

GARSINĖS TOMOGRAFIJOS TIKSLUMO TYRIMAI NUSTATANT PAPRASTOJO BUKO KAMIENO PUVINIUS

Virmantas MILIUS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Miškų ir ekologijos fakultetas, el. paštas: milius.virmantas65@gmail.com

Santrauka

Darbu siekiama iširti garsinės tomografijos tikslumą nustatant paprastojo buko (*Fagus sylvatica* L.) kamieno puvinius. Tyrimo objektas – 96 buko kamieno kamieno nuopjovos, surinktos po atvejinių kirtimų Jurbarko regioninio padalinio Kalvelių ir Jūravos girininkijose. Tyrimo metu „ImageJ“ programine įranga lyginami buko kamieno nuopjovų realūs puviniai ir garsinio tomografo „Arbotom3D“ duomenys, gauti pagal gamintojo rekomenduojamas skales.

Nustatyta, kad tinkamiausia matavimo skalė nustatyti paprastojo buko puviniams yra 500–2300 m/s. Tyrime pastebėta, kad nustatant puvinius nuopjovose iš grynų medynų, gamintojo rekomenduojamoje skalėje garsinis tomografas dirba tiksliausiai. Nustatant šerdiminius – bakterinius puvinius, galima naudoti didelį spektrą tinkamų naudoti garsinio tomografo matavimo skalių.

Reikšminiai žodžiai: garsinė tomografija, puvinys, rekomenduojama skalė, Arbotom3D.

Įvadas

Lietuvoje vis labiau pasireiškiant klimato šiltėjimui, miškininkai ieško būdų, kaip miškuose padidinti rūšinę įvairovę, atsižvelgiant į tokias šiltesnio klimato medžių rūšis kaip paprastas bukas (*Fagus sylvatica* L.). Vidurio Europoje bukas yra labiausiai paplitęs plačialapis miško medis ir dėl aukščio, fiziologinio tolerancijos ir konkurencingumo jis galėtų būti dominuojanti medžių rūšis daugelyje vietovių. Daugelį metų miškininkai pirmenybę teikė paprastosios eglės (*Picea abies* (L.) Karst.), o dabar paprastojo buko rūšis yra pakilimo laikotarpyje (Dittmar ir kt., 2003).

Tikroji pintis (*Fomes fomentarius* L.) yra vienas iš svarbiausių šiaurinio pusrutulio vidutinio klimato ir borealinių miškų grybų, sukeliančių baltąjį medienos puvinį miško medžiuose (Gáper ir kt., 2013). Šie grybai, kurie gali būti vieni pagrindinių medienos skaidytojų, kadangi jiems tinka įvairių rūšių mediena, pavyzdžiui, paprastieji buakai (*Fagus sylvatica* L.) (Cristini ir kt., 2023). Apsaugos būdų nuo medienos puvinų praktiškai nėra, todėl lieka tik kuo ankstyvesnė ligų diagnostika, kuri būtų sukelianti kuo mažesnę intervenciją į augalą bei galėtų padėti suvaldant tolimesnį puvinų plitimą.

„Arbotom 3D“ impulsinis tomografas – garsinės tomografijos prietaisas, kuriuo galima įvertinti augančių medžių bei medienos būklę. Šis prietaisas garso impulsais nustato medienos irimą, ertmės bei įtrūkimus kamienne (Stević ir kt., 2011). Garsiniai tomografs matuoja signalų sklaidimo laiką tarp aplink medžio kamieną išdėstytų jutiklių, kurie sužadinami plaktuko stuktelėjimais (Rust, 2017). Nepaisant garsinės tomografijos svarbos, nėra atlikta daug tyrimų, kurie įvertintų garsinės tomografijos prietaisais gautų duomenų kokybę.

Tyrimo tikslas – nustatyti garsinės tomografijos prietaiso tikslumą nustatant puvinius paprastojo buko kamieno nuopjovose.

Išsikeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Nustatyti buko medienos puvinio intensyvumą ir identifikuoti buko medieną pažeidžiančius puvinius.
2. Įvertinti garsinio tomografo puvinio nustatymo tikslumą naudojant rekomenduojamas (gamintojo) skales.
3. Nustatyti tiksliausią (optimalią) garsinio tomografo puvinio matavimo skalę, kuri pavaizduotų realų puvinio išplitimą medienoje.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo objektas – paprastojo buko kamieno nuopjovos su vizualiai matomais puviniais.

VĮ Valstybinių miškų urėdijos Jurbarko regioninio padalinio Kalvelių bei Jūravos girininkijų atvejinių kirtimų metu buvo surinktos paprastojo buko kamieno nuopjovos. Vėliau tyrimui buvo atrinkti 96 vienetai šių nuopjovų iš skirtingų kirtaviečių, kuriose vyravo grynai bei mišrūs pušies medynai.

