

NEGYVOS MEDIENOS KOKYBINĖ STRUKTŪRA PAGAL IRIMO STADIJAS IR JOS SĄSAJOS SU KLIMATO RODIKLIAIS AUKŠTAITIJOS IR ŽEMAITIJOS KOMPLEKSIŠKO MONITORINGO STOTYSE

Benediktas GEDRIMAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Miškų ir ekologijos fakultetas, el. paštas: benediktas.gedrimas@vdu.lt

Santrauka

Negyva mediena yra svarbi miško ekosistemų dalis, susijusi su biologine įvairove ir anglies kaupimu, o jos irimą lemia tiek medienos savybės, tiek aplinkos sąlygos. Šiame tyrime įvertinta negyvos medienos dabartinė kokybinė struktūra pagal irimo stadijas (1–5) Aukštaitijos ir Žemaitijos kompleksinio monitoringo stotyse (KMS) bei nustatytos irimo stadijų sąsajos su klimato rodikliais. Analizei naudoti 1993–2025 m. meteorologiniai duomenys (temperatūra ir krituliai) ir 2025 m. ekspedicijos metu inventorizuoti negyvos medienos vienetai (medžių rūšis, skersmuo, irimo stadija, laikas nuo žūties). Kokybinė struktūra analizuota pagal amžiaus grupes, o sąsajos su klimato rodikliais vertintos koreliacine ir regresine analize. Didėjant laikui nuo medžio žūties, irimo stadija nuosekliai didėjo, tačiau Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS skyrėsi irimo stadijų pasiskirstymais tarp rūšių grupių. Nors kai kurie klimato rodikliai statistiškai reikšmingai siejosi su irimo stadija, abiejose KMS pagrindinis irimo eigą aiškinantis veiksnys buvo laikas nuo žūties.

Reikšminiai žodžiai: negyva mediena, irimo stadija, oro temperatūra, krituliai.

Įvadas

Negyvos medienos kiekis ir kokybinė struktūra pagal irimo stadijas atspindi miško ekosistemos procesų dinamiką ir yra svarbūs anglies apykaitai bei buveinių prieinamumui saproksilinėms rūšims (Harmon et al., 2020; Rinne-Garmston et al., 2019). Medienos irimą lemia aplinkos sąlygos, kurios reguliuoja skaidytojų aktyvumą, taip pat pačios medienos savybės ir su jomis susijusios mikroorganizmų bendrijos (Herrmann & Bauhus, 2013; Pastorelli et al., 2020). Klimato kaitos kontekste tikėtini irimo proceso pokyčiai, tačiau jų kryptis ir intensyvumas priklauso nuo regiono, rūšies ir trikdžių režimo (Oberle et al., 2018; Chagnon et al., 2022). Baltijos regione, kur klimatinės sąlygos yra pereinamojo pobūdžio, aktualu derinti ilgalaikius stebėsenos duomenis su dabartinės negyvos medienos struktūros vertinimu, siekiant mažinti regioninį neapibrėžtumą (Harmon et al., 2020).

Aukštaitijos ir Žemaitijos kompleksinio monitoringo stotyse sukaupiti daugiametės stebėsenos duomenys sudaro galimybę įvertinti irimo stadijų pasiskirstymą ir jo sąsajas su temperatūros bei kritulių rodikliais, taip pat palyginti šiuos dėsningumus tarp regionų ir medžių rūšių grupių. Šiame straipsnyje apibūdinamas 1993–2025 m. klimatinis fonas ir, remiantis 2025 m. inventorizacija, įvertinama negyvos medienos kokybinė struktūra pagal irimo stadijas, papildomai taikant statistinę sąsajų analizę su meteorologiniais rodikliais (Aakala et al., 2024; Augustynczyk et al., 2024).

