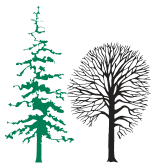




# Silva Slovenica

Studia Forestalia Slovenica

182



GOZDARSKI INŠTITUT SLOVENIJE  
SLOVENIAN FORESTRY INSTITUTE



Univerza v Ljubljani  
*Biotehniška* fakulteta



Znanstveno srečanje

*GOZD in LES v času in prostoru*



Ljubljana, 25. maj 2022



Silva  
Slovenica

Zbirka Studia Forestalia Slovenica, št. 182  
ISSN 0353-6025

**Izdajatelj:**

Gozdarski inštitut Slovenije,  
Založba Silva Slovenica, 2022

**Naslov:**

GOZD in LES v času in prostoru

**Glavna urednika:**

prof. dr. Hojka Kraigher,  
prof. dr. Miha Humar

**Uredniški odbor zbornika:**

prof. dr. Miha Humar, prof. dr. Hojka Kraigher,  
dr. Jožica Gričar, doc. dr. Primož Simončič

**Tehnična urednica:**

mag. Katja Sonnenschein

**Tisk:** Mediaplan8 d.o.o.

**Izdaja:** 1. izdaja

**Naklada:** 50 izvodov

**Cena:** brezplačno

**DOI 10.20315/SFS.182**

**Sofinanciranje:**

Srečanje in izdajo zbornika finančno podpira  
projekt LIFE SySTEMiC, sofinanciran iz programa  
LIFE, MOP, MKGP in GIS



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA KMETIJSTVO,  
GOZDARSTVO IN PREHRANO



ARRS  
JAVNA AGENCIJA ZA RAZISKOVALNO DEJAVNOST  
REPUBLIKE SLOVENIJE

CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

630(082)  
674(082)

ZNANSTVENO srečanje Gozd in les (2022 ; Ljubljana)

Gozd in les v času in prostoru : Znanstveno srečanje Gozd in les 2022 : Ljubljana, 25. maj 2022 / [glavna urednika Hojka Kraigher, Miha Humar]. - 1. izd. - Ljubljana : Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica, 2022. - (Studia Forestalia Slovenica ; 182)

ISBN 978-961-6993-76-0  
COBISS.SI-ID 108657411



## ZNANSTVENO SREČANJE

# ***GOZD in LES v času in prostoru***

Sreda, 25. 5. 2022, od 9.00 do 14.30

v veliki dvorani Gozdarskega inštituta Slovenije (Večna pot 2, Ljubljana), s prenosom po spletu

V okviru evropskega zelenega dogovora si je EU z evropskim podnebnim zakonom zastavila zavezujoč cilj, da do leta 2050 doseže podnebno nevtralnost, do leta 2030 pa kot vmesni korak zmanjša emisije toplogrednih plinov za vsaj 55 odstotkov glede na leto 1990. EU v okviru tako imenovanega svežnja *Pripravljeni za 55* pripravlja revizijo podnebne, energetske in prometne zakonodaje, da bi sedanjo zakonodajo uskladila s cilji za leti 2030 in 2050. Pomemben del tega zakonodajnega paketa se dotika tudi energetske rabe lesa. Zadnja zahteva uravnoteženo rabo lesa, in sicer za lesene izdelke, ki shranjujejo CO<sub>2</sub>, in za obnovljiv vir energije ob vzdržnem upravljanju gozdov. Brez gozda ni lesa! Ob hitrih podnebnih spremembah je razvoj gozdov čedalje bolj odvisen od aktivnega prispevka gozdarjev k načrtovanju ustrezno pestrih in prilagodljivih gozdov za negotove razmere v prihodnosti. Ob 75-letnici Gozdarskega inštituta Slovenije in Biotehniške fakultete se raziskovalci srečujemo z izzivi raziskovalne, inovacijske, načrtovalske, tehnološke, socio-ekonomske narave, ki zahtevajo celosten prenos znanj in komunikacijo med znanostjo, prakso, politiko in javnostjo. Znanstveno srečanje *GOZD in LES v času in prostoru* bo letos posvečeno pregledu stanja in obnove gozdov, trendom razvoja in nevarnostim za gozd ter lastnostim lesa. Končali ga bomo z okroglo mizo o pomenu lesa za biogospodarstvo in energetske strategije Slovenije. Prihodnost je v usklajevanju, uravnoteženi rabi lesa in spodbujanju v prihodnost usmerjenih procesov v naravi in družbi!

Moderatorja: Hojka Kraigher, GIS in Miha Humar, BF, UL

# PROGRAM ZNANSTVENEGA SREČANJA

9.00–9.05	Pozdrav gostitelja: Primož Simončič, direktor Gozdarskega inštituta Slovenije
9.05–9.15	Pozdravne besede: Robert Režonja, MKGP, gen. direktor Direktorata za gozdarstvo in lovstvo Nataša Poklar Ulrih, dekanja Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani
9.15–9.30	Odprtje srečanja: akademik Mitja Zupančič, SAZU
9.30–10.30	<b>Vabljeni predavanja</b> Moderator Robert Brus, BF UL
9.30–9.50	Matteo Cerioni et al.: Empirical studies on the resilience of European temperate forests to large and severe disturbances
9.50–10.10	Marjana Westergren et al.: Center za semenarstvo, drevničarstvo in varstvo gozdov: prispevek k razvoju Gozdarskega inštituta Slovenije in gozdarske znanosti
10.10–10.30	Jure Žigon: Potencial uporabe atmosferske zračne plazme za doseganje kakovostnejšega premazovanja in lepljenja lesa
10.30–11.00	<i>Odmor</i>
11.00–12.00	<b>Predstavitve plakatov in izbranih projektov</b> Moderatorica Jožica Gričar, GIS
12.00–13.00	<i>Kosilo</i>
13.00–14.30	<b>Okrogla miza:</b> <b>Prihodnost OVE v Energetski strategiji Slovenije s poudarkom na biomasi iz gozda</b> Moderatorja: Miha Humar, BF UL in Andrej Breznikar, ZGS
	Jožica Gričar, GIS: Povzetek sklepnih misli SAZU posveta Podnebne spremembe in biogospodarstvo: izzivi in priložnosti slovenske gozdno-lesne verige Drago Babič, Svet za razvoj SAZU Nike Krajnc, GIS Stane Merše, IJS Jože Mori, ZGS Dušan Plut, Svet za varovanje okolja SAZU Primož Simončič, GIS Črtomir Tavzes, Innorenew Niko Torelli, Svet za varovanje okolja SAZU Franc Žlahtič, Svet za energetiko SAZU

## Prireditelji:

Programska skupina Gozdna biologija, ekologija in tehnologija, prof. dr. Hojka Kraigher, Programska skupina Les in lignocelulozni kompoziti, prof. dr. Miha Humar, Programska skupina Gozdno-lesna veriga in podnebne spremembe: prehod v krožno biogospodarstvo, dr. Jožica Gričar, v sodelovanju s IV. razredom za naravoslovne vede in Svetom za varovanje okolja Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Gozdarskim inštitutom Slovenije in Biotehniško fakulteto Univerze v Ljubljani.

## Organizacija:

Katja Sonnenschein (katja.sonnenschein@gozdis.si) in Darja Rogelj (darja.rogelj@sazu.si)

Srečanje finančno podpira projekt LIFE SySTEMiC, sofinanciran iz programa LIFE, MOP, MKGP in GIS.



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA KMETIJSTVO,  
GOZDARSTVO IN PREHRANO



# KAZALO

## PREDGOVOR

- 7 Gozd – soustvarjalec kulturne dediščine  
*Akad. dr. Mitja Zupančič*

## PREDAVANJA

- 11 Empirical studies on the resilience of European temperate forests to large and severe disturbances  
*Matteo Cerioni, Gal Fidej, Jurij Diaci, Thomas Andrew Nagel*
- 14 Center za semenarstvo, drevesničarstvo in varstvo gozdov: prispevek k razvoju Gozdarskega inštituta Slovenije in gozdarske znanosti  
*Marjana Westergren, Hojka Kraigher, Barbara Piškur in Simona Kosi*
- 16 Potencial uporabe atmosferske zračne plazme za doseganje kakovostnejšega premazovanja in lepljenja lesa  
*Jure Žigon*

## PLAKATI

- 19 Trendi in spremembe v slovenskih gozdovih: rezultati velikoprostorskega monitoringa gozdov  
*Anže Martin Pintar, Jernej Jevšenak, Gal Kušar, Aleš Poljanec in Mitja Skudnik*
- 21 Primerjava lesnoanatomskih značilnosti pri izbranih proveniencah bukve v Sloveniji in na Madžarskem  
*Domen Arnič, Jožica Gričar, Luka Krajnc, Peter Prislan, Gregor Božič, Marjana Westergren, Csaba Mátyás, Hojka Kraigher*
- 27 Primerjava gostote lesa korenin, vej in debla pri puhastem hrastu  
*Luka Krajnc, Polona Hafner, Jožica Gričar*
- 29 *Eutypella parasitica* in druge najpogosteje izolirane vrste gliv v lesu odmrlih vejah gorskega javorja  
*Ana Brglez, Barbara Piškur, Jožica Gričar, Miha Humar in Nikica Ogris*
- 31 Učinkovitost dveh različnih tipov pasti pri lovljenju hroščev iz rodu *Agrilus* v hrastovem sestoj  
*Eva Groznik, Maarten De Groot, Tine Hauptman in David Williams*
- 33 Monitoring vlažnosti lesa v odvisnosti od okolja izpostavitve v Sloveniji  
*Blaž Jemec, Boštjan Lesar, Miha Humar*
- 35 Optimizacija pogojev ekstrakcije za določanje vsebnosti polifenolov v lesu, izpostavljenem vremenskim vplivom  
*Eli Keržič, Miha Humar, Viljem Vek*
- 39 Mineralizacija lesa s spojinami na osnovi karbonatov za izboljšane bistvene značilnosti materiala  
*Andreja Pondelak, Friderik Knez, Nataša Knez, Tomaž Pazlar, in Andrijana Sever Škapin*
- 41 Izkoriščanje dimenzijskih sprememb lesno-plastičnih kompozitov za 4D-tisk  
*Daša Krapež Tomec, Matevž Kokot in Mirko Kariž*

**PRISPEVKI ZA OKROGLO MIZO**

- 47 ZNANSTVENO SREČANJE Podnebne spremembe in biogospodarstvo: izzivi in priložnosti slovenske gozdno-lesne verige  
*Jožica Gričar, Miha Humar, Luka Krajnc, Janez Krč, Andreja Kutnar, Boštjan Mali, Sergej Medved, Igor Milavec, Barbara Piškur, Dušan Plut, Andreja Pondelak, Peter Prislán, Primož Simončič, Nikolaj Torelli, Mitja Zupančič, Hojka Kraigher*
- 50 Strategija razvoja elektroenergetsko-podnebnega sistema Slovenije do leta 2050  
*Aleksander Mervar, Dejan Paravan, Jože P. Damijan, Drago Babič, Tamara Lah Turnšek s Skupino za naravovarstvo in biodiverzitetu (Izidor Ostan Ožbolt, Darja Stanič, Al Vrezec, Tina Eleršek in Nina Bodanaršek), Delovna skupina SAZU*
- 52 Kako bomo dosegli ogljično nevtralnost in energetska neodvisnost, če ne podpiramo rabe lesa v energetske namene?  
*Nike Krajnc*
- 53 Lesna biomasa je največji obnovljivi vir energije v Sloveniji  
*Stane Merše*
- 54 Podmene globinsko sonaravne energetske strategije Slovenije  
*Dušan Plut*
- 56 Gospodarjenje z gozdnim ogljikom in raba lesa v kontekstu blaženja podnebnih sprememb  
*Niko Torelli*
- 58 Preudarna raba lesne biomase v energetske namene  
*Franc Žlahtič in Alojz Poredoš*

# PREDGOVOR

## Gozd – soustvarjalec kulturne dediščine

**Akad. dr. Mitja Zupančič**

Slovenci smo zelo povezani z gozdom, ki pokriva približno 60 odstotkov površine Slovenije. Razširjen je od naših Alp s predalpskim območjem do submediterana in dinarske pregrade s preddinarskim svetom. Poznamo več definicij gozda, izbrali pa smo štiri, ki so nam blizu po stroki, in sicer: Gozdarski slovar (1970) ga kratko in jedrnato opredeli: **»Gozd je skupnost gozdnega drevja.«** V Slovarju slovenskega knjižnega jezika (1970) piše nekaj več: **»Gozd je z drevjem porasel svet; je drevje, ki raste strnjeno skupaj.«** Enciklopedija Slovenije (3, 1989: 334, Mlinšek, Robič, Gregori in Zupančič) ima naslednjo definicijo: **»Gozd je življenjska združba rastlin in živali z ustrežno klimo, tlemi in fiziognomijo (sklenjeno gozdno drevje). V podnebnju Slovenije je gozd popoln naravni ekosistem in pomemben obnavljavec energije.«** V Botaničnem terminološkem slovarju (2011: 168, ur. Batič in ur. Košmrlj-Levačič) je zapisana definicija: **»Gozd je vegetacija, ki jo v zgornjem sloju (pasu, op. avtorja) sestavljajo drevesa navadno različnih vrst, v spodnjem pasu pa podrast z lesnatimi in zelnatimi vrstami.«** Ljudskemu pogovornemu jeziku je najbližja definicija iz Gozdarskega slovarja, ki navaja pomen gozda za pridobivanje lesne mase za različne gospodarske potrebe, ohranjanje podnebnih razmer, skladiščenje ogljikovega dioksida, obnavljanje energetskih virov, socialni vidik ipd.

Vendar **gozd** ni samo to, temveč je tudi soustvarjalec kulturne dediščine. Leta 1983 je izšla posodobljena Ramovševa Karta slovenskih narečij (Logar in Rigler, 1983, Logar, 1975, 1993), pri kateri mi je pozornost vzbudila določena podobnost med Wrabrovo (1969) oz. dopolnjeno fitocenološko karto Slovenije (Zupančič et al.; Zupančič in Žagar, 1995). Že na prvi pogled sem opazil, da se meje narečne in fitogeografske karte bolj ali manj ujemajo. Natančnejša primerjava je to potrdila, zlasti z dopolnjeno fitogeografsko karto z distrikti. Predvsem je lepo vidno ujemanje z alpskim, dinarskim, submediteranskim in subpanonskim fitogeografskim območjem. Nekoliko manj je prekrivnosti s preddinarskim in predalpskim fitocenološkim območjem, ki se zlivata v dinarsko oziroma alpsko fitocenološko območje. Dokaj dobro se skladajo meje fitocenološke in Vurnikove (1929) narečne karte.

Podobna razporeditev je v metodi raziskav umetnostne zgodovine. Tu moramo omeniti vrsto pogovorov z akademikom Emilijanom Cevcem o povezavi med umetnostno zgodovino in botaniko. E. Cevcu naravoslovje ni bilo neznano, saj se je, predvsem v mladosti, ukvarjal z biološkimi pojavi (E. Cevc 1946, 1948, 1950, 1966, 1996, 2000). Pri svojih umetnostnozgodovinskih raziskavah je vedno navajal vplive z juga (Mediteran) ali vplive iz alpskega, panonskega in dinarskega območja. V teh vplivih sem videl povezavo s fitogeografsko delitvijo Slovenije.

Podobne primerjave so tudi na področju etnologije, natančnejše materialne etnologije, v zvezi z gradnjo stavb, zlasti pastirskih stanov. Intenzivnejši vplivi pastirskih stanov prihajajo s severa Alp in juga Dinaridov.

Ugotovili smo, da imajo fitogeografske raziskave in raziskave slovenskih narečij, umetnostne zgodovine in (materialne) etnologije nekatere skupne točke. Za vsa našeta humanistična področja so značilni dejavniki: geografski položaj prostora, orografska razvejenost, **gozdnatost**, v kateri se zrcalijo oblike vegetacije oziroma prevladujoča drevesna vrsta in njena uporabnost, način življenja v prostoru, ki ga narekujejo naravne danosti: podnebje, geološka podlaga, hidrologija, flora, vegetacija in s tem izraba prostora. Geografski položaj je hote ali nehote oblikovan v določenem prostoru z naravnimi posebnostmi, te pa oblikujejo ali celo določajo pot socialni ureditvi, ki se kaže v načinu življenja, materialni ureditvi prostora, navadah, običajih, jeziku in celo umetnosti (Zupančič in Smole 1997: 56).

Pregrade, gorstva, **gozdovi** in reke so oblikovali območja, ki jih sistematiziramo, da jih naš razum lažje dojame, so pa umetna in naravi vsiljena. V teh razmerah so se ustvarili navade in jezik (Zupančič in Smole 1997: 57).

**Gozd** je narekoval način življenja v določenem okolju oz. prostoru ali območju, ponujal je les za gradnjo, za umetniške stvaritve ali izdelavo vozil, orodja, za kmečke, obrtniške ali celo industrijske naprave. Človek je uporabljal les, ki mu je bil na voljo, da je ustvarjal zase potrebne predmete. V alpskem fitogeografskem območju je uporabljal les macesna in smreke, v predalpskem les gradna, bukve, belega gabra in rdečega bora, v dinarskem les jelke in bukve, v preddinarskem les bukve, hrastov, črnega bora in belega gabra, v subpanonskem les hrastov, rdečega bora, jesenov in jelše, v submediteranskem predvsem kamen in deloma les hrastov (puhastega hrasta, gradna, cera) in črnega gabra, ki pa je bil za gradnjo manj primeren zaradi rasti.

Z uporabo določene vrste lesa in z **bivanjem z gozdom** z določenimi vrstami drevja so se oblikovale navade in jezik. Tone Cevc (1990: 55) v sklepnih spoznanjih pravi: »Kmečka hiša na Slovenskem je dozorela v posebnih zemljepisnih, zgodovinskih, kulturnih in tudi gospodarskih razmerah v več tipov.« Njegovo spoznanje se naslanja na ugotovitve Murka (1906), Vurnika (1929) in Novaka (1958, 1970, 1980, 1990). Slutimo podobnosti tudi v etnomuzikologiji in morda celo v književnosti (Mantuani in Vurnik v Novak, 1958).

Vrnimo se k primerjavi med Karto slovenskih narečij in fitogeografsko karto Slovenije.

Vzemimo za primer alpsko fitogeografsko območje. V tem območju so rožansko, mežiško, ziljsko, podjunsko, obirsko in severno pohorsko-remšniško narečje. Ta narečja so se razvila samo v alpskem fitogeografskem območju in so značilna zanj. Območje je slabo prehodno, saj prehodnost onemogočajo relief, orografija in **velika gozdnatost**. Tako je preprečeno širjenje omenjenih narečij.

Ujemanje med kartama je lepo razvidno tudi v dinarskem fitogeografskem območju, kjer so naslednja narečja: notranjsko, dolensko, cerkniško in črnovrško. Tudi to območje je slabše prehodno, razen kraških dolin, ki pa so obkrožene z gozdnatim hribovjem. Razen dolenskega narečja so druga omenjena specifična za to območje. Seveda je tudi dolensko narečje tu specifično, toda to se širi v preddinarsko fitogeografsko območje, ki ima nekatere podobnosti z dinarskim.

Karti se bolj ali manj ujemata tudi v drugih fitogeografskih območjih z narečji.

Za primerjavo ujemanja med fitogeografskim območjem in leksemi naj za primerjavo vzamemo besedo **gozd**. Zelo razširjen je leksem<sup>1</sup> **gozd**, ki pa ga ne uporabljajo prebivalci v predalpskem in subpanonskem fitogeografskem območju. Zelo pogost je v rabi dinarskega in preddinarskega fitogeografskega območja. V alpskem fitogeografskem območju prevladuje leksem **les**, na zahodu območja **gmajna**, njegova raba pa se širi na zahod predalpskega fitogeografskega območja. Za predalpsko območje se uporabljajo še leksemi **gošča**, **šuma** (vzhodni del območja), **boršt** in **hosta**, ki je v uporabi tudi v preddinarskem in subpanonskem fitogeografskem območju. Za vzhod preddinarskega fitogeografskega območja je značilen leksem **loza**. V dinarskem fitogeografskem območju prevladuje leksem **gozd**, na zahodu območja pa uporabljajo leksem **meja**. Submediteransko fitogeografsko območje je bogato z leksemi, ki so specifični za to območje, to so **bošk**, **gora** in **reber**, uporablja pa se tudi leksem **gozd**. Tudi subpanonsko fitogeografsko območje ima svoja posebna leksema **log** in **šuma**, prisoten je tudi leksem gozd. Našteti leksemi se še bolje ujemajo z mejami distriktov znotraj fitogeografskih območij.