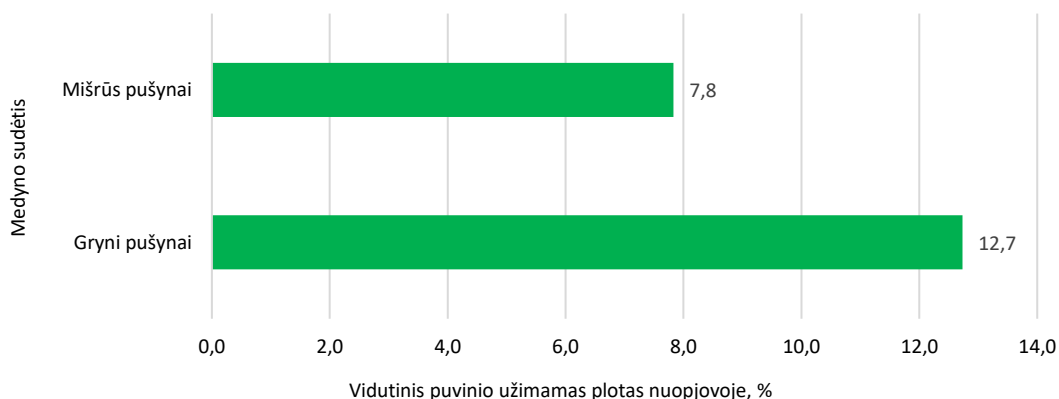
Kiekvienos atrinktos paprastojo buko nuopjovos paviršius buvo skaitmenizuojamas skeneriu ar fotoaparatu, išsaugant paveikslus bei paruošiant juos tolimesniam darbui su „ImageJ“ programine įranga, kuri skirta nuotraukų skaitmenizavimui bei jų analizei. Atlikus visų nuopjovų skaitmenizavimą, jos buvo išmatuotos ir garsinės tomografijos prietaisu „Arbotom 3D“ ant kiekvienos buko kamieno nuopjovos uždėdant 8 specialius daviklius, kuriais matuojama viena plokštuma. Siekiant, kad tyrimo rezultatai būtų kuo pastovesni ir tikslesni, į kiekvieną daviklį buvo tenkiama mažiausiai 9–10 kartų iš 1 cm atstumo. 8 davikliai buvo pasirinkti, taip pat buvo pasirinkti dėl tikslumo, taip pat šis skaičius yra optimalus matuojant vieną plokštumą. Ši matavimo procedūra buvo kartojama su kiekviena nuopjova, pirminiams duomenims gauti naudojant gamintojo rekomenduojama skalę, vėliau analizuojant realias puvinio išplitimo buko nuopjovose nuotraukas su „Arbotom 3D“ išmatuotais ir programine įranga pavaizduotais grafikais, pasirinktos matavimo skalės, kurias naudojant garsinio tomografo atvaizdų tikslumas būtų didžiausias realiam puvinio išplitimui buko nuopjovų skerspjūviuose. Kiekviena buko nuopjova buvo matuota (įskaitant gamintojo rekomenduojamą) tokiomis skalėmis: naudojant skirtingas garsinės tomografijos prietaiso matavimo skales (rekomenduojama skalė, 250–2300 m/s,

500–2300 m/s, 750–2300 m/s, 1000–2300 m/s, 1250–2300 m/s, 1500–2300 m/s, 250–3000 m/s, 500–3000 m/s, 750–3000 m/s, 1000–3000 m/s, 1250–3000 m/s, 1500–3000 m/s).

Buko nuopjovų skaitmeninės nuotraukos bei garsinio tomografo gauti duomenys perkeliama į „ImageJ“ programinę įrangą, kuria buvo išmatuojami tyrimui reikalingi rodikliai, kaip puvinio padėties koordinatės (x, y), nuopjovos plokštumos bei puvinio plotas. Pasitelkus gautus rodiklius, jie panaudoti puvinio nustatymo tikslumo apskaičiavime (laikyta, kad garsinis tomografas puvinį nustato tiksliai, kai tarp skirtumo išmatuoto realaus puvinio ploto (%) ir puvinio ploto (%) fiksuoto pagal konkrečią matavimo skalę buvo gaunama procentinė išraiška nuo -10 iki 10 %). Vėliau nustatyta, kokioje dalyje (%) medienos nuopjovų tiksliai išmatuotas puvinys, tai tyrime buvo vadinama matavimo tikslumu.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

