

PUŠŲ BŪKLĖ IR METINIS SKERSMENS PRIEAUGIS ŠYLANT KLIMATUI

Karolina LEŠKYTĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Miškų ir ekologijos fakultetas,
el. paštas: karolina.leskyte@vdu.lt

Santrauka

Svarbu suprasti klimato kaitos poveikį skirtingo amžiaus (brandžių ir pusamžių) pušų medynų būklei ir prieaugio pokyčiams Aukštaitijos kompleksinio monitoringo stotyje. Nustatyti reikšmingus meteorologinių veiksnių tarpusavio ryšius ir jų įtaką medynų reakcijai. Tyrimui atlikti panaudotos daugiau nei 30 m. pušies metinio prieaugio ir pagrindinių meteorologinių parametrų duomenų sekos. Duomenys surinkti vadovaujantis sąlygiškai natūralių ekosistemų kompleksinio monitoringo paprogramės UNECE ICP IM metodika. Taikant dendrochronologinius metodus, nustatytas meteorologinių veiksnių tiesioginis ir kompleksinis poveikis pušų kamienų skersmens prieaugio kaitai. Tirtu 31 m. laikotarpiu nustatytas statistiškai reikšmingas kritulių didėjimas ir temperatūros kilimas. Vertinant lajos būklę, pusamžis medynas jautriau reagavo į pokyčius. Jo vidutinė lajų defoliacija svyravo nuo 13proc. iki 27proc., o brandaus medyno būklė nuo 2000 m. svyravo tik apie 15proc. Pusamžiam ir brandžiam medyne nustatytas prieaugio didėjimas nuo 1993 iki 2006 m. ir prieaugio mažėjimas nuo 2006 iki 2024 m. Koreliacinė analizė parodė, kad didesni kritulių kiekiai ramybės laikotarpiu, rugsėjo mėn., kartu su aukštesne temperatūra birželio mėnesį neigiamai lėmė pušų lajų būklę, didindami jų defoliacijos laipsnį, tai savo ruožtu slopino pušų metinį prieaugį. Tyrimas atskleidė skirtingą skirtingo amžiaus pušų medynų reakciją į klimato kaitos stresorius. Tai rodo, kad klimato kaita kelia didelę grėsmę miškų ekosistemoms, o skirtingo amžiaus medynai reaguoja nevienodai.

Reikšminiai žodžiai: paprastoji pušis, defoliacija, oro temperatūra, krituliai, prieaugis.

Įvadas

Metinis kamienų radialusis (metinių rėvių pločio) ir skerspločio (metinių rėvių ploto) prieaugis, jo kaita ir lemiančių veiksnių analizė – viena aktualiausių problemų miškininkystėje, kuriant ateities miškininkavimo metodus ir vertinant rūšies prisitaikymo laipsnį prie ypač sparčiai besikeičiančios aplinkos. Norint numatyti pušynų ekosistemų pokyčius klimato kaitos scenarijuose, būtina suprasti medžių radialinio augimo reakcijas į besikeičiančią medžių būklę, defoliacijos laipsnį ir klimato veiksnius, kritulių kiekį, temperatūrą, jų kaitą. Lietuvoje, kaip ir Europoje, viena iš pagrindinių ir labiausiai paplitusių medžių rūšių yra paprastoji pušis (*Pinus sylvestris* L.), kuri dėl ilgalaikumo ir plataus paplitimo yra tinkama prieaugiui ir jo kaitą lemiantiems veiksniams analizuoti. Aukštaitijos ekologinė monitoringo stotis, kurioje nuo 1993 iki 2024 m. įgyvendinama ilgalaikio kompleksinio monitoringo programos, suteikia daugiamečius duomenis, kurie yra reikalingi norint įvertinti pušų skersmens prieaugio kaitą ir ją veikiančius būklės ir klimato – kritulių, temperatūros veiksnius.