Tyrimo tikslas – įvertinti negyvos medienos kokybinę struktūrą pagal irimo stadijas Aukštaitijos ir Žemaitijos kompleksinio monitoringo stotyse.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Apibūdinti klimato rodiklius Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS 1993–2025 m.
2. Įvertinti negyvos medienos kokybinę struktūrą pagal irimo stadijas skirtingose medžių rūšių grupėse Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS.
3. Nustatyti negyvos medienos irimo stadijos sąsajas su klimato rodikliais Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS.

Tyrimų objektas ir metodai

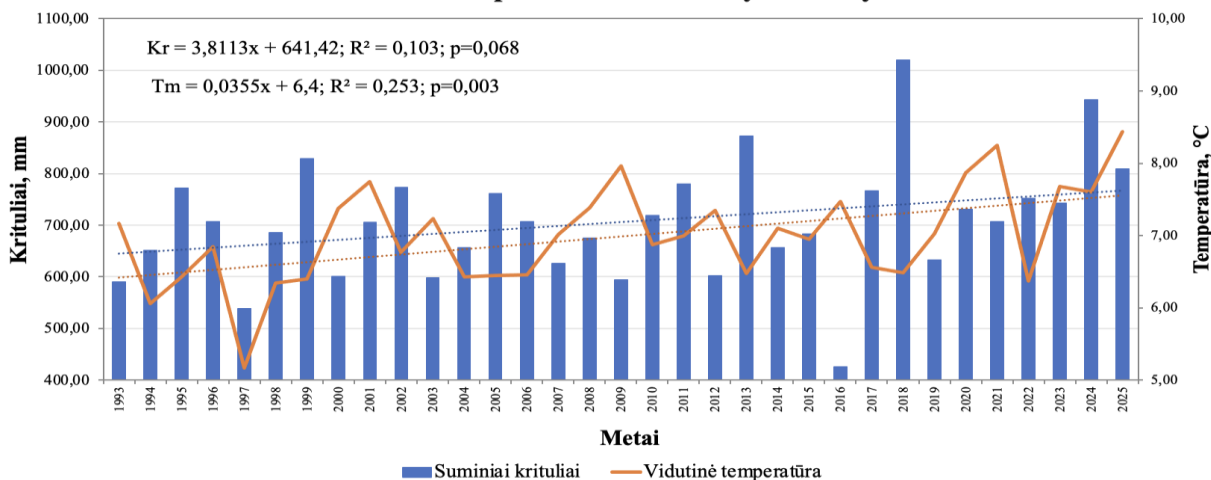
Tyrimo objektas – negyvos medienos dabartinė kokybinė struktūra pagal irimo stadijas (1–5), nustatyta 2025 m. ekspedicijos metu Aukštaitijos ir Žemaitijos kompleksinio monitoringo stotyse (KMS). Analizuoti negyvos medienos inventorizacijos duomenys (medžių rūšis, medžio skersmuo, irimo stadija, laikas nuo medžio žūties) ir 1993–2025 m. KMS stebėsenos duomenys (temperatūra, krituliai, medžių žūties informacija). Kadangi duomenys rinkti nevienodu periodiškumu, analizėje jie taikyti pagal prieinamumą atitinkamais laikotarpiais, o meteorologiniai ir medžių būklės rodikliai suvienodinti iki metinio pjūvio. Prieš analizę duomenys patikrinti atsižvelgiant į nuoseklumą ir naudoti tik pilni įrašai. Kokybinė struktūra vertinta sudarant irimo stadijų pasiskirstymus pagal rūšių grupes ir amžiaus grupes, o sąsajos su meteorologiniais rodikliais vertintos koreliacine ir regresine analize. Duomenų apdorojimas ir statistinė analizė atlikti naudojant „Microsoft Excel“ ir „STATISTICA“.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Meteorologinių parametrų kaita 1993–2025 m. laikotarpiu Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS

Siekiant apibūdinti klimato foną, kuriame buvo vertinami negyvos medienos irimo procesai, pateikiami Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS metiniai temperatūros ir kritulių duomenys. Šie rodikliai leidžia įvertinti bendras klimato kaitos tendencijas tiriamuoju laikotarpiu ir sudaro pagrindą tolesnei negyvos medienos irimo stadijų sąsajų su klimatu analizei.