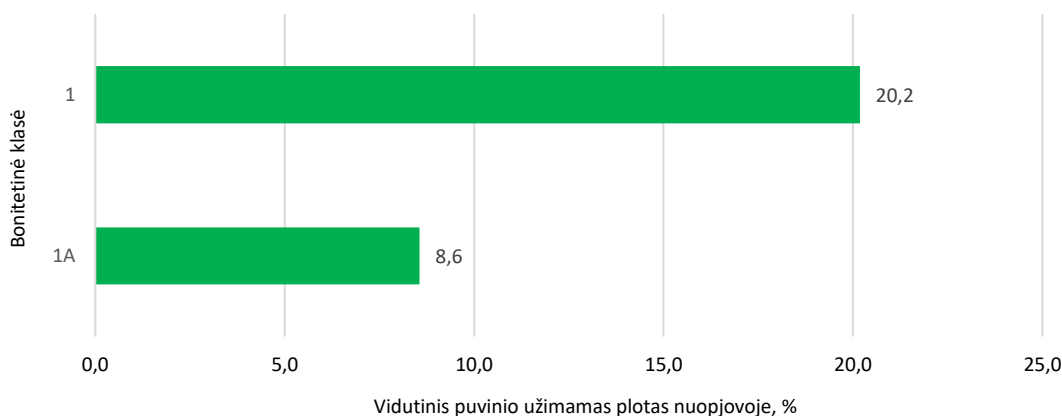
Tyrimui naudotos paprastojo buko medienos buvo surinktos iš 5 skirtingų (Jūravos ir Kalvelių girininkijų) miško sklypų, kuriuose vyravo tam tikros augimo sąlygos (skirtinga rūšinė sudėtis, skalsumas, ardiškumas bei bonitetas). Reikia paminėti, kad visuose sklypuose vyravo Nc (normalaus drėgnumo, derlinga) augavietės sąlygos bei medynų amžiaus skirtumas buvo tik 10 metų (nuo 103 iki 113 metų), todėl analizuoti, kaip skiriasi puvinio išplitimas medienoje, priklausomai nuo šių taksacinių rodiklių, nebuvo tikslinga. Analizuota priklausomybė nuo medyno sudėties, medyno skalsumo ir bonitetinės klasės.



1 pav. Vidutinis puvinio išplitimas (%) buko nuopjovoje priklausomai nuo medyno sudėties

Fig. 1. Average rot spread (%) in a beech cut depending on the stand composition

Gana svarbi detalė yra tai, kad grynų pušynų sklypuose paprastieji bukai augo tik 2 ardo sudėtyje, o mišrių pušynų sklypuose jie augo ir 1 medyno arde. Miškininkystės praktikoje vyrauja nuomonė, kad norint turėti kuo produktyvesnius bei sveikesnius miškus, reikia vengti auginti vienaaršius, vienaamžius bei vienaardžius medynus. Pagal 1 paveikslą pateiktą informaciją galima teigti, kad didesnis medyno mišrumas daro įtaką mažesniai vidutiniam puvinio išplitimui buko nuopjovose – 7,8 %, nes grynuose medynuose surinktos nuopjovose vidutinis puvinio plotas yra didesnis – 12,7 %.



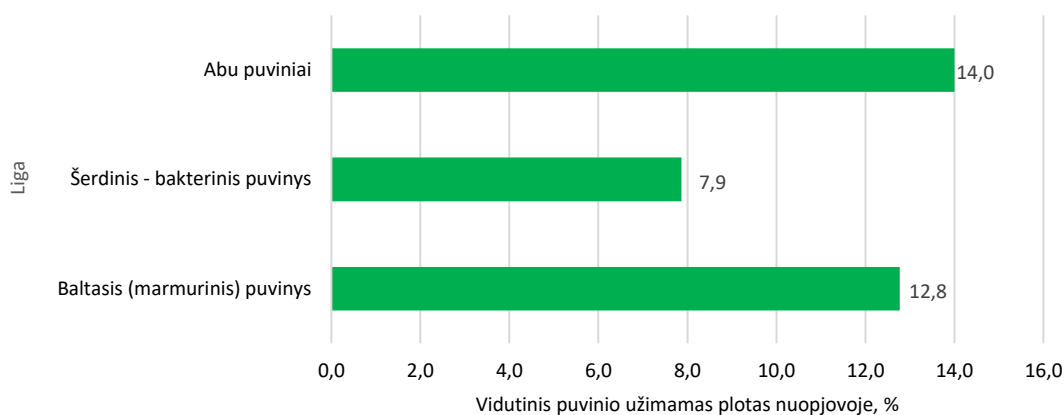
2 pav. Vidutinis puvinio išplitimas (%) buko nuopjovoje priklausomai nuo bonitetinės klasės

Fig. 2. Average rot spread (%) in a beech cut depending on the rating class.

Medynų augimo sąlygų gerumą bendrai galima apibūdinti bonitetine klase. 2 paveikslo grafike galima įsitikinti, kad esant pačioms geriausiomis augimo sąlygoms (1A bonitetui), puviniai nuopjovose vidutiniškai buvo išplitę 8,6 %. Esant šiek tiek prastesnėms augimo sąlygoms (1 bonitetui) medyne, juose buvo surinktos nuopjovos su kur kas didesniu

vidutiniu puvinio išplitimu nuopjovose – 20,2 %. Toks gana ženklus skirtumas rodo, kad augimo sąlygų gerumas gali turėti įtakos puvinio išplitimo plotui.