Per pastaruosius dešimtmečius buvo paskelbta daugybė tyrimų, nagrinėjančių su klimato kaita susijusias miškų augimo reakcijas ir adaptacijas, naudojant retrospektyvinius ir prognozavimo modeliavimo (Trotsiuk et al., 2020). Didžioji šių tyrimų dalis sutinka, kad nepalankios sąlygos, tokios kaip padidėjęs dirvožemio užmirkimas pavasarį ir ypač stiprus sausros stresas vasarą, lems augimo depresijas, rūšių arealų poslinkius, sausros padarytą žalą (Hacket-Pain et al., 2016). Šis tyrimas siekia ne tik nustatyti klimato kaitos poveikį pušų prieaugio rodikliams, bet ir įvertinti specifinius meteorologinių veiksnių tarpusavio ryšius, darančius įtaką skirtingo amžiaus pušynams. Tai leis geriau suprasti dabartines tendencijas ir tiksliau prognozuoti būsimus pokyčius Lietuvos pušynų ekosistemose. Statistika rodo, kad pušų būklė Europoje ir Lietuvoje nuosekliai blogėja, lajų vidutinė defoliacija per pastaruosius 20 stebėjimo metų Europoje išaugo 4,2 proc., Lietuvoje – 5,8 proc. (IPCC, 2023). J. Björklund ir kt. (2017) pažymi, kad medžio rievės plotis yra vienas iš dažniausiai naudojamų klimato kaitos tyrimuose. Klimato veiksniai tiesiogiai veikia medžių augimą ir bendrą miško produktyvumą, taip pat netiesiogiai – miško ekosistemų funkcionavimą, ypač jų sveikatą (Colangelo et al., 2021). Norint sugebėti prognozuoti būsimus klimato pokyčius, reikia rekonstruoti įvairius klimato parametrus, nustatyti praeities klimato sąlygas ir jų kitimo tendencijas, kad būtų galima numatyti galimus ateities scenarijus (Linderholm et al., 2004).

Tyrimo tikslas – nustatyti meteorologinių veiksnių įtaką paprastosios pušies būklei ir prieaugiui bei įvertinti tirtų veiksnių tarpusavio sąsajas ir priežastinius ryšius.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Nustatyti įtaką paprastosios pušies lapijos būklei.
2. Nustatyti meteorologinių veiksnių įtaką paprastosios pušies skersmens kaitai.
3. Įvertinti tirtų veiksnių tarpusavio sąsajas ir priežastinius ryšius.
4. Įvertinti meteorologinių veiksnių kaitos galimas grėsmes pušynų augimui ateityje.

Tyrimų objektas ir metodai

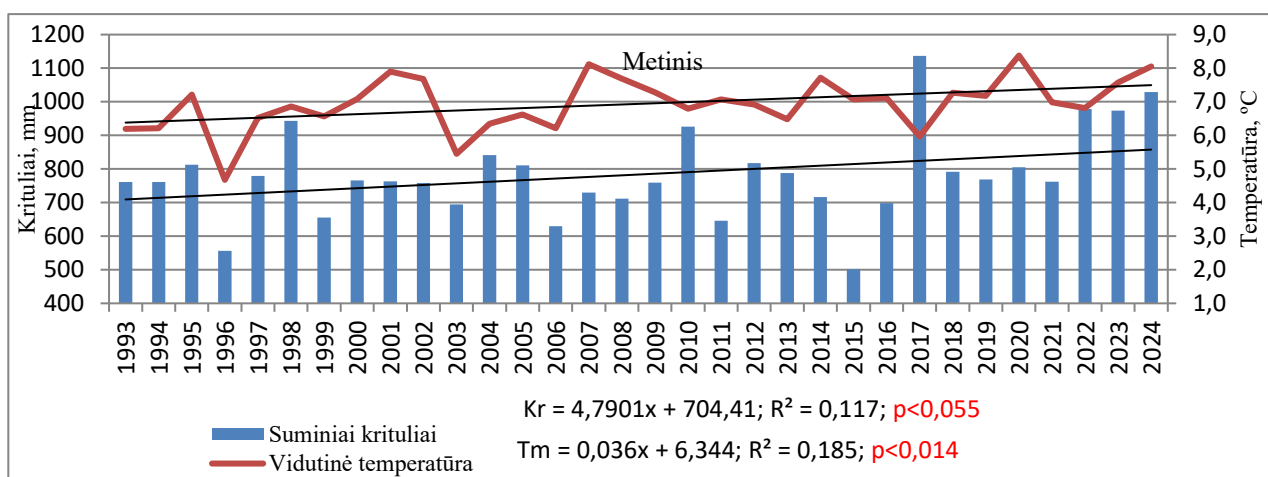
Tyrimo objektas – daugiau nei 30 m. pušies metinio prieaugio, būklės, bei pagrindinių meteorologinių parametrų duomenų sekos. Duomenys surinkti Aukštaitijos kompleksinio monitoringo stotyje, vadovaujantis sąlygiškai natūralių ekosistemų kompleksinio monitoringo paprogramės UNECE ICP IM metodika. Iki 2024 m. rugsėjo lauko darbų metu buvo surinkti medienos pavyzdžiai (6 brandaus, 3 pusamžio medyno) metiniam prieaugiui nustatyti matavimai atlikti laboratorijoje su LINTAB 6 įranga, įvertintas medynų, iš kurių paimti mėginiai, defoliacijos laipsnis medžių būklės kaitai