Metiniai temperatūros ir kritulių duomenys

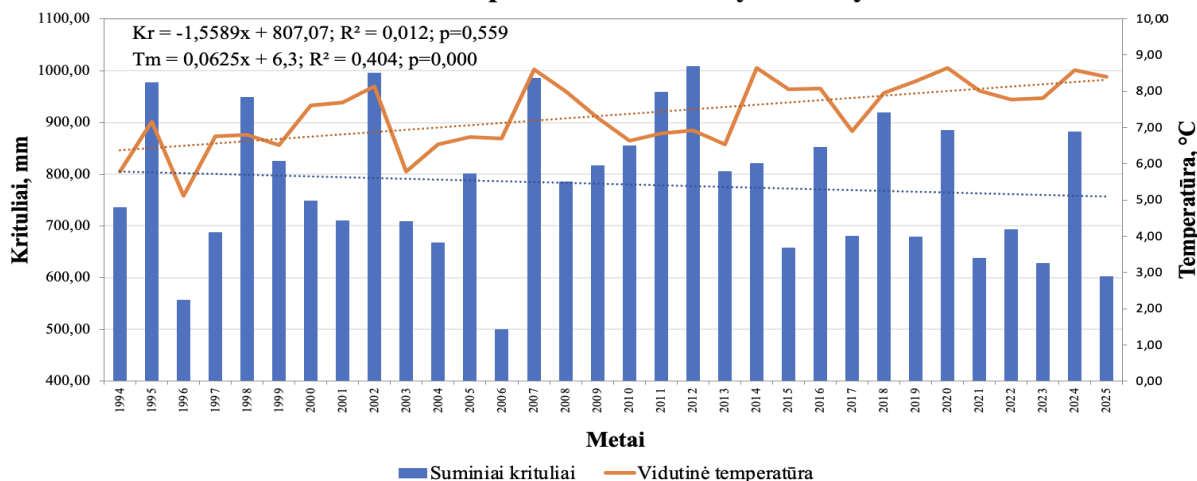


1 pav. Aukštaitijos KMS suminiai kritulių ir vidutinės temperatūros duomenys 1993–2025 m.

Fig. 1. Aukštaitijos KMS total precipitation and average temperature data for the period 1993–2025.

Aukštaitijos KMS 1993–2025 m. laikotarpiu vidutinė metinė oro temperatūra statistškai reikšmingai didėjo, o metinių kritulių kiekio ilgalaikė kaita nebuvo nuosekli (daugiausia vyravo tarpmetiniai svyravimai). Tai rodo, kad ryškiausias klimato pokytis šiame regione buvo šiltėjimas.

Metiniai temperatūros ir kritulių duomenys



2 pav. Žemaitijos KMS suminiai kritulių ir vidutinės temperatūros duomenys 1994–2025 m.

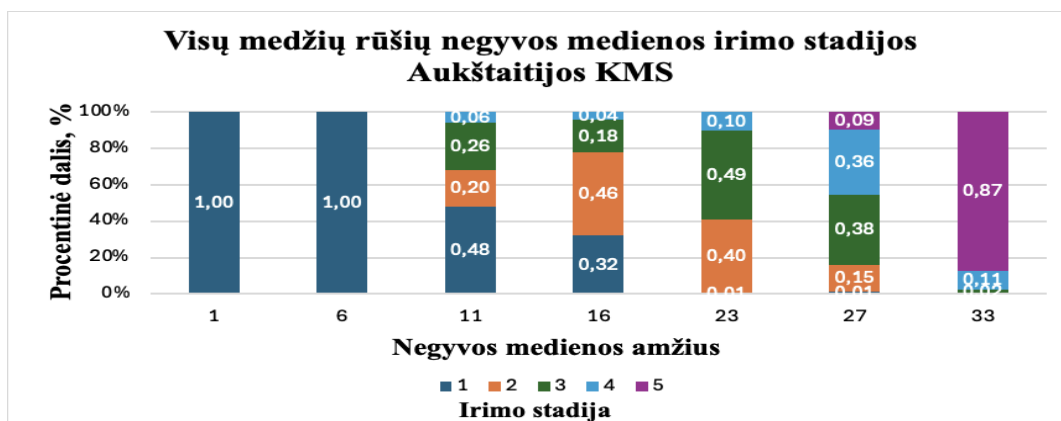
Fig. 2. Žemaitijos KMS total precipitation and average temperature data for the period 1994–2025.