Plėtojant tyrimą buvo pastebėta, kad paprastojo buko nuopjovose yra išplitusios dvi medieną pūdančios ligos: baltasis (marmurinis) branduolio – balanos puvinys bei šerdinis – bakterinis puvinys. Todėl tirta ir galima puvinio išplitimo priklausomybė nuo puvinio rūšies.

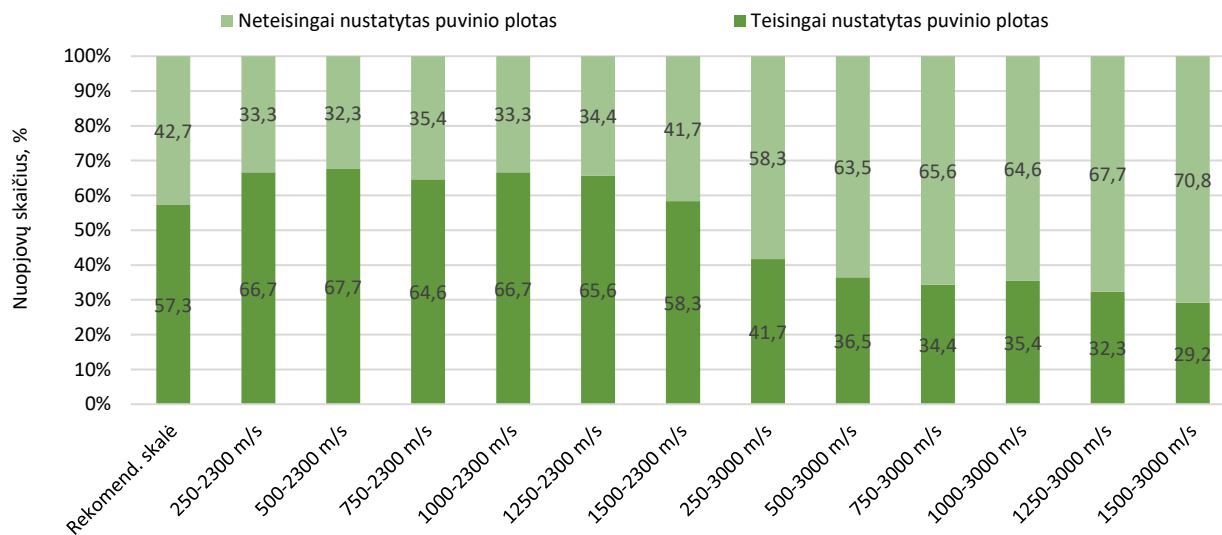


3 pav. Vidutinis puvinio išplitimas (%) buko nuopjovose, priklausomai nuo nustatytos ligos

Fig. 3. Average rot spread (%) in a beech cut depending on the identified disease.

Kaip matyti 3 paveiksle, mažiausias puvinio intensyvumas (%) garsinio tomografo fiksuotas nuopjovų, kuriose buvo nustatytas šerdinis – bakterinis puvinys (7,9 %). Daug didesnis vidutinis puvinio užimamas plotas buvo fiksuojamas tose nuopjovose, kurios buvo paveiktos baltojo (marmurinio) balanos puvinio – 12,8 %. Tuo tarpu didžiausias puvinio užimamas plotas garsinės tomografijos prietaiso buvo nustatomas buko nuopjovose su abiem minėtomis ligomis – 14 %.

Tolimesni duomenų analizės etapai buvo nukreipiami į skirtingų garsinio tomografo matavimo skalių palyginimą bei optimalios skalės paprastojo buko puvinio matavimams nustatymą. Tyrimo metu laikyta, kad garsinis tomografas puvinius nustatė tiksliai, kai tarp skirtumo, išmatuoto realaus puvinio ploto (%) ir puvinio ploto (%) fiksuoto pagal konkrečią matavimo skalę, buvo gaunama procentinė išraiška nuo -10 iki 10 %.