tirti. Defoliacijai nustatyti paimti daugiamečiai 1993–2024 m. laikotarpio apie 200 medžių kiekvieno medyno defoliacijos duomenys ir atrinktų šiai dienai gyvų paskaičiuoti medžių defoliacijos duomenys dėl galimų iškritusių medžių paklaidų, paskaičiuoti jų vidurkiai. Medyno amžiaus poveikiui įvertinti atrinkti pusamžis ir brandus pušies medynai, esantys netoli Aukštaitijos monitoringo stoties. Įvertinta medynų radialiojo prieaugio ir skerspločio kaita. Išmatuoti metiniai rėvių plotai, priklausomai pagal laiko skalę. Duomenys suvesti į duomenų bazę. Pagal senesnius monitoringo duomenis atitinkamuose medynuose įvertinta medynų būklė, defoliacijos kaitos intensyvumas. Naudojant STATISTICA duomenų paketą ir „Microsoft Excel“ įvertintos surinktų kintamųjų tarpusavio priklausomybės ir jų reikšmingumas, kiti reikiami parametrai.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Meteorologinių parametrų kaita 1993–2024 m. laikotarpiu

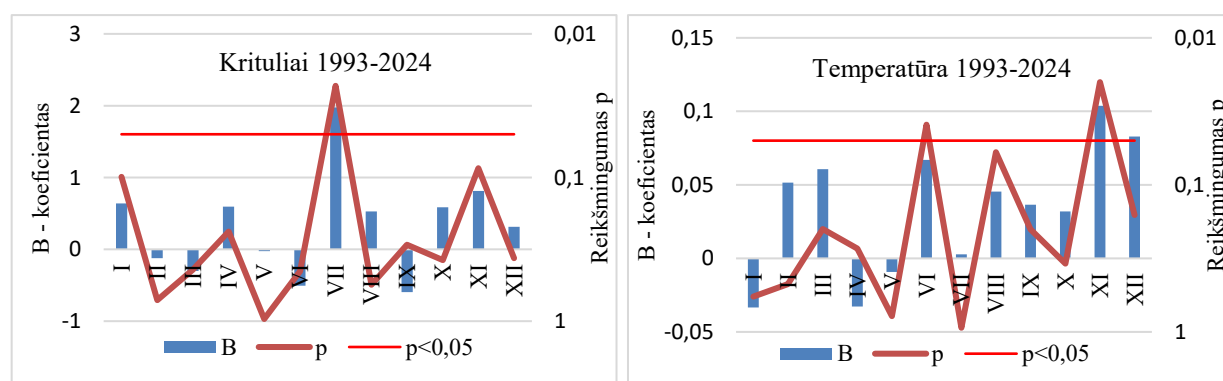
Medžių augimą veikia ribojantys veiksniai, tokie kaip temperatūra, krituliai ir prieiga prie saulės šviesos (Fritts, 1976). Kad būtų galima išsiaiškinti meteorologinių veiksnių poveikį paprastosios pušies prieaugiui, būtina išsiaiškinti kritulių ir temperatūros kaitą. 1 paveiksle pateikti 1993–2024 m. kritulių ir temperatūros rodikliai. Tirtu laikotarpiu matomas statistiškai reikšmingas kritulių didėjimas ir temperatūros kilimas per pastaruosius 31 metus. Lyginant su 2018–2021 m. laikotarpio vidutiniais krituliais, kurie siekė tik apie 780 mm, pastaraisiais trejais metais matomas aiškiai padidėjęs kritulių kiekis, vidutiniškai siekiantis apie 1000 mm per metus. Rekordinis kritulių kiekis iškrito 2017 m., mažiausias kritulių kiekis iškrito 2015 m. Įdomią analogiją galima būtų įžvelgti 1996 m. mažame kritulių kiekyje ir 1998 m. gausiuose krituliuose, kur antrais metais po sausringų metų sulaukiamas išskirtinai didelis kritulių kiekis. 2024 m. buvo vieni iš šiltesnių, vidutinė metinė temperatūra buvo 8,1 °C. Tokia pati vidutinė temperatūra buvo ir 2007 m. Aukštesnė temperatūra buvo tik 2020 m. (8,4 °C). Žemiausia vidutine temperatūra pasižymėjo 1996 m. (4,7 °C). Pastaruosius trejus metus taip pat matomas temperatūros didėjimas. Nuo 2022 m. vidutinė temperatūra augo apytiksliai net po 0,5 °C per metus. Kritulių ir temperatūros duomenimis išsiskiria 1996 m., pasižymintis kaip vieni iš sausringiausių metų ir turintis žemiausią vidutinę metinę temperatūrą. Taip pat – 2017 m., kai sulaukta daugiausia kritulių, tačiau imant 2015–2019 m. laikotarpį, tai buvo šalčiausi metai paskutinįjį dešimtmetį.