Žemaitijos KMS 1994–2025 m. laikotarpiu vidutinė metinė oro temperatūra statistškai reikšmingai didėjo, o metinių kritulių kiekis neturėjo aiškos ilgalaikės tendencijos. Kaip ir Aukštaitijos KMS, ryškiausias klimato kaitos signalas buvo temperatūros didėjimas.

Apibendrinant, abiejuose KMS tiriamuoju laikotarpiu ryškiausias klimato kaitos požymis buvo vidutinės metinės oro temperatūros didėjimas, o kritulių kiekio kaita išliko mažiau nuosekli. Todėl tolesnėje analizėje tikėtina, kad negyvos medienos irimo sąsajos su klimatu labiau siesis su temperatūra negu su bendrais metinių kritulių pokyčiais.

Negyvos medienos kokybinė struktūra pagal irimo stadijas Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS

Šiame poskyryje pateikiami negyvos medienos kokybinės struktūros pagal irimo stadijas vertinimo rezultatai Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS. Negyvos medienos kokybinė struktūra analizuota pagal irimo stadijų pasiskirstymą skirtingose žūties amžiaus grupėse ir medžių rūšių grupėse. Toks vertinimas leidžia nustatyti, kaip kinta negyvos medienos būklė didėjant laikui nuo žūties ir kuo skiriasi irimo stadijų struktūra tarp tirtų regionų bei medžių rūšių grupių.

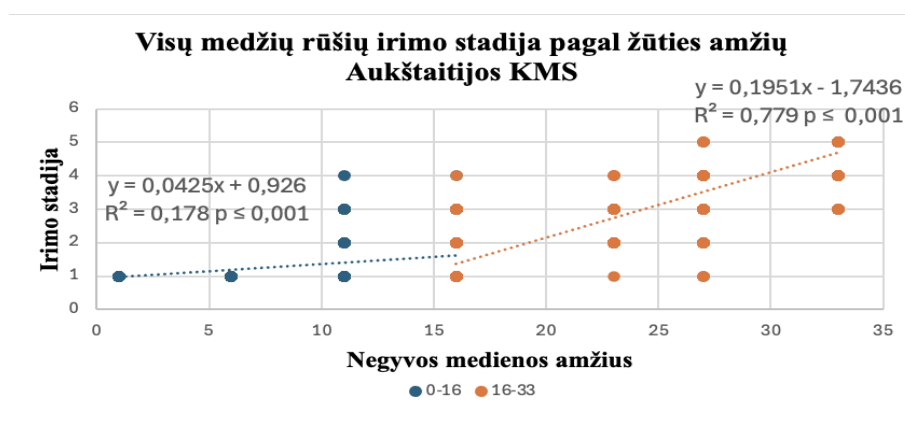


3 pav. Stulpelinė diagrama – negyvos medienos irimo stadijų pasiskirstymas pagal amžiaus grupes visoms medžių rūšims Aukštaitijos MS (X ašis – negyvos medienos amžius).

Fig. 3. Bar chart showing the distribution of deadwood decay stages across age groups for all tree species in Aukštaitijos KMS (x-axis: deadwood age).