**Gozd** na naše življenje vpliva na več ravneh. Ni le dobrina, ki daje gradivo za gradnjo domov in drugih poslopij, ki so sestavni del naših domov, ali gorivo – obnovljiva energijska masa ali trgovsko blago. **Gozd** je sooblikovalec našega življenja in navad, ki s svojo površino in rastjo pospešuje tok našega življenja in nam sokroji način govora, ustvarjalno kulturo, umetnost v vsej njeni širini – od pesmi, pripovedi, likovnosti, etnologije do ustvarjanja materialne kulture – sloga naših domov in drugih življenjskih poslopij. **Gozd** je lahko s svojo veliko razširjenostjo in neprehodnostjo tudi zaviralec prehajanja življenjskih dobrin, kar povzroča velike življenjske omejitve in zaprtost v svet, ki omejuje razvoj življenja in ostaja v svoji specifičnosti – posebnosti.

1 Leksem je enota jezikovnega sistema.



**Viri:**

- Botanični terminološki slovar (ur. F. Batič in ur. M. Košmrlj-Levačič). Ljubljana, 2011: 168.
- Gozdarski slovar (ur. M. Brinar). Ljubljana, 1970: 61.
- Mlinšek D., D. Robič, J. Gregori in M. Zupančič. Gozd. Enciklopedija Slovenije, Ljubljana 1989: 3.
- Slovar slovenskega knjižnega jezika, 1970. Ljubljana A–H: 700.
- Vurnik, S., 1929: Kmečka hiša Slovencev na južnovzhodnem pobočju Alp. Etnolog (Ljubljana) 3: 70–71.
- Wraber, M., 1969: Pflanzengeographische Stellung und Gliederung Sloweniens. Vegetation The Hague 17 (1–6): 176–199.
- Zupančič, M. in V. Žagar: New views about the phytogeographic division of Slovenia, I. Razprave 4. razr. SAZU (Ljubljana) 36 (1): 3–30.
- Zupančič, M. in V. Smole, 1997: Primerjava med kartami fitogeografskih, dialektoloških in etnoloških območij Slovenije. Traditiones (Ljubljana) 26: 49–61.
- Zupančič, M. in V. Smole, 1999: Fitogeografska delitev Slovenije in leksična raznolikost slovenskih narečij. Traditiones (Ljubljana) 28(1): 259–268 + priloge.
- Zupančič, M., 2000: Prijateljstvo, naravoslovje, umetnostna zgodovina. Vita artis perennis. Ob osemdesetletnici akademika Emilijana Cevca (Ljubljana): 51–58.
- Zupančič, M. in B. Vreš, 2018: Phytogeographic analysis of Slovenia. Folia biologica et geologia (Ljubljana) 59 (2): 159–211.

**Zahvala:**

Zahvaljujem se ge. Ani Batič za urejanje rokopisa v elektronski obliki.



# PREDAVANJA

## Empirical studies on the resilience of European temperate forests to large and severe disturbances

**Matteo Cerioni<sup>1</sup>, Gal Fidej<sup>1</sup>, Jurij Diaci<sup>1</sup>, Thomas Andrew Nagel<sup>1</sup>**

1 Department of Forestry and Renewable Forest Resources, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, Slovenia

E-naslov: matteo.cerioni@bf.uni-lj.si

### Highlights:

- In the Slovenian context, post-windthrow regeneration densities were generally adequate for replacing the pre-disturbance stands, but lower compared to those documented in similar managed and unmanaged forests.
- Altitude and competition by ground vegetation negatively affected regeneration density, influence of browsing was poor and species-specific.
- Initial post-windthrow regeneration cover was indicative of the mid-term trajectories, concerning regeneration density and composition, while the early benefits of post-disturbance planting decreased over time.

### Keynote lecture:

#### Context and research questions:

Resilience can be defined as the ability of an ecosystem to absorb the impact of a disturbance (resistance), and bounce back to the initial conditions once the disturbance ceases (recovery) (Nikinmaa et al. 2020). Present global change threatens the resilience of temperate forests and their provision of ecosystem services to society, by exacerbating disturbance regimes and altering their recovery dynamics (Anderson-Teixeira et al. 2013, Seidl et al. 2017). Examples of low resilience to large and severe disturbances have already been documented in North America, particularly when wildfires were followed by unfavorable environmental conditions (i.e. extreme droughts in dry topographic positions) and low seed production and supply, as a consequence of severity and size of the disturbances, respectively. These disturbances have the potential to trigger a shift in ecosystem type as a result of tree regeneration failures (Stevens-Rumann and Morgan 2019). However, in the temperate region of Europe, where forests have been historically driven by a relatively small-scale and low to moderate intensity disturbance regime (Nagel et al. 2014, 2021), it is less clear if forest recovery is hindered beyond a certain disturbance size and severity threshold. The overall goal of my PhD research is to provide a better understanding of recovery after large and severe disturbances in the context of European temperate forests, assessing tree regeneration characteristics and its drivers, including forest management, environmental conditions, and biotic interactions with other vegetation and ungulates. More specifically, in the Slovenian context, we focused on the temporal dynamics of the recovery process, assessing how regeneration densities, composition and its drivers varied over time. Currently we are trying to generalize patterns and drivers of recovery after large and severe disturbances (defined as larger than 1 ha and causing mortality above 70 % of the total volume) across different disturbance agents and management types, at the European scale.

**Methods:**

We took advantage of a unique dataset of 102 permanent plots that monitor forest recovery after three independent large and severe windthrow events that occurred in summer 2008 in mixed mountain forests stands of Slovenia (Bohor, Črnivec, Trnovski Gozd) (Fidej et al. 2018). Three inventories were carried out over the 11-year post-disturbance period (2012, 2014, 2019), with the main goal of comparing regeneration density, composition, and structure in areas with different post-disturbance management (naturally-regenerated vs. planted, both after salvage logging). In 2012, we used a randomly stratified sampling with the windthrow areas as strata to establish 52 10x10 m plots in the localities where planting occurred, as close as possible to each of which a natural regeneration plot was established. We collected data on site (elevation, slope, aspect), plot distance to the forest edge, coverage of rocks, CWD, trees and ground vegetation, and height of dominant regeneration (individuals taller than 300 cm). Post-disturbance regeneration of each woody species was counted in different size classes, and browsing occurrence was assessed. Ecological drivers of regeneration density, were analyzed using empirical statistical models. Because we sampled multiple plots from the same study sites, we used a series of linear mixed-effects models that include the three sites as random intercepts, to deal with pseudo-replication. We quantitatively assessed physiognomic recovery (sensu Andrus 2020) by comparing raw regeneration densities with the restocking target of 2500 individuals/ha used in forest practice (Bühler 2005). Furthermore, we contextualized our recorded densities by qualitatively comparing them with densities of natural regeneration in managed and unmanaged mixed mountain forests found in the literature.

For the European-scale study, we gathered empirical data on forest recovery after large and severe disturbances across the entire European temperate zone, either by collecting new field data, or receiving already available data from collaborating research groups. Our full dataset includes data on more than 100 sites from 17 research groups, featuring 29 disturbance events (bark beetle, fire, wind) which created patches ranging from 1 to ~500 ha in size. Because most of the data were collected for other purposes than our study, different sampling protocols were used, therefore data harmonization was required. We did it by extracting topographic and bioclimatic variables for every sampled plot from European datasets, such as the Forest and Buildings removed Copernicus DEM (FABDEM, Hawker & Neal 2021) and the Downscaled bioclimatic indicators for selected regions from 1979 to 2018 derived from reanalysis (Wouters et al. 2021). We also standardized regeneration densities by assigning a weight to each tree individual according to its height, following the approach of Vickers et al. (2019). We are planning to analyze regeneration density drivers, including disturbance agent, topography (elevation, aspect, topographic wetness index), bioclimate (growing degree days, aridity index), and management before and after the disturbance (managed vs. unmanaged, post-disturbance planting vs. no planting, post-disturbance logging vs. no logging), using a series of mixed-effects models.

**Results:**

In mountain forests of Slovenia, average post-disturbance regeneration densities tended to converge 11 years after the windthrows, both across sites and post-disturbance treatments, as density of natural regeneration substantially dropped between the second and third inventory. Nonetheless, higher variability was present in areas left to natural regeneration after salvage logging, compared to the planted ones. In the majority of cases the composition of regeneration tended to be made of more pioneer and light-demanding species than that of the pre-disturbance stand, but shares of pioneer, light-demanding, and shade-tolerant tree species remained stable over the three inventories.

Some drivers of recovery varied over time, for instance shrubs and herb cover were positively associated with regeneration density in the first two inventories, while they negatively affected it when the most recent inventory was considered. On the other hand, the influence of elevation on regeneration density was consistently negative. Initial post-windthrow regeneration cover was indicative for mid-term trajectories, concerning regeneration density and composition. Influence of browsing was overall poor, but some species (maple, fir) were particularly affected by ungulates.

Finally, when compared with the restocking target, the analyzed forest sites showed resilience to large-scale wind disturbances, in terms of physiognomic recovery, nonetheless they had lower densities compared to those documented in both managed and unmanaged forests.

## References:

- Anderson-Teixeira, K. J., Miller, A. D., Mohan, J. E., Hudiburg, T. W., Duval, B. D., & DeLucia, E. H. (2013). Altered dynamics of forest recovery under a changing climate. *Global Change Biology*, 19(7), 2001–2021. <https://doi.org/10.1111/gcb.12194>
- Andrus, R. A., Hart, S. J., & Veblen, T. T. (2020). Forest recovery following synchronous outbreaks of spruce and western balsam bark beetle is slowed by ungulate browsing. *Ecology*, 101(5), 1–13. <https://doi.org/10.1002/ecy.2998>
- Bühler, U., (2005). Jungwaldentwicklung als Eingangsgrösse in die Jagdplanung: Erfahrungen aus dem Kanton Graubünden. *Forum für Wissen* 59–65
- Fidej, G., Rozman, A., & Diaci, J. (2018). Drivers of regeneration dynamics following salvage logging and different silvicultural treatments in windthrow areas in Slovenia. *Forest Ecology and Management*, 409(February), 378–389. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.11.046>
- Hawker, L., Neal, J. (2021). FABDEM. <https://doi.org/10.5523/bris.25wfy0f9ukoge2gs7a5mqpq2j7>
- Nagel, T.A., Firm, D., Rozman, A. (2021) Intermediate disturbances are a key driver of long-term tree demography across old-growth temperate forests. *Ecol Evol* 1–12. <https://doi.org/10.1002/ece3.8320>
- Nagel, T.A., Svoboda, M., Kobal, M. (2014) Disturbance, life history traits, and dynamics in an old-growth forest landscape of southeastern Europe. *Ecol Appl* 24:663–679. <https://doi.org/10.1890/13-0632.1>
- Nikinmaa, L., Lindner, M., Cantarello, E., Jump, A. S., Seidl, R., Winkel, G., & Muys, B. (2020). Reviewing the Use of Resilience Concepts in Forest Sciences. *Current Forestry Reports*, 6(2), 61–80. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00110-x>
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M. J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T. A., & Reyer, C. P. O. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7(6), 395–402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>
- Stevens-Rumann, C. S., & Morgan, P. (2019). Tree regeneration following wildfires in the western US: a review. *Fire Ecology*, 15(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0032-1>
- Vickers, L. A., McWilliams, W. H., Knapp, B. O., D'Amato, A. W., Dey, D. C., Dickinson, Y. L., Kabrick, J. M., Kenefic, L. S., Kern, C. C., Larsen, D. R., Royo, A. A., Saunders, M. R., Shifley, S. R., & Westfall, J. A. (2019). Are Current Seedling Demographics Poised to Regenerate Northern US Forests? *Journal of Forestry*, 117(6), 592–612. <https://doi.org/10.1093/jofore/fvz046>
- Wouters, H., Berckmans, J., Maes, R., Vanuytrecht, E., De Ridder, K. (2021). Downscaled bioclimatic indicators for selected regions from 1979 to 2018 derived from reanalysis, version 1.0, (for 1979-2018, Europe). Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), (Accessed on 10-03-2022), DOI: [10.24381/cds.fe90a594](https://doi.org/10.24381/cds.fe90a594)

## Key words:

Resilience – Stand-replacing disturbances – Recovery drivers – Post-disturbance planting

## Acknowledgement:

We thank the forestry students who helped with collecting the field data for the windthrow study, and Professor Dušan Roženbergar for his help with literature on regeneration densities. For the European-scale study, we thank all the researchers contributing to the recovery dataset.

# Center za semenarstvo, drevesničarstvo in varstvo gozdov: prispevek k razvoju Gozdarskega inštituta Slovenije in gozdarske znanosti

**Marjana Westergren,<sup>1</sup> Hojka Kraigher,<sup>1</sup> Barbara Piškur<sup>1</sup> in Simona Kosi<sup>2</sup>**

1 Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana

2 PRO PLAN, Simona Kosi, s. p.

E-naslov: marjana.westergren@gozdis.si

## **Poudarki:**

- Na Gozdarskem inštitutu Slovenije poteka priprava projekta za gradnjo modernega infrastrukturnega centra za semenarstvo, drevesničarstvo in varstvo gozdov, centra SDVG.
- Center SDVG bo vseboval infrastrukturo za raziskave in hiter odziv na potrebe gozdarstva in bo ključen za ohranjanje vseh funkcij gozdov v času hitrih podnebnih in drugih sprememb.
- Center SDVG bo omogočil razvoj znanosti in izboljšanje standardov na področjih semenarstva, drevesničarstva in varstva gozdov.

## **Predavanje:**

V času neizogibnih podnebnih sprememb se morajo gozdovi in drevesa prilagoditi skrajnim razmeram, novim škodljivim organizmom ter spremenjenim režimom motenj, kot so gozdni požari, vetroolomi, suša, prenamnožitve obstoječih škodljivih organizmov idr. Zato moramo čedalje pogosteje hitro in usmerjeno ukrepati, da bi ohranili ekološke, socialne in gospodarske funkcije gozda. To priznavajo politike EU, kot sta strategija EU za biotsko raznovrstnost do leta 2030 in nova strategija EU za gozdove do leta 2030. Te cilje lahko dosežemo le, če ustrezno varujemo in trajnostno upravljamo gozdne genske vire, vključno z uporabo gozdnega reprodukcijskega materiala (GRM) različnih drevesnih vrst ob hkratni skrbi za zdravje gozdov. Na Gozdarskem inštitutu Slovenije je v razvoju center za semenarstvo, drevesničarstvo in varstvo gozdov (center SDVG), ki bo prispeval k razvoju znanosti omenjenih področij, tako da se nam bo v Sloveniji uspelo hitro odzvati na potrebe v gozdarstvu: od preprečevanja vnosa karantenskih bolezni in škodljivcev do iskanja proti boleznim odpornih genotipov, hitre vzgoje sadik multiplih drevesnih vrst idr. Vse to bo omogočeno na več kot 3000 m<sup>2</sup> skupnih neto površin novega centra SDVG, ki bo poleg skupnih prostorov gostil semenarski laboratorij z infrastrukturo za pridobivanje, sušenje, shranjevanje, dodelavo in kalitev semena, center za gozdno drevesničarstvo z rastlinjaki, mezokozmi za raziskave korenin in mikorize ter diagnostični center za zdravje gozdov s karantenskimi laboratoriji stopnje biološke zaščite BSL3. V centru SDVG bodo ustrezno vzdrževane tudi nacionalno pomembne zbirke: v okviru semenarstva in drevesničarstva semenska banka (del Slovenske gozdne genske banke) in knjižnica DNK (za potrebe certifikacije GRM), Živa zbirka mikoriznih gliv, v okviru varstva gozdov pa med drugim podatkovna zbirka gliv *Boletus informaticus*, Mikoteka in herbarij GIS, referenčna zbirka trajnih kultur gliv (ZLVG), referenčna entomološka zbirka in zbirka genetskega materiala.

## **Ključne besede:**

gozdni reprodukcijski material, bolezni, škodljivci, raziskave, infrastruktura, Slovenija

**Zahvale:**

Center za semenarstvo, drevesničarstvo in varstvo gozdov je financiran v okviru nepovratnih sredstev v večletnem finančnem okviru za obdobje 2021–2027: Instrument za obnovo in okrevanje »NextGenerationEU« – Sklad za okrevanje in odpornost (RRF). Razvojno-raziskovalne osnove priprave projekta so umeščene v programsko skupino P4-0107 in projektov CRP V4-1819 in V4-2015 ter javne gozdarske službe na GIS.

# Potencial uporabe atmosferske zračne plazme za doseganje kakovostnejšega premazovanja in lepljenja lesa

## Jure Žigon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

E-naslov (Jure Žigon): jure.zigon@bf.uni-lj.si

### Poudarki:

- Raziskave pokazale pozitiven prispevek obdelave s plazmo za doseganje kakovostnejšega premazovanja in lepljenja lesa.
- Poleg kakovostnejših proizvodov pozitiven tudi okoljski vidik plazemske tehnologije.
- Predstavitev mogočih področij za uporabo atmosferske zračne plazme v lesni industriji.

### Predavanje:

Uporaba plazme kot medija za spreminjanje lastnosti površin trdnih materialov se že od sredine preteklega stoletja pojavlja v različnih vejah industrije za pripravo površin za premazovanje in lepljenje. Pri zadnjem izkoriščamo sposobnost plazemskih razelektritev, da z njimi spreminjamo kemične, fizikalne in morfološke lastnosti površin polimerov, kovin, tekstila, stekla in bioloških materialov (Grace in Gerenser, 2003). V tehnološkem smislu plazemsko razelektritev najlažje ustvarimo z uvedbo električne energije med dve elektrodi, med katerima je določen plin ali zmes plinov. Nadalje to lahko izvajamo pri znižanem ali atmosferskem tlaku. Zadnje je z vidika zahtevnosti upravljanja tovrstnih naprav seveda enostavnejše. Med obsevanjem površin s plazmo na teh nastane vrsta kompleksnih kemično-fizikalnih procesov, ki so zelo odvisni od uporabljenega plina, delovnih parametrov obdelave in oblike plazemske naprave oz. reaktorja. Pri obdelavi površin materialov z razelektritnim zrakom pride ob trku reaktivnih delcev plazme s površino do njihovega čiščenja, jedkanja, tvorbe radikalov in nastajanja novih funkcionalnih skupin. Predvsem novonastale funkcionalne skupine s pridom izkoriščamo kot mesta za vezavo molekul tekočih polimerov, kot so premazi in lepila (Peng in Zhang, 2019).

Uporabnost plazemskih tehnologij pri obdelavi površin različnih materialov nakazuje potencial uporabe tovrstnih tehnologij tudi v lesni industriji. V raziskavah, ki smo jih na Oddelku za lesarstvo opravili v preteklih letih, smo namreč prišli do spodbudnih izsledkov. Bistvena ugotovitev pri tem je bila, da je kakovostnejše premazovanje masivnega lesa, vlaknene in iverne plošče, lepljene lameliranega slojnatega lesa ter lepljenje lesa s kovinami mogoče doseči z elementi, katerih površine lesa so bile predhodno obdelane s plazmo, ustvarjeno v zraku in pri atmosferskem tlaku. Izboljšana kakovost premazanega in s plazmo predobdelanega lesa se je tako na primer pokazala v izboljšani adheziji filmov premazov na les. Prav tako so lepilni spoji, tvorjeni z uporabo predvsem lepil na vodni osnovi, izkazovali povečano trdnost ob porušitvah, k čemur je prispevala predobdelava površin lepljencev s plazmo (Žigon, 2021). Tako bi v proizvodnji predobdelava površin lesenih elementov s plazmo vsekakor pripomogla k višji kakovosti izdelkov. Navsezadnje učinkovitost proizvodnje načeloma ne bi smela biti zmanjšana, saj so parametri obdelave v primeru današnjih izpopolnjenih in računalniško vodenih naprav, kot so na primer hitrost obdelave, pretok obdelovancev in intenziteta ter učinek razelektritev, lahko in hitro nastavljivi.