1 pav. Suminių kritulių ir vidutinės temperatūros duomenys 1993–2024 metų laikotarpiu.

Fig 1. Total precipitation and average temperature data for the period 1993 -2024.

Per tirtą laikotarpį matomas (žr. 2 pav.) statistiškai reikšmingas ($p < 0,05$) liepos mėnesio kritulių didėjimas po 2 mm per metus ir temperatūros kilimas birželio (0,06 °C) ir lapkričio mėnesiais (0,1 °C).



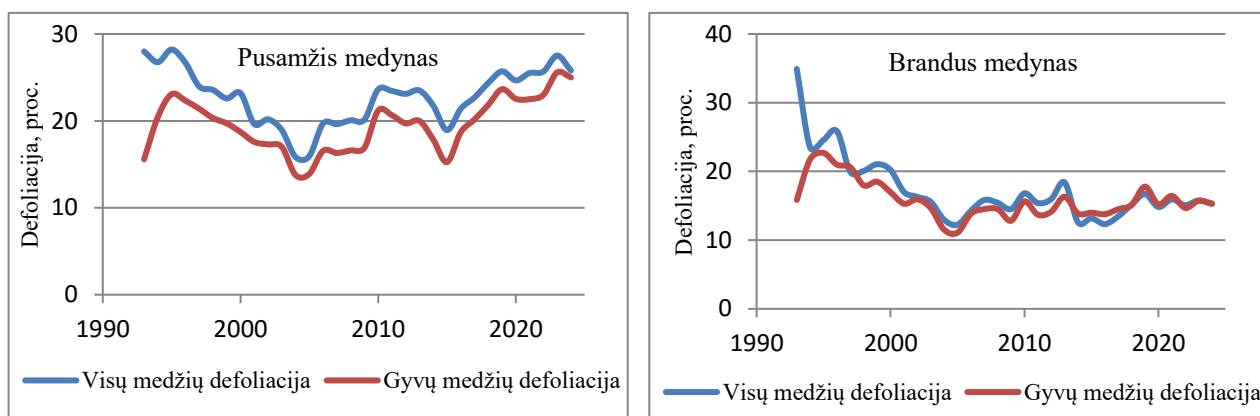
2 pav. 1993–2024 m. laikotarpio kritulių ir temperatūros kitimas ir reikšmingumas.