Aukštaitijos KMS jauniausiose amžiaus grupėse dominavo 1 irimo stadija, o didėjant laikui nuo žūties daugėjo 2–3 ir seniausiose grupėse pasirodė pažengusio irimo 5 stadija.

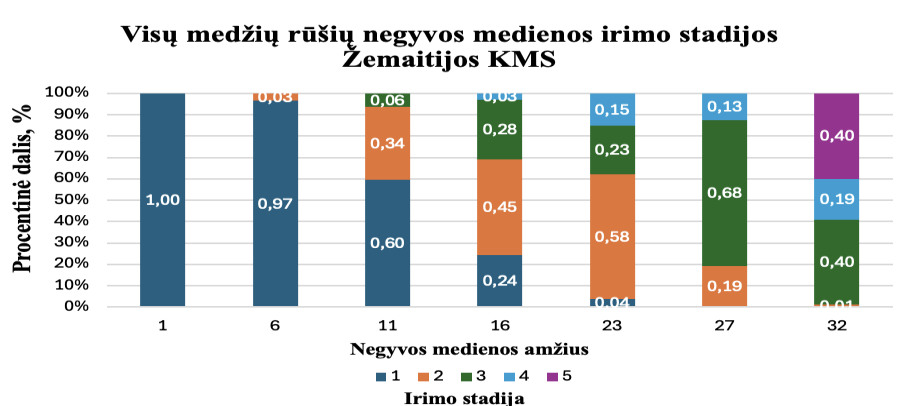
4 paveiksle pateikta visų medžių rūšių negyvos medienos irimo stadijos priklausomybė nuo negyvos medienos amžiaus Aukštaitijos KMS. Grafike matyti, kad didėjant negyvos medienos amžiui, irimo stadija didėjo, tačiau šis kitimas nebuvo vienodas visame amžiaus intervale. Jaunesnėje 0–16 metų grupėje ryšys buvo silpnas ($R^2 = 0,178$), todėl šiame etape irimo stadija didėjo palyginti lėtai. Tuo tarpu 16–36 metų intervale nustatyta gerokai aiškesnė didėjimo tendencija ($R^2 = 0,779$), rodanti, kad vėlesniu laikotarpiu irimo procesas vyko nuosekliau ir sparčiau. Tai leidžia teigti, kad Aukštaitijos KMS negyvos medienos irimo eiga buvo ypač ryški vėlesnėse žūties amžiaus grupėse.



4 pav. Sklaidos diagrama – negyvos medienos irimo stadijų pasiskirstymas pagal amžiaus grupes visoms medžių rūšims Aukštaitijos KMS.

Fig. 4. Deadwood decay stages according to time since death for all tree species in Aukštaitijos KMS.

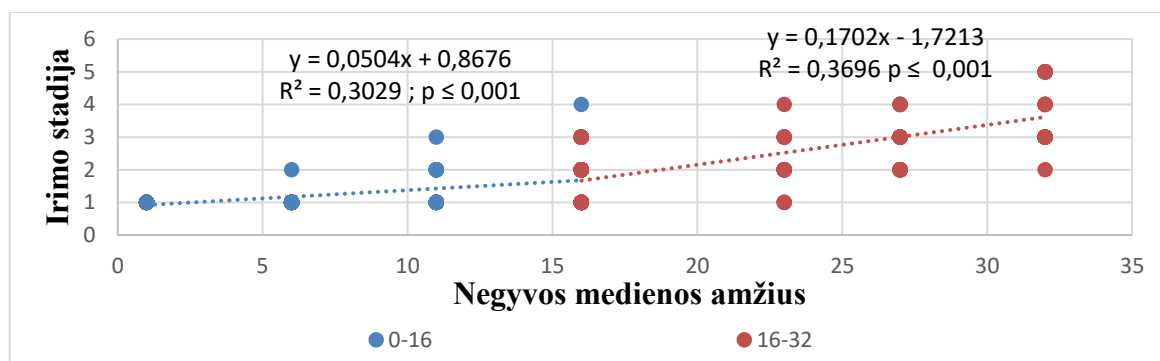
5 paveiksle pateikta visų medžių rūšių negyvos medienos irimo stadijų struktūra pagal žūties amžių. Jauniausiose grupėse dominavo 1 stadija, vidutinėse daugėjo 2–3, o seniausiose pasirodė pažengusio 5 irimo stadijos.



