1 %, o vizualinis matavimas 7,9 % (žr. 2 pav.).



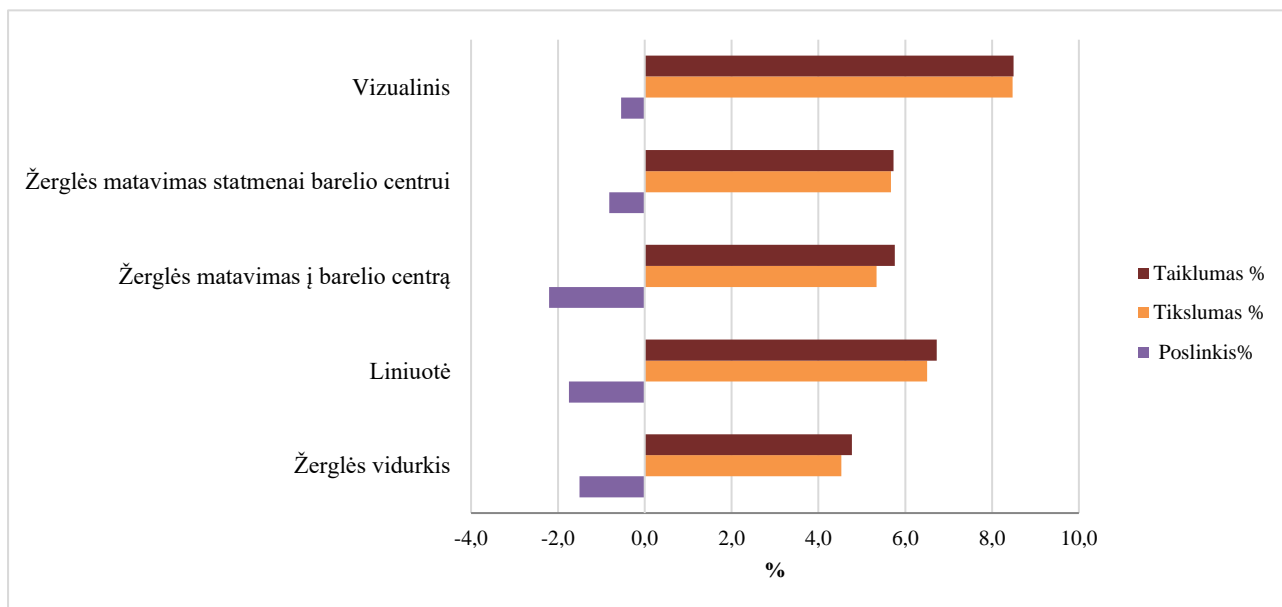
**2 pav.** Pušies (*pinus silvestris*) skirtingų skersmens matavimų metodų poslinkis, tikslumas ir taiklumas.

**Fig. 2.** Bias, accuracy and precision of different diameter measurement methods for Scots pine (*pinus silvestris*).

Matuojant drebulę didžiausią matuotų duomenų poslinkį turi žerglės matavimai į barelio centrą, kurių poslinkis siekia 2,2 %, po jo eina matavimas liniuote, kurios matavimo duomenų poslinkis siekia 1,7 %, kiek mažesnę poslinkį turi žerglės vidurkis, kurio poslinkis siekia 1,5 %. Mažiausią poslinkį iš žerglės matavimų turi žerglės matavimas statmenai barelio centrui, kurio matavimo duomenų poslinkis siekia 0,8 %. Mažiausią matavimų poslinkį turi matavimas vizualiniu būdu, kurio duomenų poslinkis siekia 0,5 %.

Didžiausias duomenų tikslumas yra matuojant žerglėmis, iš šių matavimų didžiausią tikslumą turi žerglės vidurkis, kuris netikslus tik 4,5 %, po jo kiek mažesnę tikslumą turi žerglės matavimas į barelio centrą, kuris netikslus 5,3 %, ir mažiausią tikslumą iš žerglės matavimų turi matavimas žerglėmis statmenai barelio centro, kuris netikslus 5,7 %. Mažiausius tikslumus turi vizualinio ir liniuotės matavimų metodai, iš kurių liniuotės matavimas netikslus 6,5 %, o vizualinis matavimas 8,5 %.