Fig 2. Variation and significance of precipitation and temperature for the period 1993-2024

Lajos būklės kaita 1993–2024 m. laikotarpiu

Lajos būklės vertinimas yra vienas plačiausiai taikomų medžių sveikatos ir gyvybingumo rodiklių Europos miškuose. Vienas iš kintamųjų, naudojamų lajos būklei įvertinti, yra lapijos tankis, arba jam atvirkščias parametras – medžių lapų defoliacija, kuri vertinama kaip spyglių / lapų praradimas lajoje, lyginant su etaloniniu medžiu su visa lapija ir išreikštas procentais (IPC, 2014). Kuo didesnė defoliacija, tuo prastesnė medžio būklė. Surinkti daugiamečiai duomenys dėl medžių iškritimo medyne ne visada gali atspindėti tikrąją dabartinio medyno defoliacijos laipsnio pokyčio kaitą. Todėl reikia atsižvelgti ir į tik šiai dienai esančių gyvų medžių defoliacijos kitimo tendenciją. 3 paveiksle pateikti defoliacijos duomenys rodo medžių būklės gerėjimą, defoliacijos laipsnio mažėjimą nuo 1993 iki 2005 m. Tokia pati tendencija matoma brandžiame medyne. Nuo 2005 m., ir ypač nuo 2015 m., pusamžiam medyne matomas būklės blogėjimas, defoliacijos laipsnio didėjimas. Taip pat galima pastebėti dviprasmišką poveikį skirtingo amžiaus medynams. Brandžiame medyne per šį laikotarpį medžių būklė reikšmingai nesikeitė.

Jaunų ir senų medžių jautrumas klimatui skiriasi. Jaunesni medžiai paprastai yra jautresni, o senų medžių augimas pastebimai būna santykinai stabilus (Colangelo et al., 2021). Pusamžio medyno defoliacija matomai didėjo nuo 2005 m. Pusamžis medynas jautriau reagavo į pokyčius, defoliacija svyravo apytiksliai nuo 13proc. iki 27proc., brandaus medyno būklė nuo 2006 m. svyravo apie 15proc.

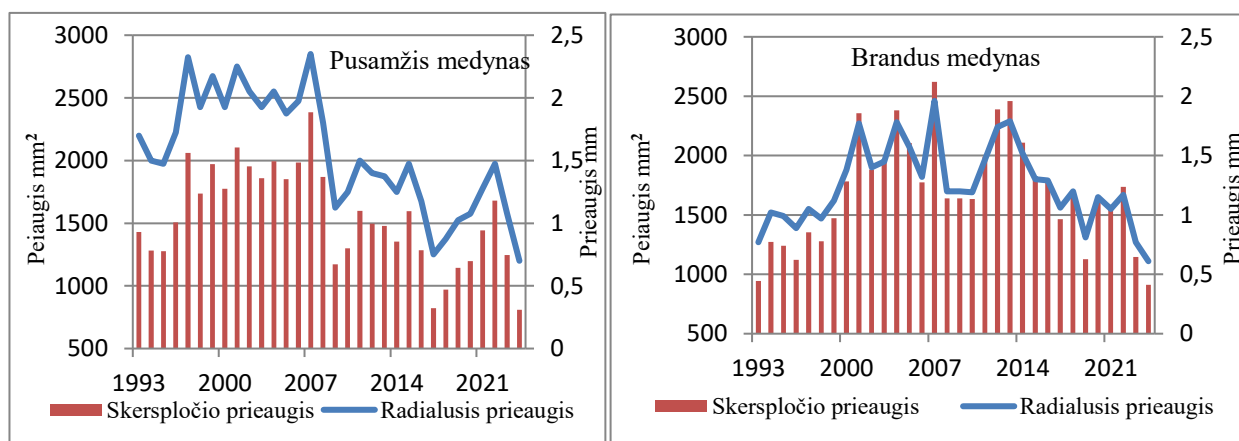


3 pav. Pusamžio ir brandaus medyno defoliacijos pokyčiai 1993–2024 metų laikotarpiu.

Fig 3. Changes in defoliation of mid-aged and mature stands in the period 1993–2024.

Prieaugio parametrų kaita 1993–2024 m. laikotarpiu

Metinių rėvių susidarymas ir datavimas suteikia galimybę tiksliai kalibruoti medžio rievės plotį kiekvienais metais (žr. 4 pav.) su klimato duomenimis. Pusamžiam ir brandžiam medyne matomi prieaugio didėjimai nuo 1993 iki 2007 m., o nuo 2007 iki 2024 m. – mažėjimas. Pagal prieaugį galima išskirti rekordinius 2007 m., kuriais buvo matomas didžiausias prieaugis tiek pusamžiam, tiek brandžiam medyne. Žvelgiant į tų metų meteorologinius parametrus, metai buvo vieni iš šilčiausių, o kritulių kiekis buvo šiek tiek mažesnis už vidurkį. Pusamžio medyno mažiausias prieaugis nustatytas 2017 ir 2024 m. Tais metais iškrito rekordiniai kiekiai kritulių. Brandus medynas mažiausią prieaugį turėjo 1993, 2019, 2024 m.