5 pav. Stulpelinė diagrama – negyvos medienos irimo stadijų pasiskirstymas pagal amžiaus grupes visoms medžių rūšims Žemaitijos KMS.

Fig. 5. Bar chart showing the distribution of deadwood decay stages across age groups for all tree species in Žemaitijos KMS.

6 paveiksle pateikta visų medžių rūšių negyvos medienos irimo stadijos priklausomybė nuo negyvos medienos amžiaus Žemaitijos KMS. Grafike matyti, kad didėjant negyvos medienos amžiui, irimo stadija taip pat didėjo, tačiau ši tendencija buvo vidutinio stiprumo. Jaunesnėje 0–16 metų grupėje ryšys buvo silpnas ($R^2 = 0,3029$), o 16–32 metų intervale taip pat nustatyta didėjimo tendencija ($R^2 = 0,3696$), tačiau ji buvo ne tokia ryški kaip Aukštaitijos KMS. Tai rodo, kad Žemaitijos KMS irimo procesas vyko nuosekliai, tačiau irimo stadijų didėjimas tarp amžiaus grupių buvo tolygesnis ir mažiau išreikštas negu Aukštaitijos KMS.



6 pav. Sklaidos diagrama – negyvos medienos irimo stadijų pasiskirstymas pagal amžiaus grupes medžių rūšims Žemaitijos KMS.
Fig. 6. Deadwood decay stages according to time since death for all tree species in Žemaitijos KMS.

1 lentelėje pateikta negyvos medienos kokybinė struktūra pagal irimo stadijas skirtingose medžių rūšių grupėse Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS. Aukštaitijos KMS paprastosios eglės (*Picea abies* L.) ir lapuočių grupėse vyravo pirmą irimo stadiją, o paprastosios pušies (*Pinus sylvestris* L.) grupėje didžiausią dalį sudarė ketvirta ir penkta stadijos. Žemaitijos KMS paprastosios eglės (*Picea abies* L.) ir lapuočių grupėse taip pat dominavo pirmą stadiją, o paprastosios pušies (*Pinus sylvestris* L.) grupėje – antra ir trečia stadijos. Apskritai Aukštaitijos KMS nustatyta didesnė labiau suirusios negyvos medienos dalis, ypač paprastosios pušies (*Pinus sylvestris* L.) grupėje, o Žemaitijos KMS vyravo mažiau pažengusio suirimo stadijos.

1 lentelė. Negyvos medienos kokybinė struktūra pagal irimo stadijas skirtingose medžių rūšių grupėse Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS.
Table 1. Qualitative structure of deadwood by decay stages in different tree species groups in Aukštaitijos and Žemaitijos KMS.

Kompleksiško monitoringo stotis (KMS)	Medžių rūšis	1 stadija, %	2 stadija, %	3 stadija, %	4 stadija, %	5 stadija, %
Aukštaitija	Paprastoji eglė (<i>Picea abies</i> L.)	37,22	12,64	10,51	4,69	34,94
	Paprastoji pušis (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	11,21	6,54	17,76	31,78	32,71
	Lapuočiai	37,33	21,33	13,33	14,67	13,33
Žemaitija	Paprastoji eglė (<i>Picea abies</i> L.)	54,07	17,73	21,22	3,78	3,2
	Paprastoji pušis (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	17,65	32,35	32,35	8,82	8,82
	Lapuočiai	52,78	19,44	13,89	11,11	2,78