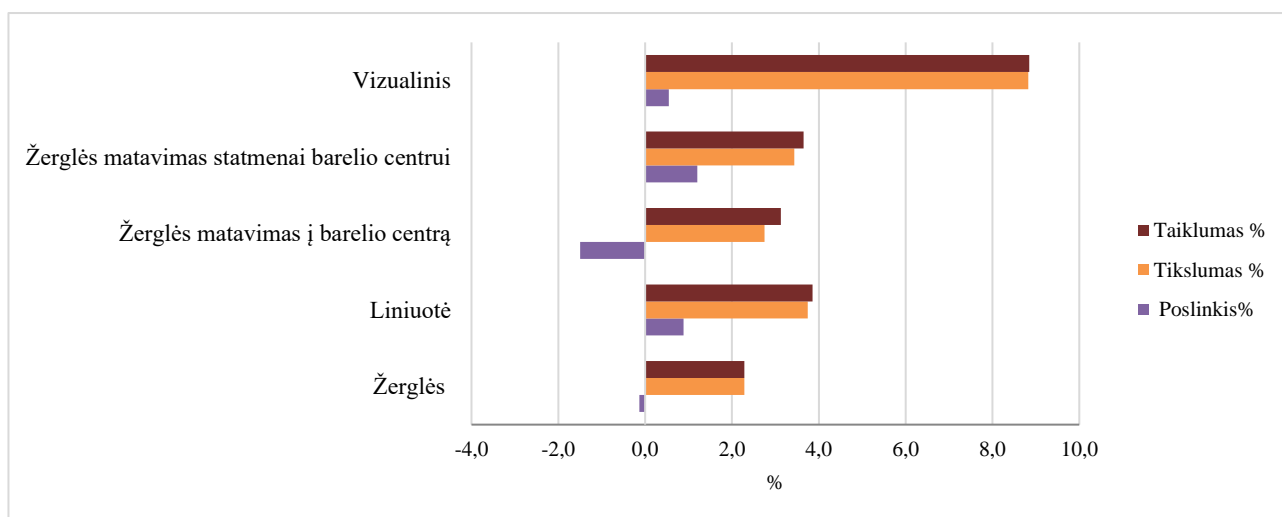
Didžiuosią matavimų taiklumą matuojant drebulę turi žerglės matavimai, iš jų didžiausią matavimų taiklumą turi žerglės vidurkis, kuris netaiklus tik 4,8 %, po jo kiek mažesnę taiklumą turi žerglės matavimas statmenai barelio centro, kuris netaiklus 5,7 % ir mažiausią taiklumą iš žerglės matavimų turi matavimas žerglėmis į barelio centrą, kuris netaiklus 5,8 %. Mažiausius matavimų taiklumus turi vizualinio ir liniuotės matavimų metodai, iš kurių liniuotės matavimas netaiklus 6,7 %, o vizualinis matavimas 8,5 % (žr. 3 pav.).



**3 pav.** Drebulės (*Populus tremula*) skirtingų skersmens matavimų metodų poslinkis, tikslumas ir taiklumas.

**Fig. 3.** Bias, accuracy and precision of different diameter measurement methods for Eurasian aspen (*Populus tremula*).

Matuojant eglę didžiausią matuotų duomenų poslinkį turi žerglės matavimai į barelio centrą kurių poslinkis siekia 1,5 %, po jo eina matavimas žerglėmis statmenai barelio centrui, kurios matavimo duomenų poslinkis siekia 1,2 %, kiek mažesnę poslinkį turi liniuotės ir vizualiniai matavimo metodai, kurie siekia 0,9 ir 0,5 %. Mažiausią matavimų poslinkį turi žerglės vidurkis, kuris siekia 0,1 %.