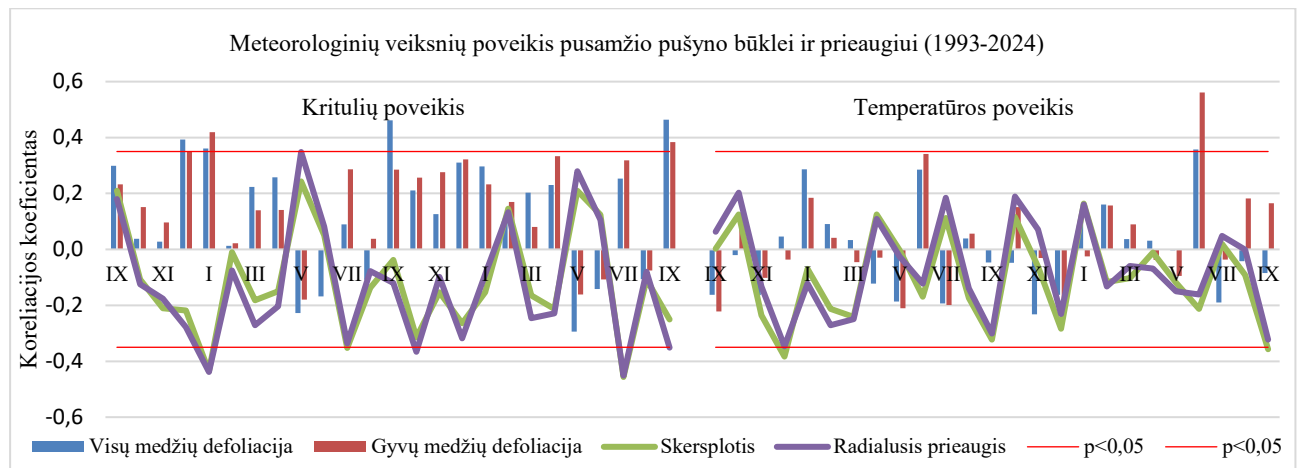
4 pav. Pusamžio ir brandaus medyno prieaugio pokyčiai 1993–2024 metų laikotarpiu

Fig 4. Changes in the growth of a semi-old and matured stand in the period 1993–2024.

Meteorologinių veiksnių poveikis būklės ir metinio prieaugio kaitai 1993–2024 m. laikotarpiu

Atlikta koreliacinė analizė parodė, kad didesni kritulių kiekiai ramybės laikotarpiu ir kritulių kiekiai liepą ir rugsėjo mėn. kartu su aukštesne temperatūra birželio mėnesį neigiamai lėmė pusamžių pušų lapų būklę, didindami jų defoliacijos laipsnį, kas savo ruožtu slopino pušų metinį prieaugį. Lajų būklei ir kamieno prieaugiui teigiamą poveikį darė didesni