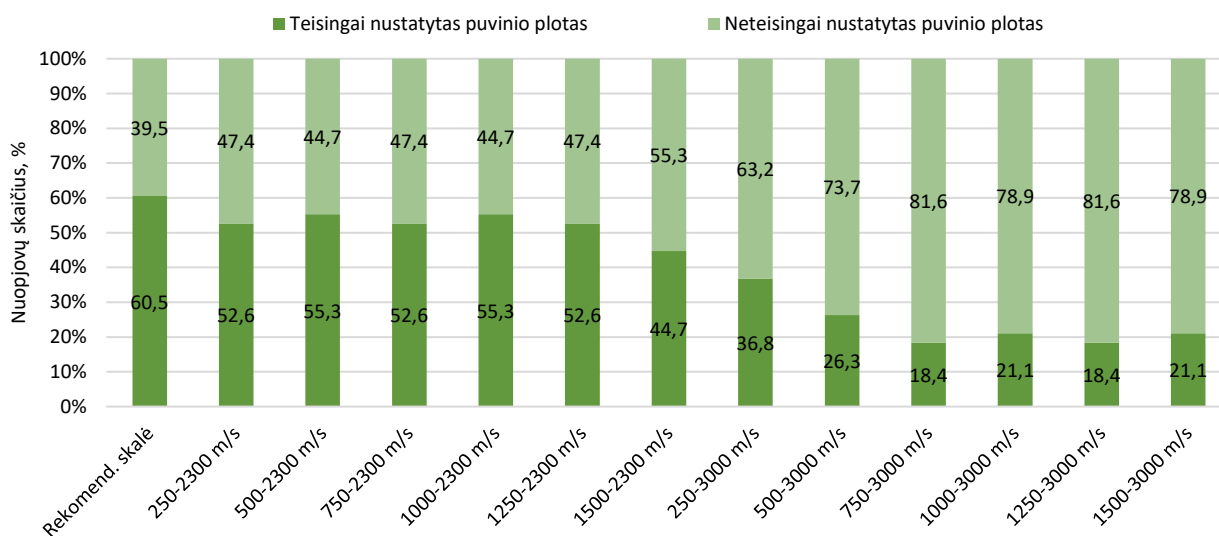
4 pav. Buko nuopjovose išplitusio puvinio ploto nustatymo tikslumas, priklausomai nuo naudojamos garsinio tomografo matavimo skalės. Leistina paklaida +-10 %

Fig. 4. Accuracy of the determination of the rot spread area in beech cuttings, depending on the used measuring scale of the sonic tomograph. Measurement tolerance + - 10%

4 paveiksle pateikiami duomenys, kaip keičiasi puvinio nustatymo tikslumas, neatsižvelgiant į paprastojo buko augimo sąlygas, priklausomai tik nuo matavimo skalės. Naudojantis šiuo grafiku, visų pirma, buvo nustatyta tiksliausia matavimo skalė, kuri toliau vadinama optimalia. Optimalia nustatyta 500–2300 m/s matavimo skalė, kadangi ji puvinius teisingai identifiko 67,7 % nuopjovų, tai yra geriausias rezultatas tarp visų išbandytų skalių. Galima matyti, kad be minėtos optimalios skalės (500–2300 m/s), garsinis tomografas dirbo gana stabiliai ir 250–2300 m/s, 750–2300 m/s, 1000–2300 m/s, 1250–2300 m/s matavimo skalėse (teisingai identifikuotų nuopjovų skaičiaus skirtumas tarp šių skalių

tik 1–2 vienetai). Gamintojo rekomenduojamoje skalėje garsinio tomografo matavimo rezultatai buvo taip pat gana geri – 57,3 % teisingai nustatytų puvinų.

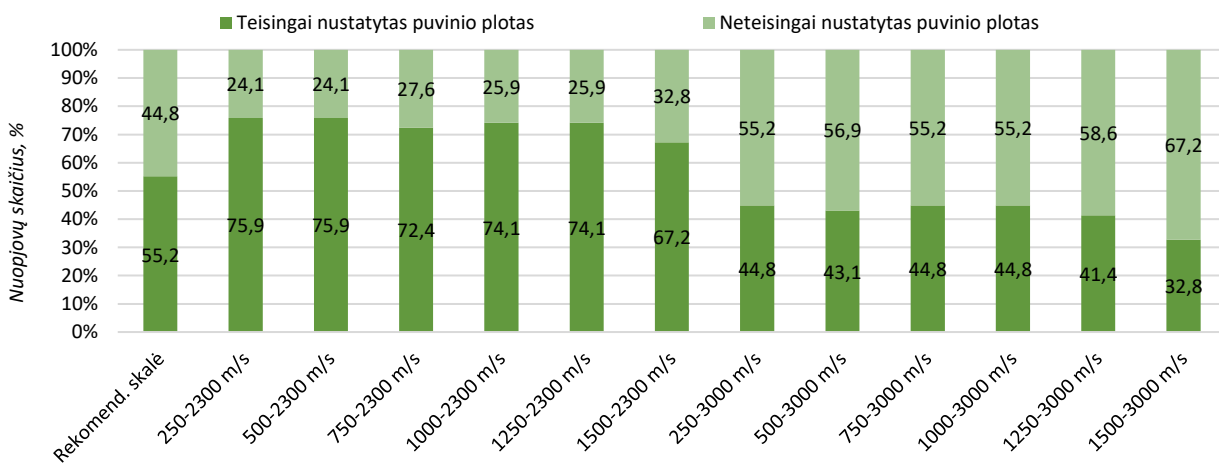
Kitoje garsinės tomografijos tikslumo tyrimų dalyje buvo analizuojama, ar „Arbotom 3D“ turi reikšmę puvinio ploto matavimo tikslumui paprastojo buko medžių augimo sąlygų skirtumai medynuose. Tirta tikslumo priklausomybė nuo medyno sudėties ir bonitetinės klasės.