**4 pav.** Eglės (*Picea abies*) skirtingų skersmens matavimų metodų poslinkis, tikslumas ir taiklumas.

**Fig. 4.** Bias, accuracy and precision of different diameter measurement methods for European spruce (*Picea abies*).

Didžiausias duomenų tikslumas yra matuojant žerglėmis, iš šių matavimų didžiausią tikslumą turi žerglės vidurkis, kuris netikslus tik 2,3 %, po jo kiek mažesnę tikslumą turi žerglės matavimas į barelio centrą, kuris netikslus 2,8 %, ir mažiausią tikslumą iš žerglės matavimų turi matavimas žerglėmis statmenai barelio centro, kuris netikslus 3,4 %. Mažiausius tikslumus turi vizualinio ir liniuotės matavimų metodai, iš kurių liniuotės matavimas netikslus 3,7 %, o vizualinis matavimas 8,8 %. Didžiuosią matavimų taiklumą matuojant eglę turi žerglės matavimai, iš jų didžiausią

matavimų taiklumą turi žerglės vidurkis, kuris netaiklus tik 2,3 %, po jo kiek mažesnę taiklumą turi žerglės matavimas į barelio centrą, kuris netaiklus 3,1 %, ir mažiausią taiklumą iš žerglės matavimų turi matavimas žerglėmis statmenai barelio centrą, kuris netaiklus 3,6 %. Mažiausius matavimų taiklumus turi vizualinio ir liniuotės matavimų metodai, iš kurių liniuotės matavimas netaiklus 3,9 %, o vizualinis matavimas 8,8 % (žr. 4 pav.).

Stovinčio medžių skersmens matavimų tikslumas yra vienas iš pagrindinių faktorių, į kurią atsižvelgia miško matuotojai, todėl yra atlikta nemažai studijų, siekiant išsiaiškinti skirtingų skersmens matavimo metodų ir naudojamų instrumentų tikslumą. Viename iš atliktų skersmens matavimų metodų palyginimų buvo apskaičiuota, kad tarp matavimo žerglės, diametro juostos skersmens ir skersmens matavimo liniuotės (*Biltmore stick*) surinkti duomenys skyrėsi 4–8 % (Wilson, Murray, Ryding, Mont, 2007), kur šioje analizėje tų pačių instrumentų skersmens tikslumas ir taiklumas taip pat tesiskiria 2–4 %. Kitame tyrime buvo apskaičiuojamas naujo modelio žerglių ir diametro juostos tikslumas, kur žerglės skersmens matavimų vidutinis tikslumas siekė nuo 0,35 iki 1,15 %, o diametro juostos tikslumas siekė nuo 3,63 iki 5,84 %, matuojant skirtingas medžių rūšis (Kondor, 1964). Šioje analizėje matuojant žerglėmis tikslumas siekė nuo 2,3 iki 4,5 %, kur lyginant su Kondor atliktu tyrimu žerglės, naudojamos šioje analizėje, yra mažiau tikslios. Matavimas liniuote nėra labai paplitęs matavimo būdas ir artimiausias matavimo tyrimas buvo atliktas naudojantis specialia skersmens matavimo liniuote (*Biltmore stick*), tai parodė, kad atskiri skersmens įvertinimai pagal (*Biltmore stick*) paprastai skiriasi labiau nei žerglės, bet praktiniais tikslais tai tikriausiai nėra labai svarbu (Finlayson, Tchanou, 1975). Šioje analizėje taip pat liniuotės matavimų duomenys buvo labiau nutolę nei žerglės matavimai, bet ir labiau buvo artimi žerglės matavimui, lyginant su vizualiniu matavimo metodu. Todėl norint pamatuoti medžio skersmenį greitai ir sąlyginai tiksliai, atsižvelgiant į šioje analizėje gautus duomenis, tyrimo autorius rekomenduoja naudoti liniuotę, o jeigu medžių matavimas reikalautų didesnio tikslumo, rekomenduojama naudoti žergles ir apskaičiuoti žerglės vidurkį, tačiau toks skersmens matavimų metodas būtų mažiau efektyvus dėl užimamo laiko pamatuoti medį dvejomis kryptimis.