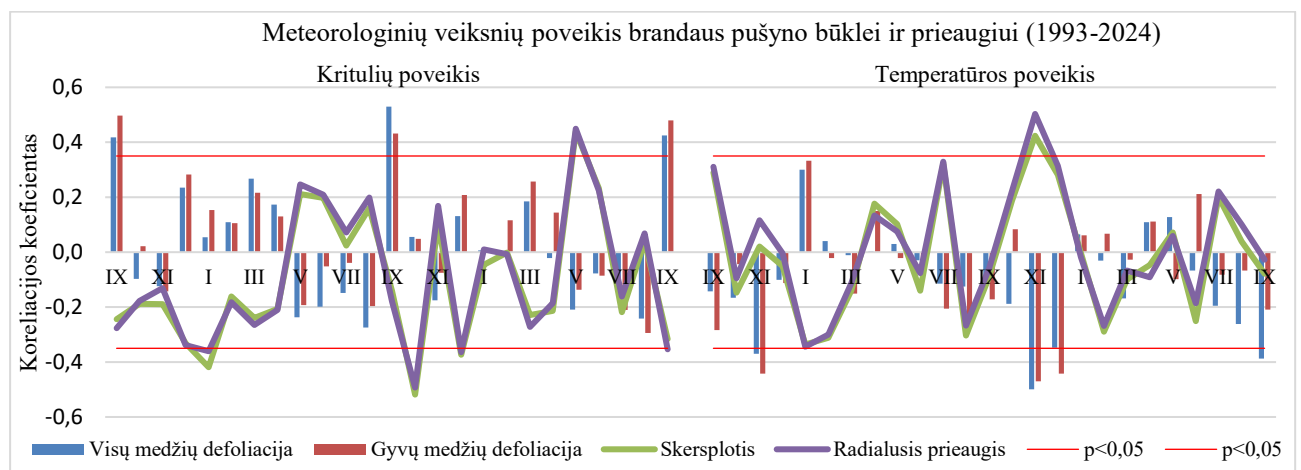
gegužės–birželio mėnesių kritulių kiekiai bei šiltesni rugsėjo ir gruodžio mėnesiai (žr. 5 pav.). Šiltos pavasario temperatūros ir didesnis kritulių kiekis yra svarbūs klimato veiksniai, darantys įtaką pušų augimui (Zhao et al., 2023).



5 pav. Meteorologinių veiksnių (temperatūros ir kritulių kiekviena mėnesį) poveikis pusamžio pušyno būklei ir metinio prieaugio kaitai 1993–2024 metų laikotarpiu

Fig 5. The impact of meteorological factors (temperature and precipitation each month) on the condition and annual growth variation of a middle-aged pine forest over the period of 1993-2024

Koreliacinė analizė tarp meteorologinių veiksnių ir brandaus pušyno būklės ir prieaugio kaitos parametrų naujų dėsningumų neatskleidė. Reikšmingas išliko gausesnių kritulių neigiamas poveikis pušų lajų būklei rugsėjo mėnesį ir ypač prieaugį skatinantis gegužės–birželio mėnesių intensyvesnių kritulių ir šiltos žiemos teigiamas poveikis brandžių pušynų vystymuisi (žr. 6 pav.). Tyrimai iš skirtingų pasaulio regionų taip pat pateikia įrodymų, kad žiemos temperatūra gali turėti įtaką prieaugiui (Zhu et al., 2021).



6 pav. Meteorologinių veiksnių (temperatūros ir kritulių kiekviena mėnesį) poveikis brandaus pušyno būklei ir metinio prieaugio kaitai 1993–2024 metų laikotarpiu

Fig 6. The impact of meteorological factors (temperature and precipitation each month) on the condition and annual growth variation of a mature pine forest over the period of 1993-2024

Išvados

1. Didesni kritulių kiekiai ramybės laikotarpiu ir kritulių kiekiai liepą ir rugsėjo mėnesį, kartu su aukštesne temperatūra birželio mėnesį, neigiamai lėmė pušų lajų būklę, didindami jų defoliacijos laipsnį. Lajų būklei teigiamą poveikį darė didesni gegužės–birželio mėnesių kritulių kiekiai bei šiltesni rugsėjo ir gruodžio mėnesiai.

2. Didesni kritulių kiekiai ramybės laikotarpiu, o taip pat liepą ir rugsėjo mėn., kartu su aukštesne temperatūra birželio mėnesį neigiamai lėmė ir pušų metinį prieaugį. Reikšmingai prieaugį skatino gegužės–birželio mėnesių intensyvesni krituliai ir kylanti žiemos mėnesių temperatūra, ypač lapkričio–gruodžio mėnesiais, iki po 0,1 °C per m.

3. Analizė parodė, kad meteorologiniai veiksniai, neigiamai lemiantys pušų lajų būklę, didinantys jų defoliacijos laipsnį, taip pat slopino pušų metinį prieaugį.

4. Statistiškai reikšmingas liepos mėnesio kritulių didėjimas po 2 mm per metus ir temperatūros kilimas birželio mėnesiais (po 0,06 °C) gali būti įvardijamas kaip naujos grėsmės pušynams tvariai vystytis Lietuvoje.