Tudi aktualna okoljska problematika in rast cen osnovnih surovin za sintezo polimerov dajeta priložnost uveljavitvi okolju prijaznejših tehnologij tudi v lesni industriji. Plazemska tehnologija je pri tem vsekakor ena od možnih in okolju prijaznih alternativ, saj sama po sebi ne povzroča nastajanja škodljivih snovi in kopičenja trdnih odpadkov (Kan, 2014). V preteklih desetletjih je bilo na področju premazov za les s sprejetjem uredbe o



mejnih količinah hlapnih organskih snovi in spodbujanjem uporabe premazov na vodni osnovi sicer veliko že narejenega. Kljub temu pa je velik delež premaznih sredstev še vedno na osnovi organskih topil, v proizvodnji pa še vedno nastajajo velike količine trdnih odpadkov (brušenje, čiščenje) in odpadnih voda (čiščenje).

Kljub do zdaj številnim uspešnim rezultatom raziskav, ki so jih objavili tako domači kot tuji avtorji (Klébert et al., 2022), pa plazemske tehnologije še niso našle poti do uveljavitve v lesni industriji, bodisi v procesih spajanja lesa z lepili bodisi v procesih površinske obdelave s premazi. Razlogov za to je več. Prvi je zagotovo ta, da so zdaj uporabljeni konvencionalni tehnološki postopki priprave površin lesa (odrezovanje, nanos temeljnih premazov) dodobra dodelani in uveljavljeni. Dejstvo je tudi, da operiranje s plazemskimi napravami zahteva določeno usposobljenost in strokovnost osebe, ki te naprave upravlja in jih vzdržuje. Tretji vidik je dejstvo, da ob obdelavi trdnih materialov s plazmo nastanejo spremembe in želeni učinki le na površinah obdelovancev, natančneje do globine nekaj nanometrov. Čeprav te spremembe bistveno vplivajo na lastnosti površin, pa morda v nekaterih primerih to ni dovolj (npr. globinska zaščita lesa). V industriji zelo pomemben vidik pa je tudi ekonomičnost uvedbe postopka plazemske obdelave površin elementov, ki potujejo skozi proizvodni proces. Redke študije (npr. Curry et al., 2020) obravnavajo ekonomsko upravičenost nabave naprav za obdelavo površin s plazmo, prilagoditev obstoječe proizvodnje, usposabljanje ali zaposlitev delavcev za upravljanje tovrstnih naprav itd. Dejstvo pa je, da k že naštetim prednostim, ki jih prinaša postopek predpriprave površin obdelovancev s plazmo, velik del prispeva tudi njegov pozitiven okoljski vidik.

Za konec lahko poleg kakovostnejšega premazovanja in lepljenja lesa naštejemo še nekaj področji in postopkov obdelave lesa, pri katerih bi bila uporaba atmosfirske zračne plazme potencialno lahko uporabna: proizvodnja lesnih in lesno-plastičnih (WPC) ploščnih kompozitov, proizvodnja lesenih konstrukcijskih elementov, spajanje lesa z drugimi materiali (npr. steklo, kovine, polimeri), reaktivacija površin lesenih elementov, obnova površin premazanega lesa in sterilizacija lesenih površin.



Slika 1: Prikaz nekaterih potencialnih področji za uporabo atmosfirske zračne plazme v lesarstvu

### Literatura in viri:

- Curry N, Leitner M, Körner K. 2020. High-porosity thermal barrier coatings from high-power plasma spray equipment—processing, performance and economics. *Coatings* 2020, 10, 957. <https://doi.org/10.3390/coatings10100957>
- Grace JM, Gerenser LJ. 2003. Plasma treatment of polymers. *Journal of Dispersion Science and Technology* 24(3-4), 305–341. <https://doi.org/10.1081/DIS-120021793>
- Kan C-W. 2014. *A Novel Green Treatment for Textiles: Plasma treatment as a sustainable technology*. CRC press, 311 str.
- Klébert S, Mohai M, Csiszár E. 2022. Can plasma surface treatment replace traditional wood modification methods? *Coatings* 12, 487. <https://doi.org/10.3390/coatings12040487>
- Peng X-R, Zhang Z-K. 2019. Improvement of paint adhesion of environmentally friendly paint film on wood surface by plasma treatment. *Progress in Organic Coatings* 134, 255–263 <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.04.024>
- Žigon J. 2021. *Surface treatment of wood with floating electrode dielectric barrier discharge plasma*. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 243 str.

### Ključne besede:

les, lepljenje, plazma, površinska obdelava, premazi

### Zahvale:

Avtor se za finančno podporo zahvaljuje Javni agenciji za raziskovalno dejavnost (ARRS) in programski skupini P4-0430 »Gozdno-lesna veriga in podnebne spremembe: prehod v krožno biogospodarstvo«.



# PLAKATI

## Trendi in spremembe v slovenskih gozdovih: rezultati velikoprostorskega monitoringa gozdov

**Anže Martin Pintar,<sup>1</sup> Jernej Jevšenak,<sup>1</sup> Gal Kušar,<sup>1</sup> Aleš Poljanec<sup>2</sup> in Mitja Skudnik<sup>1,3</sup>**

- 1 Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za načrtovanje in monitoring gozdov in krajine, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija
- 2 Zavod za gozdove Slovenije, Centralna enota, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija
- 3 Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-naslov: anzemartin.pintar@gozdis.si

### Poudarki:

- Po letu 2012 so bili slovenski gozdovi podvrženi velikim poškodbam zaradi ujm in gradacij podlubnikov. Posledično se je drevesna sestava naših gozdov spremenila; leta 2018 je glavino lesne zaloge prvič obsegala bukev pred smreko.
- Zaznali smo trend zmanjševanja deleža smreke v lesni zalogi, ki je podoben kot pri drugih okoliških državah.
- Poškodovana ni bila samo smreka, ampak tudi bukev; po letu 2012 je bil zaznan velik porast lesne zaloge sušic bukve.
- V obdobju 2012–2018 se je v Sloveniji bistveno povečala količina poseka; predvsem iglavcev.
- V obdobju 2012–2018 je bil bruto prirastek z vrastjo in prirastkom posekanih dreves ocenjen na  $7,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  na leto.

### Vsebina:

V prispevku so predstavljeni rezultati velikoprostorskega monitoringa gozdov in gozdnih ekosistemov (MGGE), ki je na sistematični mreži trajnih vzorčnih ploskev (4 km x 4 km) čez vso Slovenijo potekal v letih 2000, 2007, 2012 in 2018. Predstavljeni so osnovni znaki o stanju (lesna zaloga in volumen odmrlih lesnih kosov) in spremembah (prirastek, posek, volumen novih sušic) slovenskih gozdov. Lesna zaloga merskega drevja se je med letoma 2000 in 2012 povečala z  $299$  na  $334 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Leta 2018 je bila ocena za povprečno lesno zalogo  $330 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Vzorčna napaka ocene lesne zaloge je znašala od 4 do 5 %. Med letoma 2012 in 2018 se je predvsem zmanjšala lesna zaloga iglavcev, in sicer s  $156$  na  $144 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Poglavitni vzrok je bil povečan posek, ki je bil posledica številnih naravnih ujm in gradacij podlubnikov. Tako se je povečal posek, in sicer s  $4,3$  v obdobju 2007–2012 na  $6,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  na leto v obdobju 2012–2018. K povečanemu poseku večinski delež prispevajo iglavci. V zadnjem obdobju je bil bruto prirastek z vrastjo in prirastkom posekanih dreves ocenjen na  $7,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  na leto. V obdobju 2012–2018 se je povečala ocena volumna odmrlih lesnih kosov z  $19,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  na  $24 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Prav tako se je povečala tekoča letna mortaliteta, v kateri prevladujeta bukev in smreka.

**Literatura in viri:**

Skudnik M., Jevšenak J., Poljanec A., Kušar G. 2021. Stanje in spremembe slovenskih gozdov v zadnjih dveh desetletjih – rezultati velikoprostorskega monitoringa gozdov. *Gozdarski vestnik*, 79, 4: 151–170.

**Ključne besede:**

lesna zaloga, prirastek, mortaliteta, odmrla biomasa, posek, sušice

**Zahvale:**

Prispevek je nastal v okviru naloge Javna gozdarska služba Naloga 4 – Razvijanje in strokovno usmerjanje informacijskega sistema za gozdove (ISG), ki jo na GIS financira MKGP. Zahvala velja tudi vsem sodelavcem GIS in ZGS, ki so sodelovali pri popisih.

# Primerjava lesnoanatomskih značilnosti pri izbranih proveniencah bukve v Sloveniji in na Madžarskem

**Domen Arnič,<sup>1, 2</sup> Jožica Gričar,<sup>1</sup> Luka Krajnc,<sup>1</sup> Peter Prislan,<sup>1</sup> Gregor Božič,<sup>1</sup> Marjana Westergren,<sup>1</sup> Csaba Mátyás<sup>3</sup> in Hojka Kraigher<sup>1</sup>**

1 Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

2 Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

3 Institute of Environmental and Earth Sciences, University of Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4, H-9400 Sopron Madžarska

E-naslov (korespondenčnega avtorja): jozica.gricar@gozdis.si

## Poudarki:

- Pri ekološko in ekonomsko pomembnih drevesnih vrstah, kot je navadna bukev, so mednarodni provenienčni poskusi dragocen vir informacij, saj predvidevamo, da se bo zaradi globalnega segrevanja njena razširjenost še povečala.
- V raziskavi smo primerjali lesnoanatomske značilnosti pri izbranih proveniencah bukve v Sloveniji in na Madžarskem.
- V obdobju 2009–2019 med analiziranimi proveniencami v povprečju nismo opazili velikih razlik v širini branik. Razlike so bile najbolj izražene v vremensko ugodnejših letih (npr. leta 2014).
- Medletna spremenljivost v povprečnih vrednostih površin trahej se je razlikovala od trenda pri širinah branik, kar potrjuje, da so genetski in okoljski vplivi na izbrana lesnoanatomska znaka različni. Razlike v vrednostih površine trahej znotraj branike so se izrazile v ekstremnih letih.
- Dolgotrajni provenienčni poskusi so ključen vir informacij za upravljanje posameznih drevesnih vrst v prihodnosti. Spremljati jih je treba kontinuirano desetletja, saj se rastni odzivi različnih provenienc skozi čas lahko spreminjajo.

## Vsebina:

### Uvod:

Širine letnih prirastkov lesa in anatomija se v zadnjih letih pogosto uporabljajo za rekonstrukcijo preteklih podnebnih razmer in določanje ekstremnih vremenskih dogodkov ali za ocenjevanje prihodnje produktivnosti gozdov (Arnič in sod., 2021). Takšne podatke je mogoče uporabiti za izboljšanje procesnih modelov ali dinamičnih vegetacijskih modelov, ki omogočajo napovedovanje odziva dreves in gozdov na spreminjajoče okoljske dejavnike. Mednarodni provenienčni poskusi drevesnih vrst, kot je navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.), pripomorejo k razumevanju vpliva okoljskih in genetskih dejavnikov na rast in delovanje dreves v različnih razmerah (Alberto et al., 2013, Sáenz-Romero et al., 2019).

V tej študiji predstavljamo rezultate objave Krajnc in sod. (2022), v kateri smo primerjali širino branik pri bukvah izbranih provenienc v dveh mednarodnih provenienčnih poskusih. Poleg tega smo na podlagi razlik v površini trahej v braniki ocenili plastičnost debelinske rasti bukovih provenienc v kontrastnih vremenskih razmerah (mokro leto 2014 in suho leto 2017).

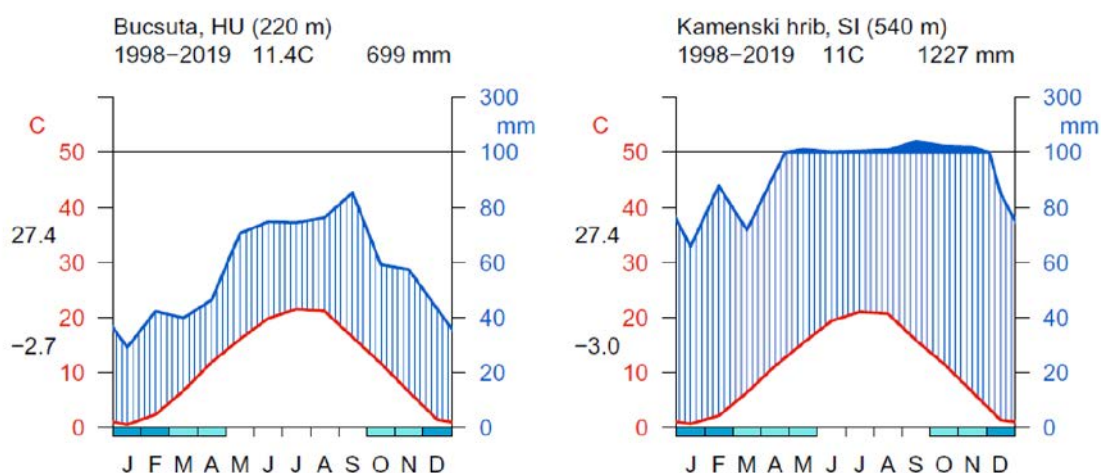
### Material in metode:

Raziskavo smo izvedli v dveh mednarodnih provenienčnih poskusih, ki sta bila zasnovana leta 1998: Kamenski hrib v Sloveniji in Bucsuta na Madžarskem. Razmere na obeh rastiščih se razlikujejo. Na splošno

je Kamenskih hrib gozdni sestoj, ki je relativno dobro preskrbljen s padavinami, s čimer bukvi zagotavlja optimalne razmere za rast. Rastišče Bucsuta je sušnejše s približno polovično količino padavin v primerjavi s slovenskim rastiščem in je skrajni rob areala bukve. Podrobnejši podatki o značilnostih obeh rastišč so navedeni v tabeli 1 in na sliki 1.

Tabela 1. Značilnosti obeh rastišč. Podnebni podatki so za obdobje 1998–2019.

	Lokacija	Nadmorska višina [m]	Povprečna letna temperatura [°]	Letna količina padavin [mm]	Tla in kamnine
Kamenski hrib, SI	N45°47'46" E15°02'5"	540	11,0	1227	globoki evtrični kambisoli in izprana tla (luvisol), apnenčasta podlaga
Bucsuta, HU	N46°35'00" E16°51'00"	220	11,4	699	globoka rjava gozdna tla, apnenčasta podlaga



Slika 1. Klimatski diagrami za rastišči Kamenski hrib in Bucsuta za obdobje 1998–2019. V drugi vrstici so prikazane vrednosti povprečnih letnih temperatur in letne količine padavin, na levi strani diagrama so prikazane maksimalne temperature najtoplejšega meseca in minimalne temperature najhladnejšega meseca.

Za analize smo izbrali štiri provenience, in sicer dve slovenski, ki se razlikujeta v času razvoja listov spomladi, ter dve iz kontrastnih okolij v Evropi (Belgija in Češka). Podatki o značilnostih izhodiščnih rastišč in času olistanja izbranih provenienc bukve so navedeni v tabeli 2.

Šifra	Provenienca	Nadmorska višina [m]	Olistanje	Povprečna letna temperatura [°C]	Letna količina padavin [mm]
PR13	Soignes, BE	110	pozno	9,4	835
PR53	Mašun, SI	958	srednje	6,4	1,609
PR54	Idrija, SI	935	pozno	8,4	2090
PR64	Nizbor, CZ	480	srednje	8,5	500
PR64	Nizbor, CZ	480	srednje	8,5	500

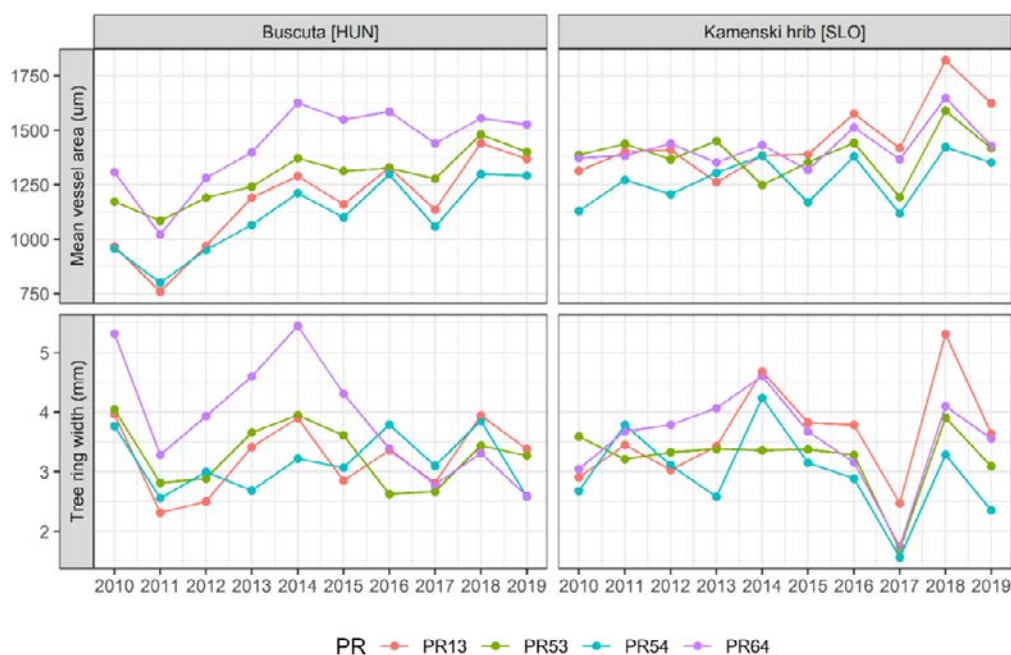
Tabela 2. Značilnosti izhodiščnih rastišč in čas olistanja izbranih provenienc bukve. Podnebni podatki so za obdobje 1998–2019.

Vzorčenje je bilo opravljeno jeseni leta 2019, ko je bila zadnja nastala branika lesa popolnoma oblikovana. Za vsako izbrano provenienco smo izbrali 13 dominantnih dreves. Vzorčena drevesa so bila na obeh rastiščih stara 21 let, s premerom 1,3 m nad tlemi (DBH) 10,5–11,5 cm in višino 13,5–15 m na Kamenskem hribu in DBH 10,5–12,5 cm in višino 9,5–11 m na rastišču Bucsuta. Z debela smo 1,3 m nad tlemi odvzeli izvrtke lesa, na katerih smo izmerili širine branik in opravili lesnoanatomske analize za obdobje 2009–2019. Vzorci lesa so bili v laboratoriju pripravljene po standardnih dendrokronoloških postopkih (Levanič, 2007), analize lesne anatomije pa so bile opravljene v programu Image Pro Plus in ROXAS (von Arx in Carrer, 2014). Podatki so bili obdelani v programskem okolju R (R Core Team, 2022).