## Išvados

1. ANOVOS analizė parodė, kad visose matuotose medžių rūšyse statistiškai reikšmingo skirtumo tarp skirtingų skersmens matavimo metodų nėra.

2. Bendra išvada yra ta, kad žerglių matavimai visose medžių rūšyse turėjo didžiausius matavimo poslinkius, bet ir didžiausius matavimų tikslumus ir taiklumus, kur liniuotės ir vizualinio matavimo metodai turėjo mažiausius matavimo poslinkius, bet ir mažiausius matavimų tikslumus ir taiklumus, tačiau liniuotės skersmens matavimo tikslumas ir taiklumas buvo labiau artimas žerglės matavimų taiklumui ir tikslumui.

## Literatūra

1. West, P. W., West, P. W. 2009. *Tree and forest measurement*. Vol. 20. Berlin: Springer, Aharony J., Swary I. 1980.
2. Avery, T. E., Burkhart, H. E. 2015. *Forest measurements*. Waveland Press, 2015.
3. Burkhart, H. E., Avery, T. E., Bullock, B. P. 2018. *Forest measurements*. Waveland Press.
4. Moran, L. A., Williams, R. A. 2002. Field note—Comparison of three dendrometers in measuring diameter at breast height field note. *Northern Journal of Applied Forestry*, Vol. 19(1), p. 28–33.
5. Ucar, Z., Bettinger, P., Merry, K., Faw, K., Cieszewski, C. J., Weaver, S. A. 2015. Assessing the Accuracy of Tree Diameter Measurements Collected at a Distance. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, Vol. 36(1), 73-83.
6. Wilson, E. R., Murray, J., Ryding, I., Mont, E. C. 2007. Comparison of three tools for measuring tree diameter in stands of different age and stem size. *Quarterly Journal of Forestry*, Vol. 101(4), p. 267.
7. Kondor, G. 1964. New Tree Caliper: An Accurate and Fast Tree-diameter Measuring Device. *The Forestry Chronicle*, Vol. 40(3), p. 401–403.
8. Finlayson, W., Tchanou, Z. 1975. Sources of error in Biltmore stick type instruments. *The Commonwealth Forestry Review*, p. 290–295.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF TREE DIAMETER MEASUREMENT METHODS

### Summary

Accurate measurement of tree diameter is very important in forestry, when performing various forest works, carrying out various forest inventories, determining the volume and growth of trees. When measuring trees with different measurement methods, different measurement results are obtained, which can be influenced by the type of trees, measurement methodology and measurement direction, and the measurement device used, therefore the purpose of this analysis is to compare and analyze the accuracy, bias, precision of different diameter measurement methods and whether they are statistically different from each other. For this analysis, 400 pine, spruce, beech and aspen trees were measured using four diameter measuring methods: diameter tape, caliper, ruler and visual method. Measurements were made with calipers in two directions and averaged from them. The bias, precision, and accuracy percentage of all measurements were calculated by comparing them to the diameter tape measurements. The results of the analysis showed that there is no statistically significant difference between the different measurement methods in all the selected measured tree species,

and the analysis of the bias, precision and accuracy of the different diameter measurement methods showed that the measurements of the caliper had the largest measurement deviations in all tree species, but also the highest measurement accuracy and precision, where the ruler and visual measurement methods had the smallest measurement deviations but also the smallest accuracy and precision of the measurements, but the accuracy and precision of the ruler diameter measurement was closer to the accuracy and precision of the caliper measurements.

**Keywords:** Diameter measurements, accuracy, bias, precision, diameter tape, calipers, ruler, visual measurement.