5 pav. Buko nuopjovose (iš grynų medynų) išplitusio puvinio ploto nustatymo tikslumas, priklausomai nuo naudojamos garsinio tomografo matavimo skalės. Leistina paklaida $\pm 10\%$

Fig. 5. Accuracy of the determination of the rot spread area in beech cuttings (from pure forests), depending on the used measuring scale of the sonic tomograph. Measurement tolerance $\pm 10\%$

5 paveiksle galima matyti, kad garsinis tomografas daugiausia tiksliai ($\pm 10\%$ paklaidos ribose) puvinio plotą identifikavo nustatytas pagal gamintojo rekomenduojamą skalę – 60,5 % nuopjovų. Tuo tarpu optimalioje (500–2300 m/s), 250–2300 m/s, 750–2300 m/s, 1000–2300 m/s, 1250–2300 m/s skalėse, garsinio tomografo tikslumo rezultatai buvo gana geri ir stabilūs (tikslumas siekė 52,6–55,3 %).

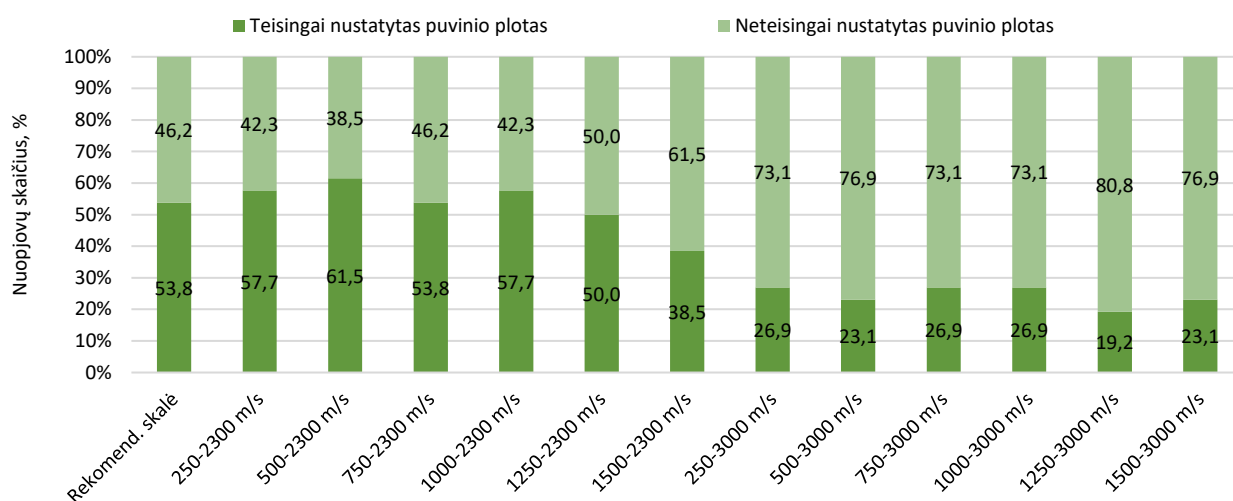


6 pav. Buko nuopjovose (iš mišrių medynų) išplitusio puvinio ploto nustatymo tikslumas, priklausomai nuo naudojamos garsinio tomografo matavimo skalės. Leistina paklaida $\pm 10\%$

Fig. 6. Accuracy of the determination of the rot spread area in beech cuttings (from mixed forests), depending on the used measuring scale of the sonic tomograph. Measurement tolerance $\pm 10\%$

6 paveiksle pateiktame grafike užfiksuota, kad iš visų 68 mišriame pušyne surinktų paprastojo buko medienos nuopjovų, nustatytas garsinį tomografa pagal gamintojo rekomenduojamą skalę, tiksliai puvinio plotas identifikuotas – 55,2 % nuopjovų. Šiuo atveju tikslesne galima laikyti optimalią skalę (500–2300 m/s) bei 250–2300 m/s, kurios puvinius tiksliai nustatė net 75,9 % mišriuose pušynuose surinktų nuopjovų. Kaip ir ankstesniais atvejais, garsinio tomografo tikslumas krito 250–3000 m/s, 500–3000 m/s, 750–3000 m/s, 1000–3000 m/s, 1250–3000 m/s, 1500–3000 m/s skalėse, kai nesiekė nei 50 %.