## Rezultati in diskusija:

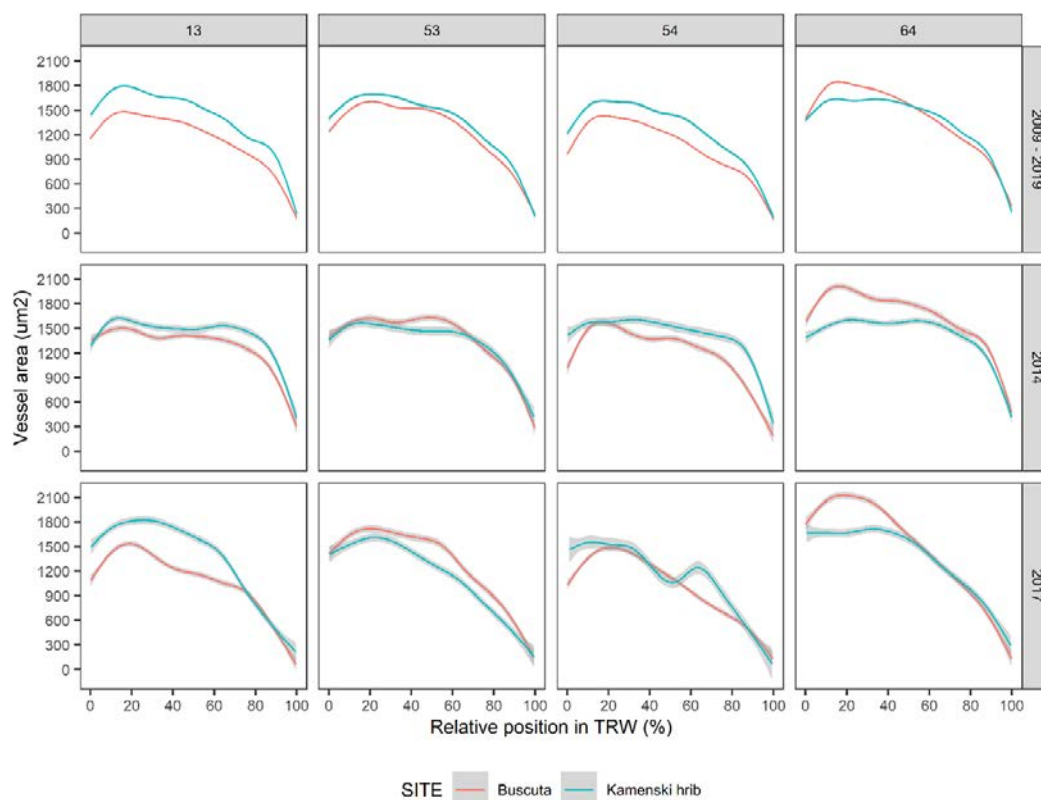
Za obdobje 2009–2019 so bile razlike v širini branik med proveniencami na splošno majhne, saj so se povprečne vrednosti gibale med 3,0 in 4,0 mm. Večjo spremenljivost v širinah branik znotraj posameznih provenienc bukve smo opazili na rastišču Bucsuta. Poleg tega so na obeh rastiščih vidna odstopanja od povprečnih vrednosti širine branik v obeh izpustljenih kontrastnih letih, 2014 in 2017 (slika 2). Leta 2014, za katero je bila značilna nadpovprečna količina padavin, smo na Kamenskem hribu ugotovili največji debelinski prirastek pri obeh tujih proveniencah PR13 (Soignes, BE; 4,7 mm) in PR64 (Nizbor, CZ; 4,6 mm), najmanjšega pa pri slovenski provenienci PR53 (Mašun, SI; 3,4 mm). Na rastišču Bucsuta smo opazili največji debelinski prirastek pri PR64 (5,4 mm), najmanjšega pa pri slovenski provenienci PR54 (Idrija, SI; 3,2 mm). V sušnem letu 2017 smo na Kamenskem hribu opazili največji debelinski prirastek pri PR13 (2,5 mm), medtem ko so imele druge provenience primerljivo širino branike (1,6–1,7 mm). Na rastišču Bucsuta smo v povprečju ugotovili največji letni debelinski prirastek pri PR54 (3,0 mm), medtem ko so imele druge provenience prirastek med 2,7–2,8 mm.

Medletna variabilnost v povprečnih vrednostih površin trahej kaže drugačno sliko kot širina branik, kar potrjuje, da so genetski in okoljski vplivi na izbrana lesnoanatomska znaka različni. V obdobju 2009–2019 so povprečne vrednosti površine trahej med proveniencami na Kamenskem hribu manj variirale v primerjavi z rastiščem Bucsuta. Podobno velja za medletna nihanja vrednosti pri posamezni provenienci, ki so bila manjša na Kamenskem hribu. Na splošno so povprečne vrednosti površine trahej pri vseh proveniencah med letoma 2011 in 2014 naraščale na rastišču Bucsuta, na Kamenskem hribu pa je bila variabilnost v povprečnih vrednostih v obdobju 2010–2016 majhna, po tem letu pa se je povečala. Na Kamenskem hribu so bile povprečne vrednosti površine trahej največje pri PR13 (1460  $\mu\text{m}^2$ ) in najmanjše pri PR54 (1270  $\mu\text{m}^2$ ). Leta 2014 vrednosti niso odstopale od vrednosti v preostalih letih, leta 2017 pa smo pri vseh proveniencah opazili negativen trend, pri čemer so bile vrednosti najmanjše le pri obeh slovenskih proveniencah PR53 in PR54. Na rastišču Bucsuta so bile povprečne vrednosti površine trahej največje pri PR64 (1430  $\mu\text{m}^2$ ) in najmanjše pri PR54 (1103  $\mu\text{m}^2$ ). Leta 2014 je bil v vseh primerih zaznan pozitiven trend, vendar so vrednosti izstopale od vrednosti v preostalih letih le pri češki provenienci PR64. Leta 2017 smo pri vseh proveniencah opazili negativen trend, pri čemer so vrednosti v vseh primerih dosegle minimum v letu 2011. Sicer so bile med izbranimi proveniencami leta 2017 ugotovljene najmanjše vrednosti pri slovenski PR54 (1057  $\mu\text{m}^2$ ) in belgijski provenienci (1135  $\mu\text{m}^2$ ).



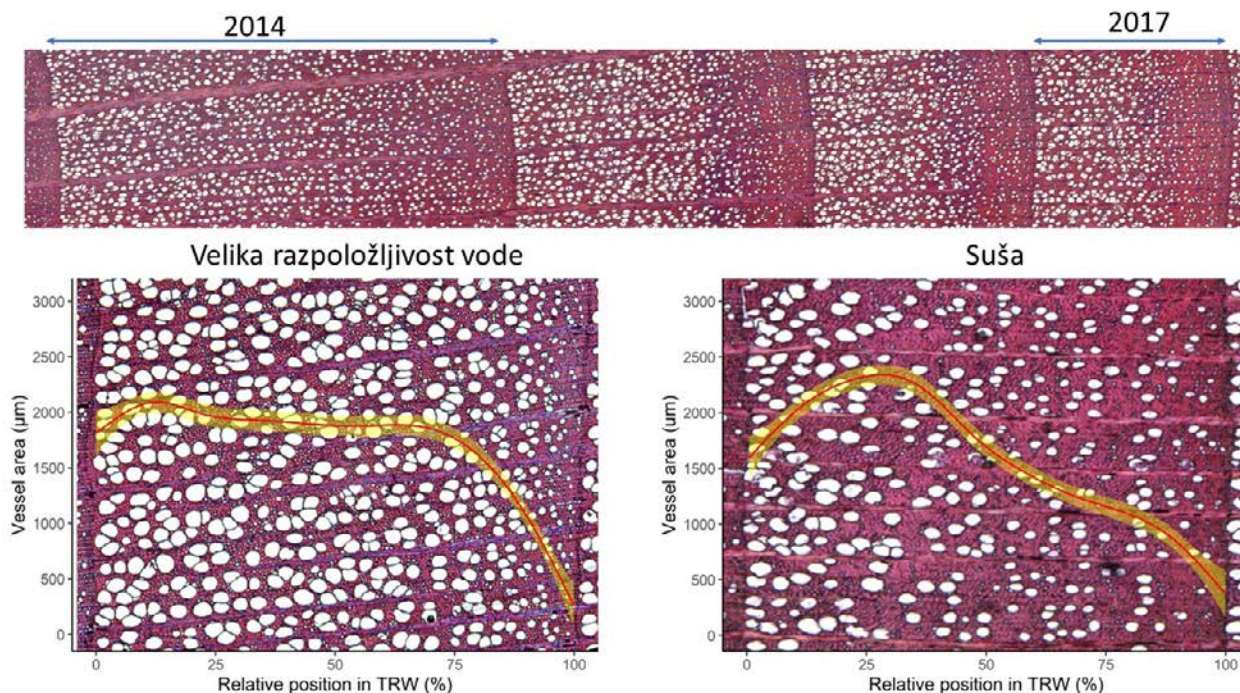
Slika 2. Širine lesnih prirastkov (angl. tree-ring width) in povprečne površine trahej (angl. mean vessel area) pri izbranih bukovih proveniencah v obdobju 2010–2019; PR – provenienca.

Nadaljnja primerjava povprečnih površin trahej znotraj posamezne branike je v vseh primerih pokazala večje vrednosti v prvi polovici branike kot v drugi polovici, pri kateri so bile najmanjše vrednosti praviloma opažene v kasnem lesu neposredno ob letnici (slika 3). V inicialnem delu branike pa vrednosti ob letnici niso maksimalne, ampak naraščajo, nato začnejo postopno upadati, pri čemer se trend razlikuje med proveniencami, leti in med posameznimi drevesi iste proveniencie. Pri analizah trendov površin trahej znotraj širine branik v ekstremnih letih (2014 in 2017) smo opazili bistvene razlike v sestavi lesa za bukev kot drevesno vrsto na splošno, ne glede na provenienco. V primeru večje razpoložljivosti vode površina trahej na začetku branike nekoliko naraste, nato pa ostaja bolj ali manj konstantna do 60–80 odstotkov širine branike, čemur sledi hiter padec površine trahej. Drugače pa se bukev kot vrsta odzove na sušne razmere; površina trahej na začetku branike naraste, nato pa začnejo vrednosti že pri 25 odstotkih širine branike zelo hitro upadati. Slika 4 nazorno prikazuje nekaj spremenljivosti v sestavi lesnih branik kot posledica razlik v velikosti in porazdelitvi trahej znotraj branike pri difuznoporozni bukvi, ki z vidika sestave lesa velja za dokaj homogeno lesno vrsto.



Slika 3. Sezonski trend površine trahej (angl. vessel area) v braniki pri izbranih bukovih proveniencah na Kamenskem hribu (rdeča črta) in Bucsuta (modra črta). Sezonski trendi so prikazani za celotno obdobje 2010–2019 ter posebej za mokro leto 2014 in suho leto 2017. Črte predstavljajo povprečne vrednosti meritev, sivo osenčeno območje pa standardno napako.





Slika 4. Spremenljivost v širinah letnih prirastkov in sestavi lesa pri buki v letih z različnimi vremenskimi razmerami

### Zaključki:

Avtohtone slovenske proveniencije se niso izkazale kot zmagovalci v smislu debelinskega prirastka, ampak je bil največji debelinski prirastek na splošno ugotovljen pri češki provenienci Nizbor (PR64), ki izvira iz najtoplejšega in najbolj suhega podnebja med proveniencami, obravnavanimi v tej študiji. Vprašanje je, ali bo ohranila svojo prednost glede debelinske rasti tudi v prihodnjih letih in v odraslem obdobju. Si pa češka provenienca zagotovo zasluži podrobnejšo obravnavo glede na podnebne scenarije za Slovenijo, ki predvidevajo povišanje temperature in zmanjšanje količine padavin v času rastle sezone. V tem pogledu je pomembna še občutljivost posameznih provenienc za ekstremne vremenske dogodke, kot so pozna spomladanska pozeba, žled, zgodnji jesenski sneg, saj se predvideva, da bodo tovrstni dogodki v prihodnosti pogostejši in intenzivnejši.

Skozi celotno obdobje med analiziranimi proveniencami bukke v povprečju nismo opazili razlik v priraščanju. Razlike v širinah branik so sicer opazne na ravni posameznih let, še posebej v vremensko ugodnejših letih. Rezultati potrjujejo, da je vpliv okoljskih razmer na širino branik prevladal nad genetskimi vplivi, kar se kaže v sinhronem medletnem nihanju povprečne širine branik vseh izbranih provenienc, kar je se ujema s predhodnimi raziskavami v mednarodnih bukovih provenienčnih poskusih (Stojnic et al., 2013; Eilmann et al., 2014). Ali te zveze veljajo tudi pri odraslih drevesih, ostaja odprto za nadaljnje raziskave.

Medletna spremenljivost v povprečnih vrednostih površin trahej kaže drugačno sliko kot širina branik, kar potrjuje, da so genetski in okoljski vplivi na izbrana lesnoanatomska znaka različni. Razlike v vrednostih površine trahej znotraj branike so se izrazile v ekstremnih letih (mokro leto 2014 in suho leto 2017) ne glede na provenienco. Velikost trahej je odvisna od turgorjevega tlaka v celici, na katerega pomanjkanje padavin negativno vpliva in se odraža v manjši površini trahej. V sušnem letu 2017 so tako vrednosti površine trahej začele upadati že pri 25 odstotkih širine branike, v mokrem letu 2014 pa pri 60–80 odstotkih širine branike. Provenienčni poskusi so ključen vir informacij za upravljanje posameznih drevesnih vrst v prihodnosti. Spremljati jih je treba kontinuirano in dolgoročno, saj se rastni odzivi različnih provenienc skozi čas lahko spreminjajo.

### Literatura in viri:

Alberto, F. J., Aitken, S. N., Alía, R., González-Martínez, S. C., Hänninen, H., Kremer, A., Lefèvre, F., Lenormand, T., Yeaman, S., Whetten, R. in Savolainen, O., 2013. Potential for evolutionary responses to climate change – evidence from tree populations. *Global Change Biology* 19, 1645–1661. <https://doi.org/10.1111/gcb.12181>.

Arnič, D., Gričar, J., Jevšenak, J., Božič, G., von Arx, G., Prislán, P., 2021. Different wood anatomical and growth responses in European beech (*Fagus sylvatica* L.) at three forest sites in Slovenia. *Frontiers in Plant Science* 12, article 669229. doi: [10.3389/fpls.2021.669229](https://doi.org/10.3389/fpls.2021.669229).

Eilmann, B., Sterck, F., Wegner, L., de Vries, S. M., von Arx, G., Mohren, G. M., den Ouden, J., Sass-Klaassen, U., 2014. Wood structural differences between northern and southern beech provenances growing at a moderate site. *Tree Physiology* 34, 882–893. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu069>.

Krajnc, L., Prislán, P., Božič, G., Westergren, M., Arnič, D., Mátyás, C., Gričar, J., Kraigher, H., 2022. A comparison of radial increment and wood density from beech provenance trials in Slovenia and Hungary. *European Journal of Forest Research*. <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01449-5>.

Levanič, T., 2007. Atrics – a new system for image acquisition in dendrochronology. *Tree-Ring Research* 63, 117–122. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-63.2.117>.

R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Sáenz-Romero, C., Kremer, A., Nagy, L., Újvári-Jármay, É., Ducouso, A., Kóczán-Horváth, A., Hansen, J.K., Mátyás, C., 2019. Common garden comparisons confirm inherited differences in sensitivity to climate change between forest tree species. *PeerJ* 7: e6213. <https://doi.org/10.7717/peerj.6213>.

Stojnic, S., Sass-Klaassen, U., Orlovic, S., Matovic, B., Eilmann, B., 2013. Plastic growth response of European beech provenances to dry site conditions. *IAWA J.* 34, 475–484. doi: [10.1163/22941932-00000038](https://doi.org/10.1163/22941932-00000038).

von Arx, G., Carrer, M., 2014. ROXAS – A new tool to build centuries-long tracheid-lumen chronologies in conifers. *Dendrochronologia* 32, 290-293.

### Ključne besede:

*Fagus sylvatica*, provenienčni poskus, širina branike, les, gozd, podnebne spremembe

### Zahvale:

Raziskava je bila financirana s strani Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) programa Mladi raziskovalec (Domen Arnič), programskih skupin P4-0107 in P4-0430 ter projektov Z4-7318, J4-2541 ter V4-2017 in V4-2016 (ARRS in Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS) ter projekta WOOLF (Les in leseni izdelki v življenjski dobi; javni razpis Spodbujanje izvajanja raziskovalno-razvojnih projektov (TRL 3-6)).

# Primerjava gostote lesa korenin, vej in debla pri puhastem hrastu

Luka Krajnc,<sup>1</sup> Polona Hafner<sup>1</sup> in Jožica Gričar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gozdarski inštitut Slovenije

E-naslov: luka.krajnc@gozdis.si

## Poudarki:

- Gostota lesa vej in debla pri puhastem hrastu se ne razlikujeta.
- Gostota vej ali debla ni odvisna od višine meritve.
- Gostota korenin je približno 30 odstotkov manjša od gostote lesa vej in debla.

## Vsebina:

Puhasti hrast (*Quercus pubescens* Willd.) je eden izmed termofilnih vrst listavcev, ki postajajo čedalje bolj aktualni zaradi podnebnega segrevanja. Njegov trenutni naravni areal namreč relativno dobro odraža pričakovane rastne razmere v razmeroma velikem delu Evrope. Delež puhastega hrasta v lesni zalogi se bo tako dolgoročno zelo verjetno povečal, s tem pa se bo povečala tudi njegova vloga pri dolgoročni vezavi ogljika, pri čemer ima gostota lesa ključno vlogo. Ta prispevek predstavlja primerjavo gostote lesa korenin, vej in debla stoječih dreves pri puhastem hrastu. Na obstoječih raziskovalnih ploskvah na Podgorskem Krasu (Vodnik et al., 2019) smo naključno izbrali 10 dreves puhastega hrasta. Izbranim drevesom smo izmerili prsni premer in povzorčili gostoto lesa s pomočjo rezistografskega vrtanja (Krajnc, 2020). Enako smo izmerili tudi gostote vej na višini prsnega premera (1,3 m) oz. meritev izpustili, če veje na tej višini ni bilo. Premer in gostoto lesa debla smo izmerili tudi na višini 3 m, prav tako smo povzorčili tudi gostoto veje. Pri izbranih drevesih smo nato z ročnim orodjem odkopali del koreninskega sistema in odvzeli po dva vzorca večjih korenin dolžine cca 15 cm. Vzorce smo v delavnici vpeli v primež ter jim izmerili gostoto in premer. Pri analizi podatkov smo uporabili odprtokodno programsko okolje R (R Core Team, 2022) in Kruskal-Wallisov test za preverjanje statistične značilnosti razlik v gostotah. Vrednosti izmerjenih gostot se ne razlikujejo od preteklih podatkov za isto drevesno vrsto na enakem rastišču (Krajnc et al., 2021). Gostota lesa znotraj debla se med dvema analiziranima višinama statistično značilno ne razlikuje, prav tako se ne razlikuje gostota vej od gostote debla. Pretekle raziskave so sicer pokazale na razlike v širini branik v vejah in na deblu, ki pa očitno ne vplivajo na gostoto lesa (npr. Gričar et al., 2017, Gričar et al., 2020). Najverjetnejši vzrok za podobne vrednosti gostot je torej podobnost v sestavi lesa med različnimi deli drevesa ter višinami znotraj drevesa. Gostota korenin je manjša od gostote debla/vej za približno 30 odstotkov. Rezultati nakazujejo, da je pri puhastem hrastu mogoče razmeroma natančno izmeriti celotno gostoto drevesa s posamezno meritvijo gostote na višini prsnega premera.

**Literatura in viri:**

Gričar, J., Hafner, P., Lavrič, M., Ferlan, M., Ogrinc, N., Krajnc, B. ... Vodnik, D. (2020). Post-fire effects on development of leaves and secondary vascular tissues in *Quercus pubescens*. *Tree Physiology*, 40 (6): 796/809

Krajnc L., Hafner P., Gričar J., Simončič P.: Umerjanje rezistografskih meritev gostote lesa na stoječih drevesih: pretvorba v osnovno gostoto; *Gozdarski vestnik*, 78/2020, št. 13.

Krajnc, L., Hafner, P. in Gričar, J. (2021). The effect of bedrock and species mixture on wood density and radial wood increment in pubescent oak and black pine. *Forest Ecology and Management*, 481, 118753.

R Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria. Pridobljeno s <https://www.R-project.org/>

Vodnik, D., Gričar, J., Lavrič, M., Ferlan, M., Hafner, P. in Eler, K. (2019). Anatomical and physiological adjustments of pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.) from two adjacent sub-Mediterranean ecosites. *Environmental and Experimental Botany*, 165, 208–218.

**Ključne besede:**

rezistograf, gostota, veje, deblo, korenine

**Zahvale:**

Študija je bila financirana v okviru temeljnih raziskovalnih projektov J4-9297 in J4-2540, programskih skupin P4-0430 in P4-0107 ter projekta WOOLF (Les in leseni izdelki v življenjski dobi; javni razpis Spodbujanje izvajanja raziskovalno-razvojnih projektov (TRL 3-6); prednostno področje S4: Pametne stavbe in dom z lesno verigo).