Negyvos medienos irimo sąsajos su klimato rodikliais Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS

Analizė parodė, kad negyvos medienos irimo stadija abiejose kompleksinio monitoringo stotyse buvo statistiškai reikšmingai susijusi su temperatūros ir kritulių rodikliais, tačiau ryšių pobūdis tarp regionų skyrėsi. Aukštaitijos KMS visose medžių rūšių grupėse stipriausios sąsajos nustatytos su praėjusių metų birželio–rugpjūčio krituliais ir einamųjų metų vidutine metine temperatūra; ryšiai buvo neigiami. Stipriausias ryšys paprastosios eglės grupėje nustatytas su praėjusių metų birželio–rugpjūčio krituliais ($R = -0,861$; $R^2 = 0,742$; $p < 0,0001$), t. y. didesni krituliai siejosi su žemesne irimo stadija.

Žemaitijos KMS ryškesnės buvo sąsajos su temperatūros rodikliais, ypač su praėjusių metų birželio–rugpjūčio temperatūra; stipriausias ryšys nustatytas paprastosios eglės grupėje ($R = -0,832$; $R^2 = 0,693$; $p < 0,0001$). Be to, kai kuriais atvejais (ypač eglės ir lapuočių grupėse) fiksuotos teigiamos sąsajos su einamųjų metų kritulių rodikliais, rodančios galimą drėgmės režimo svarbą irimo procesui.

Regresinė analizė parodė, kad abiejose KMS pagrindinis irimo stadijos kitimą aiškinantis veiksnys buvo laikas nuo medžio žūties, o klimato rodikliai kai kuriais atvejais turėjo papildomą, tačiau silpnesnį poveikį. Apibendrinant, Aukštaitijos KMS irimo stadija labiau siejosi su kritulių režimu, o Žemaitijos KMS – su temperatūros rodikliais.

Išvados

1. Tiriamuoju laikotarpiu abiejose KMS ryškiausias klimato kaitos požymis buvo statistiškai reikšmingas vidutinės metinės oro temperatūros didėjimas, o metinių kritulių kaita buvo mažiau nuosekli ir labiau priklausė nuo tarpmetinių svyravimų.

2. Negyvos medienos kokybinė struktūra pagal irimo stadijas Aukštaitijos ir Žemaitijos KMS skyrėsi tarp regionų ir medžių rūšių grupių: Aukštaitijos KMS didesnę dalį sudarė labiau pažengusio suirimo negyva mediena, ypač paprastosios pušies (*Pinus sylvestris* L.) grupėje, o Žemaitijos KMS vyravo mažiau pažengusio suirimo stadijos, ypač paprastosios eglės (*Picea abies* L.) ir lapuočių grupėse. Didėjant laikui nuo žūties, abiejuose KMS irimo stadija nuosekliai didėjo.

3. Negyvos medienos irimo stadija abiejuose KMS buvo statistiškai reikšmingai susijusi su klimato rodikliais, tačiau sąsajos skyrėsi. Aukštaitijos KMS ryškesni buvo neigiami ryšiai su kritulių ir temperatūros rodikliais, ypač praėjusių metų vasaros krituliais, o Žemaitijos KMS – ryšiai su temperatūros rodikliais, ypač praėjusių metų birželio–rugpjūčio mėnesių temperatūra. Regresinė analizė parodė, kad pagrindinis negyvos medienos irimo stadijos kitimą aiškinantis veiksnys abiejuose KMS buvo laikas nuo žūties, o klimato rodiklių poveikis buvo papildomai aiškinantis veiksnys.