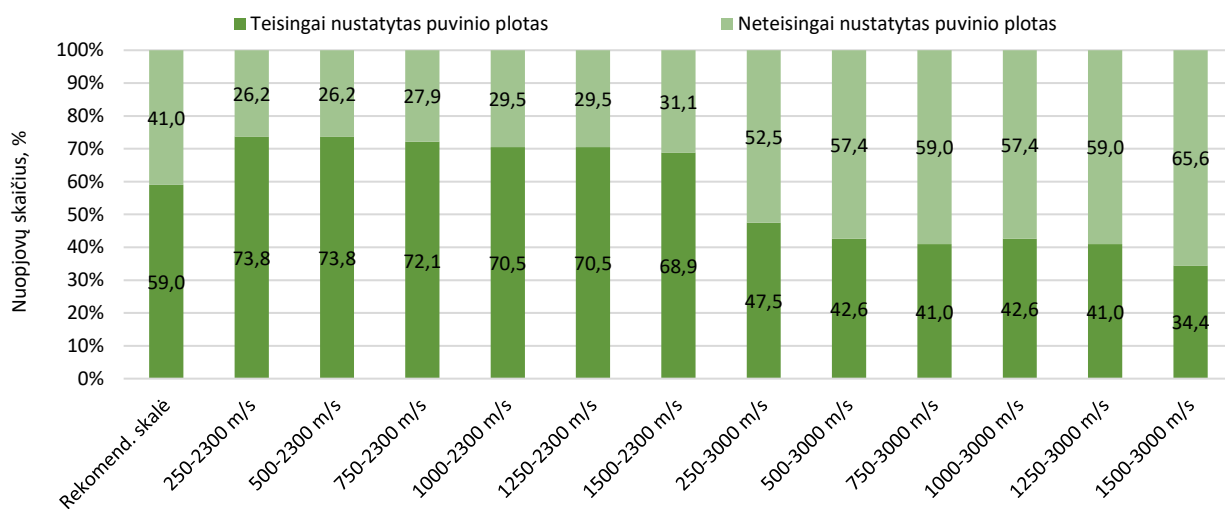
Tyrimo metu buvo aktualu išsiaiškinti, ar gali liga (puvinio rūšis) daryti įtaką garsinio tomografo veikimui, todėl nagrinėta, kaip skirtingose skalėse (+10 % paklaidos ribose), „Arbotom 3D“ prietaisais identifikavo skirtingus puvinius buko nuopjovose.



7 pav. Buko nuopjovose (su baltuoju – marmuriniu puviniumi) išplitusio puvinio ploto nustatymo tikslumas, priklausomai nuo naudojamos garsinio tomografo matavimo skalės. Leistina paklaida +-10 %

Fig. 7. Accuracy of the determination of the rot spread area in beech cuttings (with white – marble rot), depending on the used measuring scale of the sonic tomograph. Measurement tolerance + - 10%

7 paveiksle matyti, kad didžiausias tikslumas nustatant puvinio plotą nuopjovose buvo optimalioje skalėje, tai sudarė 61,5 %. Rekomenduojamoje skalėje fiksuotas kiek mažesnis tikslumas – 53,8 % tiksliai nustatytų puvinių.

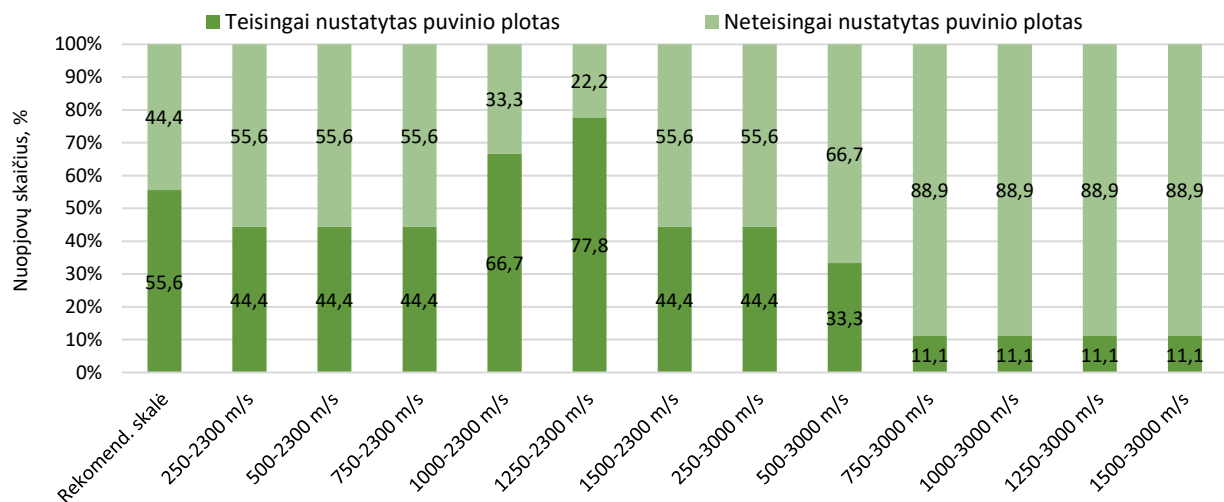


8 pav. Buko nuopjovose (su šerdimiu – bakteriniu puviniumi) išplitusio puvinio ploto nustatymo tikslumas, priklausomai nuo naudojamos garsinio tomografo matavimo skalės. Leistina paklaida +-10 %