# *Eutypella parasitica* in druge najpogosteje izolirane vrste gliv v lesu odmrlih vej gorskega javorja

Ana Brglez,<sup>1,2</sup> Barbara Piškur,<sup>1</sup> Jožica Gričar,<sup>3</sup> Miha Humar<sup>4</sup> in Nikica Ogris<sup>1</sup>

1 Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za varstvo gozdov, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

2 Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva ulica 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

3 Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za prirastoslovje in gojenje gozda, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

4 Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina, Cesta VIII/34, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-naslov: ana.brglez@gozdis.si

## Poudarki:

- *Eutypella parasitica* je bila izolirana tudi na lokacijah, na katerih predhodna inventura javorjev ni pokazala prisotnosti javorovega raka.
- Na podlagi izračuna antagonističnega indeksa in uspešnosti reizolacij iz interakcijske cone dvojnih kultur domnevamo, da je *E. parasitica* šibkejša v tekmovalju z drugimi vrstami.
- Manjša razgradnja lesa in s tem nižje izgube mase zaradi delovanja *E. parasitica* v primerjavi z izolatom znanih trohnočnih gliv.
- Sklepamo, da bi lahko *E. parasitica* povzročala belo trohno.

## Vsebina:

*Eutypella parasitica* R. W. Davidson and R. C. Lorenz je povzročiteljica javorovega raka, uničujoče bolezni javorjev v Evropi in Severni Ameriki. Gliva *E. parasitica* gostitelja najpogosteje okuži skozi odmrlo vejo ali poškodbo na deblu (French, 1967). Zaradi morebitnega vpliva glivne združbe na okužbo in rast *E. parasitica* smo raziskali vrstno sestavo gliv v lesu odmrlih vej gorskega javorja in antagonistični vpliv najpogosteje izoliranih vrst na *E. parasitica*.

Iz koščkov lesa smo glive izolirali v čiste kulture in najpogostejše morfotipe s pomočjo molekularnih analiz določili do vrste ali rodu. Najpogosteje izolirane vrste so bile: *Eutypa maura*, *Eutypa sp. 2*, *Fusarium avenaceum*, *Neocucurbitaria acerina* in *E. parasitica*. S statistično analizo nismo ugotovili razlik v pestrosti vrst ( $p > 0,05$ ), medtem ko so se za značilne ( $p < 0,005$ ) izkazale razlike v glivnih združbah med različnimi lokacijami vzorčenja, med različnimi mesti izolacije in med različnimi debelinskimi razredi vej. *Eutypella parasitica* je bila pogosteje izolirana iz obarvanega lesa v deblu kot iz zunanjšega dela odmrle veje. Predvidevamo, da je v zunanjem delu konkurenca močnejša, zaradi česar *E. parasitica* hitro napreduje v les debla (Brglez et al., 2020a).

Vpliv najpogosteje izoliranih vrst iz lesa odmrlih vej gorskega javorja na *E. parasitica* smo preverjali v t. i. dvojnih kulturah. Dnevno smo spremljali rast v petrijevkah, določili tip interakcije in izračunali antagonistični indeks. Na koncu poskusa smo izvedli še reizolacije iz interakcijske cone in izračunali njihovo uspešnost. Za najbolj agresivnega se je izkazal izolat *Peniophora incarnata* (Pers.) P. Karst., ki je skoraj povsem prerasel *E. parasitica*. Največje vrednosti antagonističnega indeksa, s tem povezan značilno negativen vpliv na rast *E. parasitica* in veliko uspešnost reizolacij smo ugotovili za *Eutypa sp.*, *Eu. maura*, *Neonectria sp.* in *P. incarnata*. Omenjene vrste so se izkazale za najobetavnejše za uporabo v sklopu biološke kontrole *E. parasitica*. Vendar pa velja opozoriti na previdnost pri posploševanju rezultatov, saj bi bilo treba z razširitvijo poskusa pridobiti dodatne informacije za verodostojnejše zaključke (Brglez et al., 2020b).

Na podlagi modificiranega standarda EN 113 smo s testom »mini blok« ugotavljali tudi vpliv *E. parasitica* na razgradnjo lesa gorskega, ostrolistnega in poljskega javorja. Izračunali smo izgubo mase in vsebnost vode v koščkih lesa (mini blokih) po 15-tedenski izpostavitvi delovanju različnim izolatom gliv (*E. parasitica*, *Trametes versicolor*, *Gloeophyllum trabeum*, *Neonectria faginata*, *N. punicea* in pet najpogosteje izoliranih vrst v lesu odmrlih vej gorskega javorja). Glive so povzročile največje povprečne izgube mase pri vzorcih *A. campestre* in najmanjše pri vzorcih *A. pseudoplatanus*. Za najuspešnejši sta se izkazali *T. versicolor* in *G. trabeum*. Vzorci lesa so zaradi delovanja *E. parasitica* v povprečju izgubili 5,5 odstotka mase (največ pri vzorcih gorskega javorja). Pri vseh izolatih smo odkrili statistično značilno ( $p < 0,001$ ) pozitivno korelacijo med izgubo mase in vsebnostjo vode ter značilno negativno korelacijo ( $p < 0,001$ ) med izmerjeno debelino celičnih sten in izgubo mase vzorcev. Na podlagi obarvanja prečnih in tangencialnih prerezov tkiv s safranin/astra modrim barvilom domnevamo, da je *E. parasitica* sposobna razgradnje lignina in bi jo zato lahko uvrstili med povzročiteljice bele trohnobe lesa. Vendar so za dokončno potrditev te trditve nujne dodatne raziskave (Brglez et al., 2020c).

#### Literatura in viri:

Brglez A., Piškur B., Ogris N. 2020a. *Eutypella parasitica* and other frequently isolated fungi in wood of dead branches of young sycamore maple (*Acer pseudoplatanus*) in Slovenia. *Forests*, 11, 467, doi: [10.3390/f11040467](https://doi.org/10.3390/f11040467).

Brglez A., Piškur B., Ogris N. 2020b. In Vitro Interactions between *Eutypella parasitica* and Some Frequently Isolated Fungi from the Wood of the Dead Branches of Young Sycamore Maple (*Acer pseudoplatanus*). *Forests*, 11, 1072, doi: [10.3390/f11101072](https://doi.org/10.3390/f11101072).

Brglez A., Piškur B., Humar M., Gričar J., Ogris N. 2020c. The effect of *Eutypella parasitica* on the wood decay of three maple species. *Forests*, 11, 671, doi: [10.3390/f11060671](https://doi.org/10.3390/f11060671).

French W. J. 1967. *Eutypella* canker on species of *Acer* in New York state: PhD Thesis. Syracuse, New York, State University College of Forestry at Syracuse University: 160 str.

#### Ključne besede:

*Eutypella parasitica*, pestrost, združba gliv, dvojne kulture, antagonizem, izguba mase

#### Zahvale:

Raziskavo je financirala ARRS: program P4-0107 in program za usposabljanje mladih raziskovalcev (Ana Brglez).

# Učinkovitost dveh različnih tipov pasti pri lovljenju hroščev iz rodu *Agrilus* v hrastovem sestoju

Eva Groznik,<sup>1</sup> Maarten De Groot,<sup>1</sup> Tine Hauptman<sup>2</sup> in David Williams<sup>3</sup>

1 Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana

2 Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, 1000 Ljubljana

3 Forest research, Alice Holt Lodge, Farnham, Surrey GU10 4LH, United Kingdom

E-naslov: eva.groznik@gozdis.si

## Poudarki:

- Za lovljenje osebkov iz rodu *Agrilus* uporabljamo dva tipa pasti, zeleno lepljivo prizmatično in zeleno večlijakasto past. V našem primeru je bila učinkovitejša večlijakasta past.
- V hrastovem sestoju v okolici Ljubljane smo določili osem različnih vrst iz rodu *Agrilus*, in sicer *A. angustulus*, *A. biguttatus*, *A. convexicollis*, *A. laticornis*, *A. obscuricollis*, *A. olivicolor*, *A. sulcicollis* in *A. hastulifer*.
- Najpogostejša odlovljena vrsta je bila *A. laticornis*. Sledile so ji *A. olivicolor*, *A. obscuricollis* in *A. sulcicollis*.

## Vsebina:

Rod *Agrilus* (Coleoptera, Buprestidae) je najobsežnejši rod, v katerega spadajo tudi ekonomsko pomembne vrste, kot sta *Agrilus planipennis* in *Agrilus anxius*, zato so za zgodnje zaznavanje invazivnih in škodljivih vrst pomembni pravočasno ukrepanje, omejevanje širjenja ali zatiranje škodljivcev. Za hitro odkrivanje in posledično pravočasno ukrepanje so potrebne učinkovite metode spremljanja ciljnih vrst. Poleg tujerodnih vrst lahko ob namnožitvi povzročajo škodo tudi avtohtone. V Sloveniji je kar 31 različnih vrst iz rodu *Agrilus* (Bílý, 2002). Kot enega izmed vzrokov za sušenje hrastov v Evropi Moraal in Hilszczański (2000) navajata dvopikastega krasnika (*Agrilus biguttatus* Fabricius 1777), ki lahko ob namnožitvi povzroči večjo škodo na hrastih, predvsem na že poškodovanih ali obolelih drevesih. Zeleni bukov krasnik (*Agrilus viridis* Linnaeus, 1758), katerega glavne gostiteljske rastline so javorovke, brezovke, bukovke, vrbovke in lipovke (Bílý, 2002), je bil v Italiji opredeljen tudi kot škodljivec na območju sestojev leske (Corte in sod., 2008). Na Madžarskem je bil zeleni bukov krasnik po suši, ki je oslabil bukove sestoj, naveden kot eden pomembnejših vzrokov za sušenje bukve (Lakatos in Molnár, 2009). V preteklih raziskavah se je za najučinkovitejšo metodo spremljanja vrst iz rodu *Agrilus* izkazala uporaba pasti. Da bi ugotovili, kateri tip pasti je učinkovitejši, smo v sklopu mednarodnega projekta Euphresco *Agrilus*, katerega izvajalci so tudi raziskovalci Gozdarskega inštituta Slovenije (GIS), želeli raziskati, katera izmed dveh tipov pasti, zelena lepljiva prizmatična ali zelena večlijakasta, je na našem območju ustrežnejša. V okolici Ljubljane smo v pretežno hrastov sestoj postavili pet zelenih lepljivih prizmatičnih in pet zelenih večlijakastih pasti. Vzorce smo preverjali in pobirali vsaka dva tedna, in sicer od 26. 5. do 31. 8. 2021. Ulov je bil opredeljen v laboratoriju. Ulovili smo osem različnih vrst iz rodu *Agrilus*, in sicer *A. angustulus*, *A. biguttatus*, *A. convexicollis*, *A. laticornis*, *A. obscuricollis*, *A. olivicolor*, *A. sulcicollis* in *A. hastulifer*. Najštevilčnejša je bila vrsta *A. laticornis*, ki je obsegala 43,98 % vseh ulovljenih osebkov iz rodu *Agrilus*, sledili sta ji vrsti *A. olivicolor* z 28,22 % in *A. obscuricollis* z 12,86 %. Večino ulovljenih osebkov *Agrilus* je bilo v zelenih večlijakastih pasteh, in sicer približno dvainpolkrat več kot v zelenih lepljivih prizmatičnih pasteh.

**Literatura in viri:**

Bílý, S. 2002: Summary of the bionomy of the Buprestid beetles of Central Europe (Coleoptera: Buprestidae). Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae, Suppl. 10, 104 pp incl. 16 col. pls.

Corte, M., Moraglio, S. T., Tavella, L. (2008). First Surveys on *Agrilus* spp. (Coleoptera: Buprestidae) Infesting Hazelnut in Northwestern Italy. Acta Horticulturae. [845.10.17660/ActaHortic.2009.845.82](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.845.82).

Lakatos, F., Molnár, M. 2009. Mass mortality of beech (*Fagus sylvatica* L.) in South-West Hungary. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica. 5. 75–82.

Moraal, L. G. and Hilszczański, J. 2000. The oak buprestid beetle, *Agrilus biguttatus* (F.) (Col., Buprestidae), a recent factor in oak decline in Europe. Journal of Pest Science, 37:134–138. 2000, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.

**Ključne besede:**

*Agrilus*, večlijakasta past, prizmatična lepljiva past, hrastov sestoj, Ljubljana

**Zahvale:**

Raziskava je potekala v okviru raziskovalnega projekta Euphresco 2020-A-337 – Razvoj in ocenjevanje metodologij nadzora za hrošče *Agrilus*, katerega vodja je dr. David Williams. Sofinancira pa ga Uprava za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin, Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS. Delo na prispevku je potekalo v okviru programske skupine P4-0059 Gozd, gozdarstvo in obnovljivi gozdni viri.



# Monitoring vlažnosti lesa v odvisnosti od okolja izpostavitve v Sloveniji

**Blaž Jemec,<sup>1</sup> Boštjan Lesar<sup>1</sup> in Miha Humar<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

E-naslov: miha.humar@bf.uni-lj.si

## Poudarki:

- Les na prostem je izpostavljen delovanju biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja.
- S primerno zaščito lesa lahko zelo upočasnimo dinamiko razkroja.
- S spremljanjem vlažnosti lesa lahko uspešno napovemo ogroženost posamezne lokacije zaradi delovanja gliv.

## Vsebina:

Les je edina surovina, ki jo imamo v Sloveniji v izobilju. V zadnjem obdobju čedalje bolj pridobiva pomen tudi gradnja z lesom. Širšo rabo lesa pa najbolj omejuje to, da je podvržen razkroju. V naravi so ti procesi zaželeni, kadar pa les uporabljamo v gospodarske namene, želimo te procese čim bolj upočasniti. Za projektante in arhitekta je ena ključnih informacij podatek o življenjski dobi lesa na prostem, ki je odvisna od lesne vrste, postopka zaščite in mikroklimatskih razmer. Teh podatkov ne moremo povzeti iz literature, temveč jih moramo za ključne slovenske pokrajine pridobiti sami. Še posebej so pomembni za okolja z občutljivim ekosistemom, kot so Alpe in slana mokrišča ob Jadranskem morju.

V ta namen smo na sedmih lokacijah v Sloveniji (Seča, Škocjanski zatok, Bilje, Ljubljana, Velika planina, Pesnica) in zamejstvu (Doberdob) postavili lesene klopi. Klopi so načrtovane tako, da služijo kot model za fasado in teraso. Izdelane so iz lesa najpomembnejših iglavcev v Sloveniji, in sicer iz navadne smreke (*Picea abies*), rdečega bora (*Pinus sylvestris*) in macesna (*Larix decidua*). Del smrekovih elementov je zaščiten z bakrovim biocidnim proizvodom Silvanolin ((Humar in Lesar, 2008) oziroma toplotno preoblikovan po komercialnem postopku Silvapro (Rep et al., 2012). Oba komercialna postopka zaščite so razvili na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani in komercializirali v podjetju Silvapro. Na posamezne elemente so nameščeni senzori za spremljanje vlažnosti lesa. Naši modeli kažejo, da se razkroj na smrekovem lesu pojavi po približno 300 dneh, ko vlažnost lesa presega 25 odstotkov. Tako lahko na podlagi meritev vlažnosti že po nekaj letih ocenimo, kolikšna je življenjska doba lesa na posamezni lokaciji. V vzorce smo na sredino tangencialne ploskve pod kotom 10° na razdalji 32 mm privijačili 2 vijaka iz nerjavnega jekla premera 3,9 mm (Bauhaus Profi Depot, Nemčija), ki smo ju predhodno izolirali z univerzalno toploskrčljivo cevjo DERAY®-H. Na vijake smo pritrdili elektrode in jih povezali z merilno opremo. Vlažnost smo ugotavljali v sredini, saj se večina gliv navadno razvije v osrednjem delu vzorcev, zato je to mesto najpomembnejše. Električno upornost smo merili vsakih dvanajst ur z merilno opremo Gigamodul (Scantronik, Nemčija) in jo zapisovali z zapisovalci podatkov Thermofox (Scantronik, Nemčija). Vzoredno z vlažnostjo smo opazovali tudi temperaturo na površini vzorcev. Iz podatkov o električni upornosti in temperaturi lesa smo izračunali vlažnost lesa, kot je opisano v literaturi (Brischke in Lampen, 2014; Humar et al., 2019).



Slika 1: Modelna klopa na Veliki planini, takoj po izpostavitvi.

Te raziskave potekajo v okviru projekta DURASOFT, ki je sofinanciran iz programa Interreg Italia-Slovenija 2014–2020, ki spodbuja trajnostno rabo avtohtonega lesa iglavcev in močvirskega trsa na območju severnega Jadrana in južnih Alp. Z ustreznimi postopki zaščite lesa se lahko izboljša njegova odpornost proti razkroju. Biocidni proizvodi in inovativne tehnike avtohtonemu lesu zagotovijo življenjsko dobo, ki je primerljiva z življenjsko dobo eksotičnega lesa ali plastičnih materialov, vendar z bistveno manjšim ogljičnim odtisom. Testne klopi so samo eno izmed orodij, s katerimi se izvajajo testi.

Preglednica 1: Delež dni med novembrom 2020 in marcem 2022, ko vlažnost posameznega materiala presega 25 odstotkov.

	<b>PiAb</b>	<b>LaDe</b>	<b>Silvanolin PiAb</b>	<b>TM PiAb</b>	<b>PiAb</b>	<b>LaDe</b>	<b>Silvanolin PiAb</b>	<b>TM PiAb</b>
	Naslonjalo	Naslonjalo	Naslonjalo	Naslonjalo	Sedež	Sedež	Sedež	Sedež
Seča	3,2 %	2,8 %	7,3 %	20,7 %	19,1 %	13,9 %	18,3 %	77,7 %
Škocjanski zatok	0,0 %	0,0 %	0,7 %	3,5 %	0,0 %	1,5 %	15,3 %	1,7 %
Jamlje	0,4 %	0,5 %	6,1 %	4,1 %	0,7 %	5,6 %	13,4 %	7,4 %
Pesnica	0,3 %	1,4 %	10,8 %	6,8 %	1,6 %	16,7 %	21,5 %	41,5 %
Ljubljana	11,4 %	11,2 %	19,2 %	35,0 %	14,8 %	15,3 %	35,7 %	15,0 %
Velika planina	6,6 %	6,3 %	8,8 %	54,8 %	16,1 %	29,5 %	82,5 %	75,6 %

Iz rezultatov v preglednici 1 je razvidno, da na dinamiko vlažnosti lesa vplivajo naslednji parametri:

- Izpostavitveni položaj: delež vlažnih dni pri sedežu je 22,5 odstotka, pri naslonjalu pa 9,2 odstotka.
- Material: delež vlažnih dni je najmanjši pri smrekovini (6,2 odstotka), največji pa pri toplotno preoblikovani smrekovini (28,6 odstotka).
- Lokacija: delež vlažnih dni je najmanjši v Škocjanskem zatoku (2,8 odstotka), največji pa na Veliki planini (35,0 odstotka).

### Literatura in viri:

Brischke, C. in Lampen, S. C. (2014). Resistance based moisture content measurements on native, modified and preservative treated wood. *European Journal of Wood and Wood Products* (72): 289–292.

Humar, M., Kržišnik, D., Lesar, B. in Brischke, C. (2019). The performance of wood decking after five years of exposure: Verification of the combined effect of wetting ability and durability. *Forests* (10):

Humar, M. in Lesar, B. (2008). Fungicidal properties of individual components of copper-ethanolamine-based wood preservatives. *International Biodeterioration and Biodegradation* (62): 46–50.

Rep, G., Pohleven, F. in Kosmerl, S. (2012). Development of the industrial kiln for thermal wood modification by a procedure with an initial vacuum and commercialisation of modified Silvapro wood. In: *Proceedings of the 6th European Conference on Wood Modification*, Ed. D. Jones, H. Militz, M. Petrič, F. Pohleven, M. H. in M. P. 2012, University of Ljubljana, Ljubljana, pp. 11–17.