Literatūra

1. Björklund, J., Seftigen, K., Schweingruber, F., Fonti, P., Von Arx, G., Bryukhanova, M. V., Cuny, H. E., Carrer, M., Castagneri, D., & Frank, D. C. (2017). Cell size and wall dimensions drive distinct variability of earlywood and latewood density in Northern Hemisphere conifers. *New Phytologist*, 216(3), 728–740. <https://doi.org/10.1111/nph.14639>
2. Colangelo, M., Camarero, J. J., Gazol, A., Piovesan, G., Borghetti, M., Baliva, M., Gentilesca, T., Rita, A., Schettino, A., & Ripullone, F. (2021). Mediterranean old-growth forests exhibit resistance to climate warming. *The Science of the Total Environment*, 801, 149684. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149684>
3. Hacket-Pain A J, Cavin L, Friend A D and Jump A S 2016 Consistent limitation of growth by high temperature and low precipitation from range core to southern edge of European beech indicates widespread vulnerability to changing climate. *European Journal of Forest Research*, 135, 897–909. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0982-7>
4. ICP Forests Technical Report. (2014) ICP Forests. Preiga per internet: <http://icp-forests.net/page/icp-forests-technical-report>
5. IPCC (2023). Climate change 2023 :: AR6 synthesis report : summary for policymakers. United Nations Digital Library System. Preiga per internet: <https://digitallibrary.un.org/record/4008082?ln=en&v=pdf>
6. Linderholm, H. W., Niklasson, M., & Molin, T. (2004). Summer moisture variability in east central sweden since the mid-eighteenth century recorded in tree rings. *Geografiska Annaler Series a Physical Geography*, 86(3), 277–287. <https://doi.org/10.1111/j.0435-3676.2004.00231.x>
7. Trotsiuk V, Hartig F, Cailleret M, Babst F, Forrester D I, Baltensweiler A, Buchmann N, Bugmann H, Gessler A and Gharun M 2020 Assessing the response of forest productivity to climate extremes in Switzerland using model-data fusion *Glob. Chang. Biol.* 26 2463–76 https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcb.15011?src=getfr&utm_source=iopp&getft_integrator=iopp
8. Zhao, X., Chen, F., Seim, A., Hu, M., Akkemik, Ü., Kopabayeva, A., Mazarzhanova, K., Zhang, R., Maisupova, B., Kirillov, V., Mambetov, B., Yu, S., He, Q., Dosmanbetov, D., & Kelgenbayev, N. (2023). Global warming leads to growth increase in *Pinus sylvestris* in the Kazakh steppe. *Forest Ecology and Management*, 553, 121635. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121635>
9. Zhu, H., Huang, R., Asad, F., Liang, E., Bräuning, A., Zhang, X., Dawadi, B., Man, W., & Griebinger, J. (2021). Unexpected climate variability inferred from a 380-year tree-ring earlywood oxygen isotope record in the Karakoram, Northern Pakistan. *Climate Dynamics*, 57(3–4), 701–715. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05736-6>

CONDITION OF PINE TREES AND ANNUAL DIAMETER GROWTH IN A WARMING CLIMATE

Abstract

Understanding the impact of climate change on the condition and growth of different-aged pine forests (mature and middle-aged) at the Aukštaitija complex monitoring station is crucial. This study aimed to identify significant relationships between meteorological factors and their effects on forest responses. Over 30 years of annual growth data for pine trees and key meteorological parameters were used, following the UNECE ICP IM methodology for monitoring conditionally natural ecosystems. Dendrochronological methods revealed both direct and complex effects of meteorological factors on trunk diameter growth changes. The analysis showed a statistically significant increase in precipitation and temperature over the 31-year study period. Middle-aged forests were more sensitive to changes, with average defoliation ranging from 13% to 27%, while mature forests showed a fluctuation of around 15proc. since 2000. Growth increased from 1993 to 2006, followed by a decline from 2006 to 2024 in both age categories. Correlation analysis indicated that higher precipitation in September and elevated temperatures in June adversely affected the crown condition of pines, increasing defoliation and suppressing annual growth. The findings illustrate varying responses to climate change stressors among pine forests of different ages, signifying a serious threat to forest ecosystems.

Keywords: Scots pine, defoliation, air temperature, climate, increment.