Literatūra

1. Aakala, T., Storaunet, K. O., Jonsson, B. G., & Korhonen, K. T. (2024). Drivers of snag fall rates in Fennoscandian boreal forests. *Journal of Applied Ecology*, 61(8), 1815–1827. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14729>
2. Augustynczyk, A. L. D., Gusti, M., Di Fulvio, F., Pilli, R., Forsell, N., Verkerk, P. J., & Blujdea, V. N. B. (2024). Modelling the effects of climate and management on the distribution of deadwood in European forests. *Journal of Environmental Management*, 370, 120382. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120382>
3. Chagnon, C., Moreau, G., Bombardier-Cauffopé, C., Barrette, J., Havreljuk, F., et al. (2022). Broad-scale wood degradation dynamics in the face of climate change: A meta-analysis. *GCB Bioenergy*, 14(10), 1190–1207. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12951>
4. Harmon, M. E., Fasth, B., Yatskov, M., Kastendick, D., Rock, J., & Woodall, C. W. (2020). Release of coarse woody detritus-related carbon: A synthesis across forest biomes. *Carbon Balance and Management*, 15, Article 1. <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0136-6>
5. Herrmann, S., & Bauhus, J. (2013). Effects of moisture, temperature and decomposition stage on respirational carbon loss from coarse woody debris (CWD) of important European tree species. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 28(4), 346–357. <https://doi.org/10.1080/02827581.2012.747622>
6. Khanina, L., Bobrovsky, M., Smirnov, V., & Romanov, M. (2023). *Wood decomposition, carbon, nitrogen, and pH values in logs of eight tree species 14 and 15 years after a catastrophic windthrow in a mesic broad-leaved forest in the East European Plain*. Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4385421>
7. Oberle, B., Ogle, K., Zanne, A. E., & Woodall, C. W. (2018). When a tree falls: Controls on wood decay predict standing dead tree fall and new risks in changing forests. *PLoS ONE*, 13(5), e0196712. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196712>
8. Pastorelli, R., Paletto, A., Agnelli, A., Lagomarsino, A., De Meo, I., et al. (2020). Microbial communities associated with decomposing deadwood of downy birch in a natural forest in Khibiny Mountains (Kola Peninsula, Russian Federation). *Forest Ecology and Management*, 455, 117643. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117643>
9. Rinne-Garmston, K., Peltoniemi, K., Chen, J., Peltoniemi, M., Fritze, H., & Mäkipää, R. (2019). Carbon flux from decomposing wood and its dependency on temperature, wood N₂ fixation rate, moisture and fungal composition in a Norway spruce forest. *Global Change Biology*, 25(5), 1858–1872. <https://doi.org/10.1111/gcb.14544>

QUALITATIVE STRUCTURE OF DEADWOOD BY DECAY STAGES AND ITS ASSOCIATIONS WITH CLIMATE INDICATORS IN THE AUKŠTAITIJA AND ŽEMAITIJA INTEGRATED MONITORING STATIONS

Abstract

Deadwood is a key structural component of forest ecosystems, influencing carbon cycling and habitat availability, while its decomposition is driven by wood traits and climatic conditions. This study assessed the current qualitative structure of deadwood by decay stages (1–5) in the Aukštaitija and Žemaitija Integrated Monitoring Stations (KMS) and tested associations between decay stage and climate indicators. Annual meteorological data (temperature and precipitation; 1993–2025) were combined with deadwood inventory records collected during the 2025 field campaign (tree group, diameter, decay stage, and time since death). Deadwood structure was summarized across age classes, and climate links were evaluated using correlation and regression approaches. In both KMS, the clearest climate-change signal was a significant increase in mean annual air temperature, whereas annual precipitation showed high interannual variability without a consistent trend. Decay stage increased with time since death, but the distribution of stages differed among regions and tree groups. Climate variables were sometimes significantly related to decay stage; however, time since death remained the dominant explanatory factor in regression models. These results provide a regional baseline for interpreting deadwood decomposition in long-term monitoring sites and highlight contrasting temperature- versus precipitation-linked patterns between KMS.

Keywords: deadwood, decay stage, decomposition, temperature, precipitation.