### Ključne besede:

les, toplotno preoblikovan les, odpornost proti navlaževanju, vlažnost lesa, barva lesa

### Zahvale:

Prispevek je rezultat več povezanih projektov, ki jih je sofinancirala Agencija za raziskovalno dejavnost RS: V4-2017 – Izboljšanje konkurenčnosti slovenske gozdno-lesne verige v kontekstu podnebnih sprememb in prehoda v nizkoogljično družbo; P4-0015 – Programska skupina les in lignocelulozni kompoziti, 0481-09 Infrastrukturni center za pripravo, staranje in terensko testiranje lesa ter lignoceluloznih materialov (IC LES PST 0481-09). Večji del raziskav je potekal v okviru projekta DURASOFT, ki je sofinanciran iz programa Interreg Italia-Slovenija 2014–2020.

# Optimizacija pogojev ekstrakcije za določanje vsebnosti polifenolov v lesu, izpostavljenem vremenskim vplivom

**Eli Keržič<sup>1</sup>, Miha Humar<sup>1</sup> in Viljem Vek<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-naslov: eli.kerzic@bf.uni-lj.si

## Poudarki:

- Zaradi krajšega časa ekstrakcije in manjše porabe topil je pospešena ekstrakcija s topili (ASE) primerna za oceno vsebnosti polifenolov v lesu, izpostavljenem vremenskim vplivom.
- Voda je na splošno najučinkovitejše topilo za ekstrakcijo hidrofilnih ekstraktivov iz lesa proučevanih lesnih vrst. Vodni ekstrakti vsebujejo razmeroma majhen delež fenolnih spojin, zato je za ekstrakcijo polifenolov bolje uporabiti metanol.
- Za optimalni ekstrakcijski izkoristek je primerno izvesti tri ali štiri petminutne ekstrakcijske cikle s polarnim topilom.
- Ekstrakcija z ASE za je izkazala za primerno alternativo konvencionalni Soxhletovi ekstrakciji. Vsebnost celokupnih ekstraktov in fenolov v ekstraktih različnih lesnih vrst je bila primerljiva za obe ekstrakcijski metodi ali celo višja pri ekstraktih, pridobljenih z ASE.

## Vsebina:

### Uvod:

Za širšo uporabo lesa v konstrukcijske namene je ključnega pomena poznavanje njegovih lastnosti, predvsem trajnosti. Najpomembnejši dejavniki, ki določajo trajnost lesnih vrst, so naravno prisotne biološko aktivne snovi, imenovane tudi ekstraktivi (Lesar in sod., 2008). Ekstraktivi so velika in heterogena skupina spojin, ki vplivajo na številne lastnosti lesa, kot so barva, vonj, odpornost in hidrofobnost (Vek et al., 2019). Odpornost lesa proti zunanjim dejavnikom v veliki meri pripisujemo spojinam polifenolnega značaja, t. i. stilbenom, lignanom, flavonoidom in taninom. Stilbeni in tanini delujejo fungicidno, medtem ko stilbeni učinkujejo tudi proti termitom (Eichhorn et al., 2017). Fungicidna aktivnost lignanov je relativno majhna, vendar imajo dobre antioksidativne lastnosti (Vek et al., 2021). Nekateri flavonoidi so se izkazali za močne lovilce prostih radikalov (Vek et al., 2020). Tako so na primer Sabik in sodelavci (2016) ugotovili, da lahko ekstrakti, pridobljeni iz jedrovine robinije, izboljšajo naravno odpornost bukve od neodporne do zmerno odporne.

Po določenem času uporabe lesa na prostem se razkroj lahko pojavi tudi pri bolj odpornih lesnih vrstah. Ta pojav je mogoče razložiti z izpiranjem vodotopnih ekstraktivov (Baar et al., 2019). Na dinamiko izpiranja pomembno vplivata njihova mikrodistribucija in anatomska sestava lesa (Aloui et al., 2004; Taylor et al., 2002). Zato lahko z oceno vsebnosti ekstraktivov v lesu po določenem času izpostavitve zunanjim vplivom omogočimo natančnejšo napoved življenjske dobe lesa in prispevamo k razvoju novih zaščitnih sredstev. V ta namen je treba zagotoviti ustrezno vzorčenje in izbrati najprimernejšo ekstrakcijsko tehniko, ekstrakcijske pogoje in nadaljnje analize.

Pri tej študiji smo se osredotočili na sistematično določanje ekstrakcijskih parametrov za izolacijo polifenolov, skupine ekstraktivov, ki imajo bistveno vlogo pri trajnosti lesa. Primerjali smo polarna topila pri ekstrakciji v Soxhletovem aparatu in določili ustrezno število ekstrakcijskih ciklov pri ekstrakciji s sistemom za pospešeno ekstrakcijo s topili (ASE).

### Materiali in metode:

V raziskavo smo vključili vzorce jedrovine treh naravno odpornih listavcev, in sicer evropskega hrasta (*Quercus* sp.), navadnega kostanja (*Castanea sativa* Mill.) in robinije (*Robinia pseudoacacia* L.), ter jedrovini dveh zmerno odpornih iglavcev, rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) in evropskega macesna (*Larix decidua* Mill.). Vse te vrste veljajo za relativno bogate s polifenoli. Kot referenčno vrsto smo uporabili smrekovino (*Picea abies* Karst.), ki smo jo tudi termično modificirali (230 °C, Silvapro® (Rep et al., 2012)). Za terenske teste smo pripravili orientirane vzorce dimenzij 1,5 cm × 2,5 cm × 5,0 cm, skladno s standardom EN 113 (CEN 2020). Študijo smo izvedli le na kontrolnih vzorcih, ki predhodno niso bili izpostavljeni vremenskim vplivom. Po pet vzorcev na material smo dezintegrirali z laboratorijskim mlinom (Retsch SM 2000) in posušili s postopkom liofilizacije.

Za določitev optimalnega polarnega topila za ekstrakcijo in nadaljnjo analizo smo izvedli Soxhletovo ekstrakcijo z različnimi polarnimi topili, in sicer z acetonom, etanolom, metanolom in vodo. Najprej smo 2,5 g absolutno suhega vzorca lesa ekstrahirali z 250 mL heksana, čemur je sledila ekstrakcija z isto količino polarnega topila. Postopek ekstrakcije s posameznim topilom je trajal 6 ur pri temperaturi nad 110 °C. Nato smo določili še optimalno število statičnih ekstrakcijskih ciklov pri ekstrakciji s sistemom za pospešeno ekstrakcijo s topili ASE 350 (Thermo Scientific Dionex). Najprej smo vzorce ekstrahirali s tremi 5-minutnimi statičnimi cikli s heksanom pri temperaturi topila 90 °C in tlaku 13,8 MPa. Sledila je ekstrakcija z 90-% metanolom pri temperaturi topila 110 °C in tlaku 13,8 MPa. Ekstrakte smo zbrali ločeno po 1., 2., 3., 4. in 5. ciklu ekstrakcije.

Primernost topil in ustrezno število ekstrakcijskih ciklov smo ocenili na podlagi rezultatov gravimetrične analize celokupnih ekstraktivov in spektrofotometrične analize celokupnih fenolov po Folin-Ciocalteujevi metodi (Singleton in Rossi, 1965). Ekstraktom smo po dodatku ustrezne količine reagentov in dvourni inkubaciji reakcijskih zmesi izmerili absorbanco pri 765 nm z uporabo UV/Vis-spektrofotometra Lambda 2 (Perkin-Elmer). Za semikvantitativno oceno vsebnosti celokupnih fenolov v lesu smo uporabili standardno krivuljo galne kisline.

### Rezultati in razprava:

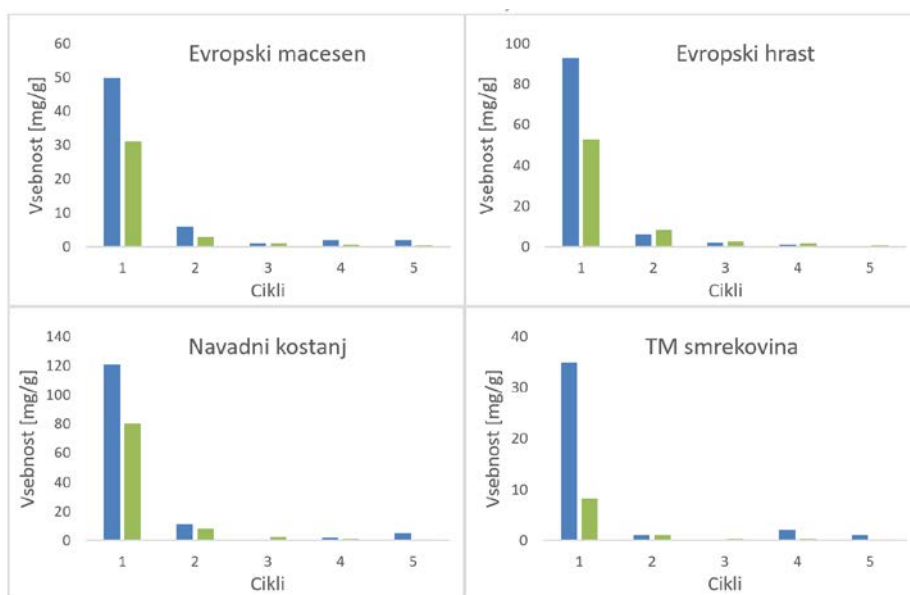
Količina ekstrahiranih celokupnih ekstraktivov in fenolov se je pri vseh lesnih vrstah razlikovala glede na uporabljeno polarno topilo (preglednica 1). Na splošno nam je največ ekstraktivnih snovi uspelo pridobiti z vodo. Precej manjše koncentracije ekstraktivov smo ekstrahirali z acetonom. Nasprotno nam je največje koncentracije celokupnih fenolov pri večini lesnih vrst uspelo pridobiti z metanolom. Izjema sta bili le smrekovina in jedrovina evropskega hrasta, iz katerih smo največ fenolnih spojin ekstrahirali z vodo. Na splošno nam je najmanjše količine celokupnih fenolov uspelo pridobiti z acetonom, razen pri termično modificiranem lesu, pri katerem je bilo najmanj učinkovito topilo voda.

Preglednica 1: Vsebnost celokupnih ekstraktivov na gram absolutno suhega lesa (mg/g dw) in vsebnost celokupnih fenolov v ekvivalentih galne kisline na gram absolutno suhega lesa (mg GAE/g dw) v jedrovini evropskega macesna (Ld), smrekovini (Pa), termično modificirani smrekovini (TERM), jedrovini rdečega bora (Ps), evropskega hrasta (Q), navadnega kostanja (Cs) in robinije (Rp), pridobljeni z zaporedno ekstrakcijo s heksanom in polarnimi topili (acetonom, etanolom, metanolom in vodo).

	Ld	Pa	TERM	Ps	Q	Cs	Rp
Celokupni ekstraktivi [mg/g]							
Heksan	2,06	2,99	3,44	16,07	1,61	2,52	0,46
Aceton	10,11	1,84	17,43	11,01	60,57	43,15	46,79
Etanol	26,59	0,92	7,34	21,14	77,14	77,95	78,93
Metanol	45,85	0	34,02	15,61	85,37	101,99	73,41
Voda	159,98	3,68	25,75	18,40	112,22	129,67	85,51
Celokupni fenoli [mg GAE/g dw]							
Heksan	0,15	0,04	0,18	0,53	0,21	0,16	0,10
Aceton	12,87	0,29	5,06	2,81	29,99	34,63	28,04
Etanol	24,92	1,44	6,52	4,54	38,40	50,85	46,33
Metanol	30,17	1,98	8,46	5,11	47,67	71,32	49,74
Voda	24,69	2,47	1,61	4,47	60,07	67,91	33,50

Najbolj izrazite razlike v vsebnosti ekstraktivnih snovi v ekstraktih, pridobljenih z različnimi topili, so se pojavile pri macesnu, medtem ko v vsebnosti fenolov ni bilo večjih razlik. Velik delež (povprečno 82 %) ekstraktov, pridobljenih z organskimi topili, so obsegale fenolne spojine. Vodni ekstrakt je vseboval primerljivo vsebnost fenolov, vendar so fenoli zajemali le 15 % celotnega ekstrakta. Iz smrekovine nam je uspelo ekstrahirati zelo majhne količine ekstraktivov, ki so vsebovali pretežno velik delež fenolnih spojin. Termična modifikacija je vplivala tako na vsebnost celokupnih ekstraktivov kot tudi na vsebnost fenolnih spojin v smrekovem lesu. Zaradi razgradnje strukturnih gradnikov lesa pri visokih temperaturah so nastale nove spojine, kot so sladkorji in fenolne spojine, zato se je njihova skupna količina povečala v primerjavi z nemodificiranim lesom. Jedrovina rdečega bora je poleg hidrofilnih vsebovala tudi primerljivo količino lipofilnih ekstraktivov. Največje količine fenolov in drugih ekstraktivov sta vsebovali jedrovini kostanja in hrasta. Pri obeh vrstah nam je uspelo največ ekstraktivov pridobiti pri ekstrakciji z vodo, največ fenolnih spojin pa prav tako z vodo oz. metanolom. Jedrovina robinije je vsebovala podobno količino ekstraktivnih snovi, topnih v etanolu, metanolu ali vodi. Metanolni ekstrakti so vsebovali nekoliko več fenolnih spojin v primerjavi z drugimi topili. Acetonski ekstrakti so vsebovali opazno manj celokupnih ekstraktivov.

Slika 1 prikazuje vsebnost celokupnih ekstraktov in fenolov v 90-% (v/v) vodnih metanolnih ekstraktih od prvega do petega cikla ekstrakcije s sistemom ASE pri ekstrakciji jedrovine evropskega macesna, evropskega hrasta, navadnega kostanja in termično modificirane smrekovine. Večino ekstraktivov in polifenolov nam je uspelo ekstrahirati s prvima dvema cikloma ekstrakcije. Več kot 80 % vseh ekstraktov oz. fenolov je bilo ekstrahiranih v prvem ciklu ekstrakcije, po drugem ciklu pa je bilo v vseh primerih ekstrahiranih več kot 90 % snovi.



Slika 1: Vsebnost celokupnih ekstraktivov na gram absolutno suhega lesa (mg/g dw) (modri stolpci) in vsebnost celokupnih fenolov v ekvivalentih galne kisline na gram absolutno suhega lesa (mg GAE/g dw) (zeleni stolpci) v jedrovini evropskega macesna (Ld), evropskega hrasta (Q), navadnega kostanja (Cs) in termično modificirane smrekovine (TERM), pridobljenih v vsakem od petih zaporednih ciklov ekstrakcije z 90-% vodno raztopino metanola na sistemu ASE

Ugotovili smo, da je treba za ekstrakcijo iz jedrovine macesna in termično modificirane smrekovine za dovolj velik ekstrakcijski donos izvesti od dva do tri ekstrakcijske cikle. Jedrovini hrasta in kostanja sta tudi v četrtem ekstrakcijskem ciklu vsebovali zaznavne količine fenolov (več kot 1 mg/g). Glede na rezultate naše raziskave lahko sklenemo, da je za optimalen izkoristek ekstrakcije primerno izvesti tri ali štiri ekstrakcijske cikle s polarnim topilom. En cikel pri ekstrakciji z ASE traja le 5 minut, zato je ta metoda ekstrakcije časovno veliko bolj učinkovita kot običajna Soxhletova ekstrakcija. Poleg tega je bila vsebnost celokupnih ekstraktov in fenolov v ekstraktih različnih vrst lesa primerljiva za obe ekstrakcijski tehniki ali celo večja pri ekstraktih, pridobljenih z ASE.

### Literatura in viri:

- Aloui F., Nizar A., Charrier F., Charrier B. 2004. Durability of European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) against white rot fungi (*Coriolus versicolor*): relations with phenol extractives. *European Journal of Wood and Wood Products*, 62(4), 286–290. <https://doi.org/10.1007/s00107-004-0489-7>
- Baar J., Paschová Z., Hofmann T., Kolář T., Koch G., Saake B., Rademacher P. 2019. Natural durability of subfossil oak: Wood chemical composition changes through the ages. *Holzforschung*, 74(1), 47–59. <https://doi.org/10.1515/hf-2018-0309>
- CEN. 2020. Evropski standard EN 113-2: Durability of wood and wood-based products - Test method against wood destroying basidiomycetes - Part 2: Assessment of inherent or enhanced durability. BSI Standards, 29.
- Eichhorn S., Erfurt S., Hofmann T., Seegmüller S., Németh R., Hapla F. 2017. Determination of the phenolic extractive content in sweet chestnut (*Castanea Sativa* Mill.) Wood. *Wood Research*, 62(2), 181–196.
- Lesar B., Humar M., Oven P. 2008. Dejavniki naravne odpornosti lesa in njegova trajnost / Factors of natural durability and service life of wood. *Les/Wood*, 60, 408–414.
- Rep G., Pohleven F., Košmerl S. 2012. Development of the industrial kiln for thermal wood modification by a procedure with an initial vacuum and commercialisation of modified Silvapro wood. *Proceedings of the 6th European Conference on Wood Modification*, 11–17. Ljubljana, Slovenia: Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology.
- Sablík P., Giagli K., Pařil P., Baar J., Rademacher P. 2016. Impact of extractive chemical compounds from durable wood species on fungal decay after impregnation of non-durable wood species. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(2), 231–236. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0984-z>
- Singleton V. L., Rossi J. A. 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158. Retrieved from <http://www.ajevonline.org/cgi/content/abstract/16/3/144>
- Taylor A. M., Gartner B. L., Morrell J. J. 2002. Heartwood formation and natural durability - a review. *Wood and Fiber Science*, Vol. 34, pp. 587–611. Retrieved from <https://ir.library.oregonstate.edu/concern/articles/rj430494s?locale=en%0Apapers3://publication/uuid/AA7D8AD3-4D4F-4B28-87AA-D1E224F47D36>
- Vek V., Poljanšek I., Oven P. 2019. Efficiency of three conventional methods for extraction of dihydrorobinetin and robinetin from wood of black locust. *European Journal of Wood and Wood Products*, 77(5), 891–901. <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01430-x>
- Vek V., Balzano A., Poljanšek I., Humar M., Oven P. 2020. Improving fungal decay resistance of less durable sapwood by impregnation with scots pine knotwood and black locust heartwood hydrophilic extractives with antifungal or antioxidant properties. *Forests*, 11(9), 1–23. <https://doi.org/10.3390/F11091024>
- Vek V., Keržič E., Poljanšek I., Eklund P., Humar M., Oven P. 2021. Wood extractives of silver fir and their antioxidant and antifungal properties. *Molecules*, 26(21). <https://doi.org/10.3390/molecules26216412>

### Ključne besede:

ekstraktivi, polifenoli, vremenski vplivi, pospešena ekstrakcija s topli (ASE)

### Zahvale:

Prispevek je rezultat več med seboj povezanih projektov, ki jih je financirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS): P4-0015 – Programska skupina les in lignocelulozni kompoziti, 0481-09 Infrastrukturni center za pripravo, staranje in terensko testiranje lesa ter lignoceluloznih materialov (IC LES PST 0481-09) in program za usposabljanje mladih raziskovalcev. Del raziskav je bil podprt tudi s projektom, financiranim v okviru skupnega programa EU Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter Slovenske raziskovalne agencije (V4-2017).

# Mineralizacija lesa s spojinami na osnovi karbonatov za izboljšane bistvene značilnosti materiala

**Andreja Pondelak,<sup>1</sup> Friderik Knez,<sup>1</sup> Nataša Knez,<sup>1</sup> Tomaž Pazlar<sup>1</sup> in Andrijana Sever Škapin<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana

E-naslov (korespondenčnega avtorja): andreja.pondelak@zag.si

## **Poudarki:**

- Razvita je bila okolju prijazna metoda mineralizacije lesa za zaščito pred ognjem in biološko razgradnjo, ki temelji na vakuumsko-tlačni impregnaciji z vodno raztopino kovinskih acetoacetatov, ki se globoko v strukturi lesa pretvorijo v karbonate.
- Mineraliziran les ima izboljšane požarne lastnosti in odpornost proti glivam.
- Metoda pomeni nov način vgrajevanja neškodljivih karbonatov v lesno strukturo.