Fig. 8. Accuracy of the determination of the rot spread area in beech cuttings (with core - bacterial rot), depending on the used measuring scale of the sonic tomograph. Measurement tolerance + - 10%

Nuopjovose, kuriose buvo identifikuotas šerdimis – bakterinis puvinys, pastebėtas ženkliai didesnis tikslumas visose tirtose garsinio tomografo matavimo skalėse. Kaip jau įprasta, optimalioje skalėje tikslumas buvo didžiausias – 73,8 %, tiesa, tokiu pačiu tikslumu tomografas dirbo ir 250–2300 m/s skalėje. Apskritai, skalėse 250–2300 m/s, 500–2300 m/s, 750–2300 m/s, 1000–2300 m/s, 1250–2300 m/s ir 1500–2300 m/s, tikslumas buvo labai stabilus, su minimaliais svyravimais. Todėl galima manyti, kad naudojant garsinį tomografą nustatant šerdimius bakterinius puvinius, galima naudoti didelį spektrą matavimo skalių.

Analizuojant 9 paveikslo duomenis pastebėta, kad rekomenduojamoje skalėje garsinio tomografo tikslumas – 55,6 %. Nuopjovose su abiem puviniais garsinis tomografas puvinio plotą optimalioje skalėje nustatė tik 44,4 % tikslumu. Įdomus išskirtinumas buvo tai, kad 1000–2300 m/s (66,7 %) ir 1250–2300 m/s (77,8 %) skalėse garsinis tomografas buvo ypač tikslus.



9 pav. Buko nuopjovose (su abiem puviniais) išplitusio puvinio ploto nustatymo tikslumas, priklausomai nuo naudojamos garsinio tomografo matavimo skalės. Leistina paklaida $\pm 10\%$

Fig. 9. Accuracy of the determination of the rot spread area in beech cuttings (with both rots), depending on the used measuring scale of the sonic tomograph. Measurement tolerance $\pm 10\%$

Išvados

1. Tyrime nustatyta, kad paprastojo buko nuopjovose pakenkimus darė baltojo (marmurinio) branduolio – balanos ir šerdinio – bakterinio puvinio sukėlėjai. Nustatyta, kad didesniai šių puvinų vidutiniam išplitimo plotui paprastojo buko nuopjovose darė įtaką mažesnis medynų mišrumas bei kiek prastesnės augimo sąlygos medyje.

2. Nustatyta, kad identifikuojant puvinius nuopjovose iš grynų pušynų, gamintojo rekomenduojamoje skalėje garsinis tomografas dirba tiksliai. Pastebėta, kad matuojant šerdinio – bakterinio puvinio išplitimą nuopjovose galimas didelis matavimo skalių spektras, kadangi jose tikslumas yra panašus.

3. Tyrime nustatyta, kad garsinis tomografas tiksliausiai puvinius matavo 500–2300 m/s skalėje, todėl ji pripažinta kaip optimaliausia.

Literatūra

- Dittmar, C., Zech, W., Elling, W. 2003. Growth variations of common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe – a dendroecological study. *Forest ecology and management*, Vol. 173(1–3), p. 63–78.
- Gáper, J., Pristaš, P., Gáperová, S., Maliničová, L. 2013. Molecular identification of *Fomes fomentarius* in hosts from urban and suburban areas in Slovakia. *Folia oecologica*, Vol. 40(1), p. 22–27.
- Cristini, V., Nop, P., Zlámál, J., Vand, M. H., Šeda, V., Tippner, J. 2023. *Fomes fomentarius* and *F. inzegae*—A Comparison of Their Decay Patterns on Beech Wood. *Microorganisms*; Vol. 11(3), p. 679.
- Stević, Z., Nikolovski, D., Siebert, B., Lochert, V. 2011. Thermography and other new technologies for tree diagnostics.
- Rust, S. 2017. Accuracy and reproducibility of acoustic tomography significantly increase with precision of sensor position. *Journal of Forest and Landscape Research*, Vol. 1, p. 1–6.

ACCURACY STUDIES OF SONIC TOMOGRAPHY FOR THE DETECTION OF EUROPEAN BEECH STEM ROT

Summary

The aim of the work is to investigate the accuracy of sonic tomography in detecting European beech (*Fagus sylvatica* L.) stem rots. The object of the research is 96 beech stem cuttings, collected after random fellings in the Kalveliai and Jūrava forests of the Jurbarkas regional unit. During the research, with the ImageJ software, the real rots of the beech trunk cuttings and the Arbotom3D sonic tomograph data obtained according to the scales recommended by the manufacturer are compared.

It has been established that the most suitable measurement scale for detecting European beech rots is 500 - 2300 m/s. In the study, it was observed that when detecting rots in cuttings from pure stand forests, the sonic tomograph works most accurately on the scale recommended by the manufacturer. A wide range of usable sonic tomographic measurement scales can be used to detect core-bacterial rots.

Keywords: sonic tomography, rot, recommended scale, Arbotom3D