## **Vsebina:**

Med glavnimi pomanjkljivostmi lesa sta njegovi vnetljivost in gorljivost. Odpornost proti ognju lahko izboljšamo z dodajanjem t. i. zaviralcev gorenja, ki pa so lahko okoljsko problematični, zato jih omejujemo in strogo nadzorujemo. Razvoj novih ekološko sprejemljivejših sistemov je zato ključnega pomena. Vključevanje karbonatov v strukturo lesa (t. i. mineralizacija) je okolju prijazna alternativa klasičnim zaviralcem gorenja. Vključevanje karbonatov v strukturo lesa ni preprosto, saj so slabo topni v vodi. Namen projekta *Mineralizacija lesa s spojinami na osnovi karbonatov za izboljšane bistvene značilnosti materiala* (Z4-9298; 2018–2020) je bil razviti okolju prijazen postopek mineralizacije lesa z namenom izboljšati odpornost proti ognju in trajnost lesa. Postopek temelji na vakuumsko-tlačni impregnaciji z vodno raztopino acetoacetatov, ki se globoko v strukturi lesa pretvori v karbonat. Glavni cilji projekta so bili pridobiti in poglobiti znanje o mineralizaciji lesa, oceniti vpliv predlaganega novega postopka mineralizacije na bistvene lastnosti lesa, predvsem na odziv na ogenj, ter določiti mehanizme zaviranja gorenja mineraliziranega lesa. Izbranim vrstam lesa (smrekovini in bukovini) smo določili: (i) optimalne parametre impregnacije za čim večji navzem impregnacijskega sredstva in čim globljo mineralizacijo, (ii) optimalen način sušenja impregniranih vzorcev lesa in (iii) optimalno formulacijo impregnacijskega sredstva. Določili smo tudi vpliv mineralizacije na mikrostrukturo lesa in kristalne modifikacije vgrajenih mineralov.

V času podoktorskega projekta so bili rezultati objavljeni v dveh<sup>1,2</sup> znanstvenih člankih v mednarodnih revijah z visokim faktorjem vpliva. Predlagani postopek mineralizacije je bil patentiran na nacionalnem uradu,<sup>3</sup> obenem pa vložen tudi zahtevek za podelitev patenta na mednarodni ravni. Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) je raziskovalno delo<sup>2</sup> projekta izbrala med »najvidnejše raziskovalne dosežke v navdih mlajši generaciji« za leto 2021.<sup>4</sup>

**Literatura in viri:**

<sup>1</sup> Pondelak, A., Rosi, F., Maurich, C., Miliani, C., Škapin, S. D., Sever Škapin, A. 2019. The role of relative humidity on crystallization of calcium carbonate from calcium acetoacetate precursor. Applied Surface Science 506, 144768. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144768>

<sup>2</sup> Pondelak, A., Sever Škapin, A., Knez, N., Knez, F., Pazlar, T. 2021. Improving the flame retardancy of wood using an eco-friendly mineralisation process. Green chemistry 23 (3), 1130–1135. <https://doi.org/10.1039/D0GC03852K>

<sup>3</sup> Pondelak, A., Sever Škapin, A., Knez, N., Repič, R., Škrlep, L., Pazlar, T., Knez, F., Legat, A. 2021. Postopek mineralizacije lesa z uporabo raztopin acetoacetatov za izboljšanje bistvenih lastnosti lesa: patent SI 25944 A. Ljubljana: Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino.

<sup>4</sup> Pondelak, A., Sever Škapin, A., Knez, N., Knez, F., Pazlar, T. Okolju prijazna zaščita lesa pred ognjem: predstavitev dosežka na nacionalnem dogodku Dan ARRS: Podpiramo odličnost, Odlični v znanosti 2021, tematski sklop »Biotehnika in medicina«, 9. dec. 2021. <https://danarrs.si/>, <http://www.arrs.si/sl/dogodki/21/inc/Dan-ARRS-2021-odlicni1.pdf>.

**Ključne besede:**

les, mineralizacija, impregnacija, zaviralci gorenja, bistvene značilnosti.

**Zahvale:**

Temeljni podoktorski projekt je financirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) – Z4-9298 (2018–2020). Rezultati projekta so plod sodelovanja treh laboratorijev Zavoda za gradbeništvo Slovenije: Laboratorija za polimere, Odseka za lesene konstrukcije ter Požarnega laboratorija in požarnega inženirstva. Nadaljnje raziskave na tej tematiki potekajo v okviru programa: P4-0430 (Gozdno-lesna veriga in podnebne spremembe: prehod v biogospodarstvo) in P2-0273 (Gradbeni objekti in materiali).



# Izkoriščanje dimenzijskih sprememb lesno-plastičnih kompozitov za 4D-tisk

**Daša Krapež Tomec<sup>1</sup>, Matevž Kokot in Mirko Kariž<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-naslov: dasa.krapez.tomec@bf.uni-lj.si

## **Poudarki:**

- Zamisel o dvomaterialnih (lesno-plastičnih) aktuatorjih, ki spreminjajo obliko, temelji na bimetalnih aktuatorjih.
- Anizotropno nabrekanje naravnih vlaken lahko uporabimo kot aktivacijo sprememb oblike pri razvoju 3D-tiskanih higromorfni biokompozitov.
- Sprememba oblike dvoslojnih aktuatorjev je odvisna od lastnosti materialov in njegovih razmerij debelin v kompozitu.

## **Vsebina:**

### **Uvod:**

4D-tisk je razvijajoče se področje znotraj dodajalnih tehnologij (3D-tiska), pri katerih z uporabo materialov, ki pod določenimi pogoji spremenijo svoje lastnosti, oblikujemo izdelke, ki lahko spreminjajo svojo obliko (Ryan et al., 2021). Četrta dimenzija je čas, potreben za aktivacijo in doseganje zelene spremembe. To odpira nove možnosti izdelave dinamičnih struktur, ki se odzivajo na umetne sprožilce (magnetno, električno polje) ali samodejno na spremembe razmer v okolici, npr. temperature ali vlažnosti. Pri 4D-tisku lahko higroskopnost lesa, ki je pogosto pojmovana kot njegova pomanjkljivost, izkoristimo in zasnujemo izdelke, ki spremenijo obliko glede na spremembo podnebnih razmer, predvsem vlažnost okolice.

Učinkovitost proženja/aktiviranja je opisana v povezavi z vsebnostjo vlaken, nadzorom usmerjenosti vlaken in neprekinjenostjo vlaken (Le Duigou et al., 2020).

Razlike v prostorninskem raztezanju, upogibni togosti in modulu elastičnosti vsake plasti so osnova njihovega deformacijskega odziva (Correa et al., 2015). Les s svojo higroskopnostjo ter ortotropnimi krčitvenimi in mehanskimi lastnostmi lahko uporabimo v dvoslojnih/dvomaterialnih kompozitih, pri katerih postane naraven aktuator, ki spreminja obliko s krivljenjem, ter bi se lahko uporabljal za samodejno senčenje, prezračevanje ali »ojačanje« strukture glede na spremembo klime v okolici (Cheng et al., 2021; Reichert et al., 2015; Rüggeberg & Burgert, 2015). Možnosti uporabe lesno-plastičnih aktuatorjev se kažejo pri zasnovah premičnih streh za objekte, kot so stadioni, za aktivne fasade (senčenje), prezračevalne lopute v klimatskih sistemih ipd.

V raziskavi smo za zasnovo dinamičnih struktur (princip 4D-tiska) iz lesno-plastičnih kompozitov preizkušali uporabo simulacij v programu SolidWorks. S FDM-tehnologijo (modeliranje s spajanjem slojev) 3D-tiska smo iz PLA (polimlečna kislina) in lesno-plastičnih filamentov (les-PLA) izdelali preizkušance z različnimi razmerji materialov in proučili njihov odziv, zlasti spremembe oblike – amplitudo krivljenja pri laboratorijskem izotermnem spreminjanju relativne zračne vlažnosti (RZV). Cilj raziskave je bil ugotoviti, ali lahko običajno nezaželene dimenzijske spremembe lesa v lesno-plastičnih filamentih ob spremembi vlažnosti uporabimo kot sprožilec spreminjanja oblike lesno-plastičnega kompozita ter uporabimo lesno-plastične kompozite za 4D-tisk ter kako lahko s poznavanjem materialnih lastnosti in numeričnimi simulacijami predvidimo spremembe oblike.

### Material in metode:

Zasnovani so bili preizkušanci dimenzij 200 x 12 x 1,8 mm<sup>3</sup> iz dveh materialov – spodnji (»pasivni«) sloji iz PLA, zgornji (»aktivni«) pa iz lesno-plastičnega kompozita WPL15 oziroma WPL25. Debelina posameznega sloja je bila 0,3 mm, skupna debelina preizkušancev je bila vedno 1,8 mm, s spreminjanjem števila slojev posameznega materiala pa smo spreminjali delež pasivnega PLA in delež aktivnega lesno-plastičnega kompozita v sestavljenem preizkušancu (skupaj 6 slojev, slika 2).

Za spremljanje spremembe oblike, kot je ukrivljanje, smo izdelali sestavljene preizkušance po principu bimetala (aktuatorje), pri katerih smo za pasivno plast (ob spremembi vlažnosti okolice ne spreminja svojih dimenzij) uporabili PLA, za aktivno plast (spreminja dimenzije ob spremembi vlažnosti okolice) pa les-PLA v različnih razmerjih debelin.

Za 3D-tiskanje sta bila uporabljena dva materiala – komercialni PLA filament (Plastika Trček, Slovenija; označen kot PLA) in lesno-plastični filament, izdelan iz PLA-polimera s 25-% deležem lesnih delcev (velikosti 70 do 150 µm, Arbocel C100) (izdelan v Kompetenzzentrum Holz GmbH, Linz, Avstrija; označen kot WPL25).

Vsi preizkušanci so bili natisnjeni na 3D-tiskalniku Creality CR-10-V3 (Creality 3D Technology Co., Ltd, Shenzhen, Kitajska) z neposrednim iztiskalnikom (ekstruderjem). Debelina sloja tiskanja je bila 0,3 mm, premer šobe 0,4 mm, temperatura tiskanja 200 °C, temperatura mize tiskalnika 50 °C. Modeli so bili izdelani v programski opremi SolidWorks (SolidWorks Corp., Massachusetts, ZDA), shranjeni v STL-formatu in pripravljeni na tisk v programski opremi Cura V4.10.0. (Ultimaker, Utrecht, Nizozemska). Preizkušanci so bili natisnjeni kot polni (solid) s 45-stopinjskim potekom linij tiskanja glede na dolžino preizkušanca (izmenično en sloj +45°, naslednji sloj -45° glede na dolžino preizkušanca).

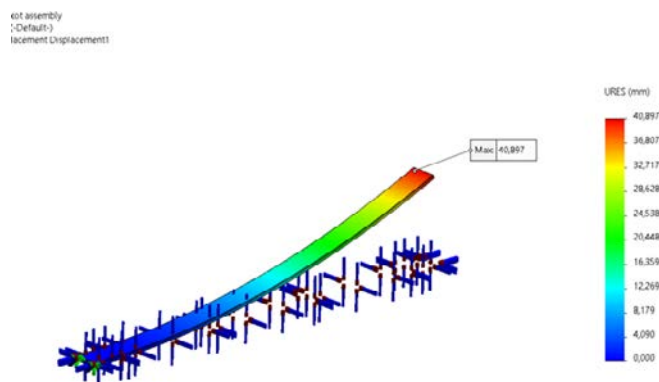
Odmik vzorcev iz PLA in les-PLA smo sprva proučili z računalniškimi simulacijami, s programsko opremo SolidWorks Simulation. Izvedli smo simulacije odzivnosti vzorcev na spremembe vlažnosti v klimi. Proučevali smo, kolikšni so največji odmiki pri treh različnih vlažnostih (80 %, 65 % in 20 %).

Sprememba oblike sestavljenega preizkušanca – velikost odklona od začetnega položaja je odvisna od razmerja materialov v preizkušancu, razmerja modula elastičnosti, Poissonovega razmerja, gostote materialov in dimenzijske stabilnosti. Tako smo morali pred začetkom simulacij določiti elastične module materialov in njihove koeficiente dimenzijske stabilnosti. Uporabili smo enako Poissonovo razmerje pri vseh materialih (0,394), modul elastičnosti je bil izmerjen pri treh različnih RZV, gostota je bila določena hkrati z meritvami dimenzijske stabilnosti. Koeficient razteznosti je bil izračunan kot količnik vzdolžnega nabreka in spremembe vlažnosti.

Pri simulacijah smo uporabili določene poenostavitve. Program SolidWorks (SW) nima možnosti izbire simulacije vlažnostnih razmer, zato so bile simulacije prilagojene – v programu smo izbrali statično simulacijo z dodano temperaturno obremenitvijo, ki je predstavljala vlažnostne spremembe. Temperaturno obremenitev smo obravnavali kot spremembo vlažnostnih razmer v podnebjju. Materiale smo določili kot linearne izotropne, kar je sicer poenostavilo simulacije, vendar je tudi prispevalo k manjši natančnosti rezultatov. 3D-natisnjeni elementi so namreč izrazito ortotropni zaradi slojevite gradnje in nadaljevanje raziskav v tej smeri je nujen naslednji korak. Kot rezultat simulacije smo spremljali vizualni prikaz odklona s številčnim prikazom odklona od začetnega položaja (slika 1). Simulacije elementov, sestavljenih iz dveh različnih materialov, so bile izvedene kot sestavljen (lepljen) sistem iz dveh različnih kosov (spodnjega in zgornjega), tako smo spreminjali tudi razmerje debelin različnih materialov.

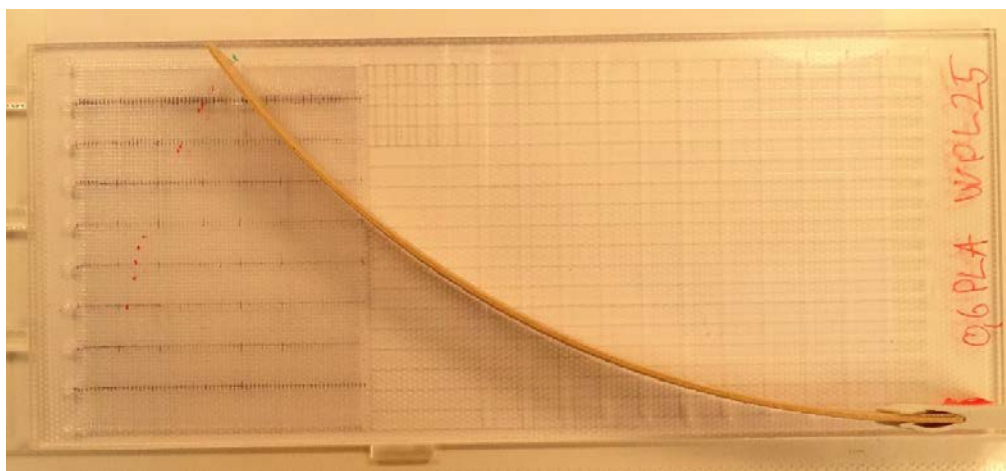
Preglednica 1: Modul elastičnosti (pri RZV 80 %) in njegov standardni odklon ter vzdolžni raztezek izbranih materialov (z 20 na 80 % RZV)

Material	Modul elastičnosti [MPa]	Vzdolžni raztezek [%]
PLA	2834	0,09
WPL25	2001	0,47



Slika 1: Simulacija/prikaz deformiranega preizkušanca 0,6 PLA WPL25 ob izpostavitvi vlažni klimi v programu SolidWorks (z 20 na 80 % RZV)

Za meritve dejanskega odklona elementov ob spreminjanju klimatskih razmer so bili natisnjeni preizkušanci vpeti v prilagojeno merilno podlogo in izpostavljeni vlažni klimi (80 % RZV, 20 °C) v solni klimatski komori z natrijevim nitratom (NaNO<sub>3</sub>). Po vnaprej določenih časovnih intervalih (1, 2,5, 4, 6, 23, 27, 50, 54, 72, 168 ur) so bili merjeni odmiki preizkušancev (slika 2).



Slika 2: Maksimalni upogib preizkušanca 0,6 PLA WPL25 po 168-urni izpostavitvi v vlažni klimi (RZV 80 %, T = 20 °C)

### Rezultati:

Pri simulaciji 3D-natisnjenih elementov v vlažni klimi (RZV 80 %, T = 20 °C) po pričakovanjih ugotavljamo največje upogibne odklone pri elementih z večjim deležem lesno-plastičnega kompozita/filamenta. Pri navlaževanju se je pojavila velika razlika v raztezkih, kar je privedlo do večjih notranjih napetosti med materialoma in do nastanka upogibnega momenta sil. Rezultat so večji odmiki od ravnovesne lege (preglednica 2).

Preglednica 2: Izračunan največji upogibni odklon elementov iz simulacije v programu SolidWorks (RZV 80 %, T = 20 °C) in izmerjeni odmiki pri laboratorijski izpostavitvi v vlažni klimi (RZV 80 %, T = 20 °C)

Razmerje materiala	Material		SW (RZV 80 %, T = 20 °C)	Lab. (RZV 80 %, T = 20 °C)
	Pasivna plast	Aktivna plast	Odmik [mm]	Odmik [mm]
1 : 5	PLA 0,3 mm	WPL25 1,5 mm	43,6	70
2 : 4	PLA 0,6 mm	WPL25 1,2 mm	38,5	90
3 : 3	PLA 0,9 mm	WPL25 0,9 mm	27,2	83
4 : 2	PLA 1,2 mm	WPL25 0,6 mm	2,6	63
5 : 1	PLA 1,5 mm	WPL25 0,3 mm	0,2	29

Simulacije so pravilno napovedale spremembo oblike – smer odklona, kar nam lahko služi pri konstruiranju in razvoju izdelkov s to tehnologijo, vendar so bili dejanski odmiki vedno večji, kot so predvidevale simulacije.

Vzrokov je več. Med njimi so predvsem poenostavitve, ki smo jih uporabili pri simulacijah: material, določen kot izotropen, čeprav je v resnici 3D-tiskan material ortotropen – velja tako za module elastičnosti v različnih smereh kot vlažnostne raztezke. Uporabljen je bil model za temperaturne spremembe, saj v tej različici programske opreme model vlažnostnih sprememb ni na voljo. Površina 3D-tiskanih elementov ni gladka, kot je predvideno v simulaciji, ampak je zaradi slojevite gradnje in tiska s šobo relativno majhnega premera hrapava in slojevita, kar poveča površino preizkušanca. Med tiskom s staljenim polimerom, ki se potem ohladi prilepljen na mizo tiskalnika, v izdelku nastanejo notranje napetosti, ki se sprostijo ob navlaževanju in s tem povečajo deformacijo.

Prav tako je izrazito pomembna natančna določitev lastnosti osnovnih materialov, predvsem vlažnostnih raztezkov – že majhna napaka pri določanju se potem izrazito pokaže pri simulaciji, tako da bodo potrebne še dodatne meritve dimenzijskih sprememb osnovnih materialov za določitev natančnejših deformacij.

Odmik dvoslojnih preizkušancev ob koncu navlaževanja (po 168 urah v laboratorijskih razmerah v vlažni klimatski komori na 80 % RZV in 20 °C) je pokazal največji upogib pri aktuatorjih z debelino PLA 0,6 mm (WPL25 1,2 mm) in 0,9 mm (WPL25 0,9 mm) (preglednica 2). Rezultati so skladni s Timošenkovo teorijo (Timoshenko S., 1953). Adsorpcija vlage je bila, kot je bilo predvideno s simulacijami, večja pri kompozitih z manjšo vsebnostjo pasivne (PLA) plasti. Rezultati nakazujejo, da lahko z manjšo debelino pasivne (PLA) plasti v povezavi z opisanim povečanjem poroznosti (Kariz et al., 2018) higroskopske plasti (lesno-plastični kompozit) učinkovito dosegamo večje odmike aktuatorja.

Rezultati simulacij in laboratorijske meritve odmikov so pokazali, da dodatek lesa pri lesno-plastičnih kompozitih v spreminjajoči se klimi povzroča dimenzijske spremembe in s tem spremembe oblike načrtovanih aktuatorjev. Sprememba oblike je odvisna od razmerja debelin slojev materialov v dvoslojnem aktuatorju, mehanskih lastnosti materialov, od sorpcije vodne pare in od vsebnosti lesa v uporabljenem lesno-plastičnem kompozitu.

### **Sklepi:**

Za simulacije in kasneje za laboratorijske meritve smo uporabili aktuatorje iz PLA in kompozitov les-PLA z različnim razmerjem debeline slojev posameznega materiala ter proučili njihov odziv, zlasti spremembe oblike – amplitudo krivljenja. Na podlagi Timošenkove teorije, uveljavljene za higroskopske dvoslojne materiale (angl. bilayers), mora biti debelina aktivne plasti večja od debeline pasivne plasti (Le Duigou et al., 2017) ter v ustreznem razmerju glede na elastični modul uporabljenih materialov. Dodatek lesa v PLA ustvari higroskopsko aktiven kompozit, ki zagotavlja deformacijo med adsorpcijo in desorpcijo v spremenljivih podnebnih razmerah. Ko je vzorec dovolj tanek, se material odzove z razbremenitvijo napetosti z elastično deformacijo, to je s krčenjem in raztezanjem. Ker je dinamika higromorfizma hitrejša pri kompozitih z manjšim deležem aktivne plasti, je treba pri uporabi dvomaterialnih aktuatorjev najti kompromis med hitrostjo in amplitudo odmika (Krapež Tomec et al., 2021).

### Literatura in viri:

Cheng, T., Thielen, M., Poppinga, S., Tahouni, Y., Wood, D., Steinberg, T., Menges, A., & Speck, T., 2021. Bio-Inspired Motion Mechanisms: Computational Design and Material Programming of Self-Adjusting 4D-Printed Wearable Systems. *Advanced Science*, 2100411(13), 1–12. <https://doi.org/10.1002/advs.202100411>

Correa, D., Papadopoulou, A., Guberan, C., Jhaveri, N., Reichert, S., Menges, A., & Tibbits, S., 2015. 3D-Printed Wood: Programming Hygroscopic Material Transformations. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 2(3), 106–116. <https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/3dp.2015.0022>

Kariz, M., Sernek, M., Obučina, M., & Kuzman, M. K., 2018. Effect of wood content in FDM filament on properties of 3D printed parts. *Materials Today Communications*, 14(December 2017), 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2017.12.016>

Krapež Tomec, D., Straže, A., Haider, A., & Kariž, M., 2021. Hygromorphic Response Dynamics of 3D-Printed Wood-PLA Composite Bilayer Actuators. *Polymers*, 13, 3209. <https://doi.org/10.3390/polym13193209>

Le Duigou, A., Correa, D., Ueda, M., Matsuzaki, R., & Castro, M., 2020. A review of 3D and 4D printing of natural fibre biocomposites. In *Materials and Design* (Vol. 194). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108911>

Le Duigou, A., Requile, S., Beaugrand, J., Scarpa, F., & Castro, M., 2017. Natural fibres actuators for smart bio-inspired hygromorph biocomposites. *Smart Materials and Structures*, 26(12), 125009. <https://doi.org/10.1088/1361-665X/aa9410>

Reichert, S., Menges, A., & Correa, D., 2015. Meteorosensitive architecture: Biomimetic building skins based on materially embedded and hygroscopically enabled responsiveness. *CAD Computer Aided Design*, 60, 50–69. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2014.02.010>

Rüggeberg, M., & Burgert, I., 2015. Bio-Inspired Wooden Actuators for Large Scale Applications. *PLOS ONE*, 10(4), e0120718. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0120718>

Ryan, K. R., Down, M. P., & Banks, C. E., 2021. Future of additive manufacturing: Overview of 4D and 3D printed smart and advanced materials and their applications. *Chemical Engineering Journal*, 403, 126162. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126162>

*The Collected Papers of Stephen P. Timoshenko. (Book, 1953) [WorldCat.org].* (n.d.). Retrieved June 10, 2021, from <https://www.worldcat.org/title/collected-papers-of-stephen-p-timoshenko/oclc/472247871>

### Ključne besede:

3D-tisk, 4D-tisk, lesno-plastični kompoziti, materiali z oblikovnim spominom, simulacije

### Zahvale:

Študijo je financirala ARRS (v okviru raziskovalnega programa št. P4-0015 »Les in lignocelulozni kompoziti« in programa Mladi raziskovalec (MR)).



# PRISPEVKI ZA OKROGLO MIZO

## ZNANSTVENO SREČANJE

### Podnebne spremembe in biogospodarstvo: izzivi in priložnosti slovenske gozdno-lesne verige

#### **Povzetki in sklepi posveta, ki je bil 26. 1. 2022 na Slovenski akademiji znanosti in umetnosti**

Gozdovi, ki pokrivajo približno 35 odstotkov kopne Evrope, so habitat številnim živalskim in rastlinskim vrstam in glivam, so glavni vir čiste vode in lesa ter pomemben ponor atmosferskega ogljika. Ohranjeni gozdni ekosistemi, ki sledijo naravni dinamiki procesov, izpolnjujejo in zgotavljajo vsestranske rabe in funkcije. Za ohranjanje sposobnosti prilagajanja gozdov na spreminjajoče se okolje so nujni kombinacija naravne in umetne obnove, ohranjanje biotske in genetske pestrosti gozdov ter hitro odzivanje na vdore in prenamnožitve bolezni in škodljivcev gozdnega drevja. Slovenska gozdarska šola vključuje trajnostno (vzdržno), multifunkcionalno in sonaravno gospodarjenje z gozdovi. Ob razvoju znanja o dinamiki procesov v gozdnih ekosistemih in nezadostnosti naravne obnove v času hitrih podnebnih sprememb in ujm je slovenska gozdarska šola začela vključevati nove razvojne smeri. Te temeljijo na ohranjanju in povečevanju vrstne in genetske pestrosti gozdnega drevja, spoznavanju razvojnih trendov gozdnih drevesnih vrst v spreminjajočem se okolju ter pomena bolezni in škodljivcev za dolgoročno uspevanje gozdov, kot jih poznamo danes.

V Sloveniji palinološke raziskave akademika Alojza Šerclja kažejo na razvoj do končne optimalne faze v subatlantskem obdobju, ki na velikem območju Slovenije predstavlja današnjo fazo jelke in bukve (*Abieti-Fagetum* s. lat.). Sukcesije (faze), nastale zaradi ujma ali antropozoogenih dejavnikov, so sekundarne faze, vezane na degradacijo talnih razmer in šele nedavno na podnebne razmere. Akademik Mitja Zupančič je v svojem nagovoru *Gozd v času (včeraj, danes, jutri)* opozoril na lastna opazovanja spremembe uspevanja bukve v zadnjih 50 letih, ko subatlantik holocenskega obdobja prehaja v antropocensko obdobje. V spreminjajočih se razmerah se bodo bukvi predvidoma pridružile toploljubne vrste, npr. hrasti: cer, puhasti hrast, črnika, črni gaber, mali jesen, rdeči in črni bor idr.

Pomembno posvetovanje, ki s koristnim sodelovanjem Sveta za varovanje okolja (SVO) in SAZU postaja že tradicionalno, združuje in krepi stroko, je poudaril prof. Nikolaj Torelli. Gozd je praktično edini mehanizem, ki sprejema ogljik iz atmosfere. Pri tem je bistveno vzdržno (»trajnostno«), ekosistemsko (»sonaravno«) in večfunkcijsko gospodarjenje z gozdovi ter »gojenje« kakovosti lesa. S kakovostjo lesa se širita njegovi uporabnost in dolžina sekvestracije, kar je še posebej pomembno v gradbeništvu, kjer z lesom in lesnimi materiali nadomeščamo energijsko intenzivne neobnovljive materiale. Svežega ali odsluženega, z malo lepili, premazi in impregnanti, lahko pogojno ter s primerno tehniko in tehnologijo uporabimo kot CO<sub>2</sub> nevtralen energent. Potrebujemo redna znanstvena posvetovanja, sodelovanje stroke in naložbe v »gojenje« kakovosti lesa, industrijsko proizvodnjo lesenih izdelkov, inovacije pri zaščiti lesa in dizajnu. Prof. Torelli je spomnil na genialno preprost stol Rex prof. Kralja iz upognjenih vezanih bukovih plošč in Thonetovo pohištvo iz krivljenih bukovih palic. »Če ne bi bilo lesa, bi

ga bilo treba izumiti,« je prof. Torelli citiral prof. Teischingerja z Univerze BOKU.

Danes na gozd vplivajo čedalje pogostejše velikopovršinske ujme, podnebne spremembe in globalizacija z vnosom novih boleznih in škodljivcev. Posledice novovnesenih boleznih in škodljivcev je težko finančno vrednotiti, jasno pa je, da bodo prizadete vse funkcije gozdov, ogroženi bosta ekosistemska stabilnost in raznovrstnost. Dr. Barbara Piškur je v svoji predstavitvi navedla izračune Evropske komisije iz leta 2011, da se ekonomske posledice zaradi izbruha karantenskega škodljivega organizma gibljejo med 39 do 90 milijardami EUR, kar ogroža delovna mesta (npr. 11.000 delovnih mest v primeru izbruha borove ogorčice v EU); potrebnih bi bilo več desetletij, da bi na novo zasnovani gozdni sestoji lahko dajali prve donose. Ukrepi prilagajanja podnebnim spremembam in zaščita biotske raznovrstnosti so tudi elementi mehanizma NextGeneration EU – Načrta za okrevanje in obnovo EU (NOO). Investicijski nacionalni projekt NOO »Center za semenarstvo, drevesničarstvo in varstvo gozdov« prinaša okrepitev javne raziskovalne infrastrukture za podporo prizadevanju za povečanje odpornosti gozdnih ekosistemov ter gozdno-lesne verige proti podnebnim spremembam.

V obdobju 2014–2018 je gozd v Sloveniji, ki je tradicionalno ponor CO<sub>2</sub>, občasno postal vir toplogrednih plinov zaradi žledoloma, vetrolomov in napadov podlubnikov, ki so bili vzrok za obsežne sanitarne sečnje, kot je v diskusiji poudaril dr. Primož Simončič; skupen posek na letni ravni je bil blizu ali pa celo večji od prirastka gozdov. V zadnjih dveh letih (2020–2021) se je sanitarni posek precej zmanjšal, kar je vzrok za večji ponor CO<sub>2</sub> in dokaj velik vpliv na nacionalno bilanco toplogrednih plinov. Glede na hitro spreminjajoče se podnebne razmere in njihove posledice za okolje in delovanje gozdnih ekosistemov moramo razmisliti, kako se jim bomo prilagajali. Prav tako moramo poiskati ustrezne ukrepe blaženja posledic podnebnih sprememb v gozdarstvu in gozdno-lesni verigi. Nujni so večja prilagodljivost, sprejemanje stalnih sprememb, ohranjanje gozdnih površin in skrb za njihovo stabilnost (npr. z ustrezno vrstno sestavo in vključevanjem dobrih praks obstoječega načina gospodarjenja z gozdovi in tudi z vključevanjem novih dognanj). Nujna sta vlaganje v izobraževanje, znanje in razumevanje novih procesov ter inovativno iskanje rešitev v gozdarstvu in lesarstvu.

*Sonaravno gospodarjenje* vključuje ohranjanje stabilnih gozdnih površin in ugodnega razmerja med prirastkom in posekom ter krepitev odpornosti gozdov s prilagajanjem drevesne sestave, starostne strukture in z izvajanjem negovalnih in varstvenih del v gozdovih. Ukrepi, kot so povečana sečnja za doseganje boljše starostne sestave gozdov, lahko za določen čas povzročijo večje emisije toplogrednih plinov, dolgoročno pa omogočajo večjo stabilnost gozdov, je poudaril dr. Boštjan Mali.

Gozdarski sektor je eden izmed ključnih pri prehodu v nizkoogljično in podnebju prijazno gospodarstvo. Kljub velikemu deležu gozdnatosti in bogatim naravnim virom pa je ta sektor v Sloveniji premalo izkoriščen. A vendarle so njegov potencial prepoznali tudi oblikovalci politik, saj je les v zadnjih letih opredeljen kot nacionalni strateški vir zaradi pomembnosti kot material in vir energije. Z velikim deležem gozdnatosti in bogatimi naravnimi viri ima Slovenija velik potencial za prehod v krožno biogospodarstvo. Zaradi majhnosti ne more biti konkurenčna na svetovnih trgih v smislu oskrbe z lesom, saj obsega manj kot dva odstotka celotne evropske zaloge lesa na manj kot odstotek površine gozda. Naša konkurenčna prednost je lahko v proizvodnji zelo kakovostnega lesa in izdelkov iz lesa z veliko dodano vrednostjo. Zdrav gozd je dober začetek gozdno-lesne verige, ki se lahko konča v kakovostni in donosni uporabi lesa. S podporo trajnostnemu gospodarjenju, celovitemu varovanju gozdnih virov in biotske raznovrstnosti ter z uvajanjem okolju prijaznih, družbeno sprejemljivih in ekonomsko upravičenih izdelkov in delovnih procesov na osnovi lesa bodo aktivnosti nove programske skupine P4-0430, ki jo vodi dr. in jo je predstavila Jožica Gričar ter združuje raziskovalce Gozdarskega inštituta Slovenije, Biotehniške fakultete in Zavoda za gradbeništvo, usmerjene k povečanju prispevka gozdno-lesne verige k nacionalnemu gospodarstvu.

Rezultate svojih raziskav, obstoječih provenienčnih poskusov različnih drevesnih vrst, je predstavil dr. Luka Krajnc, z ugotovitvijo, da lahko že izločimo najbolj obetavne provenience posameznih vrst za prihodnost. Lahko jih npr. izberemo glede na čim večjo odpornost proti prihodnjim podnebnim razmeram v kombinaciji s potencialnimi lastnostmi lesa v prihodnosti. Tako izbrane provenience iz naših in tujih provenienčnih poskusov bi bilo potrebno in smiselno začeti dopolnilno saditi v sestoj, v katerih so te posamezne drevesne vrste že naravno prisotne. S tem bi te sestoj dodatno zavarovali pred podnebnimi spremembami in povečali celotno odpornost slovenskih gozdov.



Smernice preteklih let kažejo, da je les listavcev iz slovenskih gozdov slabo izkoriščen, čeprav bo delež v prihodnjih letih še naraščal v lesni zalogi. V Sloveniji torej z vidika izkoriščenosti potenciala sortimentov lesa listavcev obstajajo izrazite rezerve. Te kaže iskati zlasti v povečanju gospodarske rabe okroglega lesa znotraj Slovenije in krepitvi tehnološko naprednejših alternativ energijski rabi. Na Gozdarskem inštitutu Slovenije, kot je predstavil dr. Peter Prislan, potekajo raziskave potencialov lesa listavcev v slovenskih gozdovih, spremljanje in evidentiranje tokov tega lesa, vrednotenje novih tehnologij predelave in novih proizvodov z veliko dodano vrednostjo. Ugotavlja, kakšne multiplikativne učinke bodo imeli izboljšanje učinkovitosti izrabe lesa listavcev, prestrukturiranje in nadgradnja gospodarskih aktivnosti na gospodarstvo.

Vodja Centra odličnosti InnoRenew, dr. Andreja Kutnar, pa je poudarila, da mora slovenska gozdno-lesna veriga slediti načelom novega evropskega Bauhausa in postati stičišče umetnosti, kulture, socialne vključenosti, znanosti in tehnologije. Evropski zeleni dogovor je vključen tudi v slovensko industrijsko strategijo, ki poudarja pomen lesa in lesnopredelovalne industrije, je dodal Igor Milavec iz GZS.

S kakovostjo lesa se povečujeta njegova uporabnost in dolžina sekvestracije, vendar podnebne spremembe vplivajo na gozdno sestavo in kakovost lesa, je poudaril prof. Miha Humar. Predvsem odpornost lesa, ki ga pridobivamo danes, ni vedno primerljiva s podatki izpred nekaj desetletij. To se še posebej kaže pri lesu iglavcev. Pereča je sprememba dinamike razkroja lesa. Razkroj v večini Slovenije že zdaj poteka hitreje kot pred desetletji. To se še posebej pozna v alpskih dolinah. Dinamika se lahko še pospeši v primeru pojava novih škodljivcev, kamor na primer spadajo termiti.

Različne zaščite lesa že vrsto let proučujejo na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani, zaščito pred ognjem pa na Zavodu za gradbeništvo Slovenije. Dr. Andreja Pondelak je predstavila preprost in učinkovit način vključevanja karbonatov v sestavo lesa, ki so ga razvili nedavno. S tem so na okolju in zdravju bolj sprejemljiv način bistveno izboljšali požarne lastnosti lesa in hkrati ohranili njegove bistvene lastnosti.

Prof. Janez Krč je poudaril, da les kot material ob upoštevanju celotnega življenjskega cikla potrebuje manj energije za pridelavo, pridobivanje in predelavo kot drugi konkurenčni materiali. Lahko ima več življenjskih ciklov, ki se končajo z rabo lesa kot energenta (v tehnološko sodobnih sistemih daljinskega ogrevanja). Prof. Sergej Medved pa se je dotaknil uporabe lesa slabše kakovosti. Les slabše kakovosti, les, ki ostane na tleh zaradi delovanja ujm ali napada insektov pa tudi pri rabi ostankov po sečnji, žagarskih obratov ali mizarskih obratov, bi lahko uporabili bolj učinkovito. Vsa ta surovina se lahko uporabi za izdelavo različnih lesnih ploščnih kompozitov in tako uskladišči CO<sub>2</sub> za več desetletij.

Slovenija se uvršča med privilegirane države sveta, ki razpolagajo s ključnimi obnovljivimi naravnimi viri za neizogiben prehod v skoraj brezogljično in snovno zasnovano biogospodarstvo, je na koncu poudaril prof. Dušan Plut. Praviloma dobro ohranjeni in izjemno bioproduktivni gozdni ekosistemi so ključna gospodarska, energijska pa tudi podnebna podlaga, so naravni izziv in priložnost Slovenije za blaženje podnebnih sprememb in tudi za opustitev linearno zasnovanega modela rasti.

Avtorji:

Jožica Gričar, Miha Humar, Luka Krajnc, Janez Krč, Andreja Kutnar, Boštjan Mali, Sergej Medved, Igor Milavec, Barbara Piškur, Dušan Plut, Andreja Pondelak, Peter Prislan, Primož Simončič, Nikolaj Torelli, Mitja Zupančič in Hojka Kraigher.

# Strategija razvoja elektroenergetsko-podnebnega sistema Slovenije do leta 2050

Opomba: Naslednje točke so glavne ugotovitve, povzete iz predstavitve Strategije razvoja elektroenergetsko-podnebnega sistema Slovenije do leta 2050.

Avtorji predstavitve so:

**Aleksander Mervar, Dejan Paravan, Jože P. Damijan, Drago Babič, Tamara Lah Turnšek s skupino za naravovarstvo in biodiverzitetu (Izidor Ostan Ožbolt, Darja Stanič, Al Vrezec, Tina Eleršek in Nina Bodanaršek) in delovna skupina SAZU**

- Zeleni prehod slovenske elektroenergetike je izvedljiv! Že leta 2035 lahko proizvedemo dovolj brezogljicne električne energije, da pokrijemo potrebe slovenskih odjemalcev.
- Scenarij predvideva samooskrbo Slovenije z električno energijo (gledano v povprečju), pri čemer uvozna odvisnost na letni ravni ne presega 10 %, razen v letu med izstopom TEŠ 6 in zagonom JEK.
- Neporabljena kWh je najčistejša in najcenejša, zato velja pri odjemu spodbujati učinkovito rabo energije in izkoristiti vse smiselne možnosti zmanjšanja porabe zlasti v najbolj potratnih sektorjih.
- Kljub temu bo zaradi procesa elektrifikacije in gospodarske rasti RS poraba električne energije do leta 2050 zrasla za 74 % ali 10 TWh.
- Elektrifikacija in porast rabe električne energije bosta posledično zmanjšala celotno končno rabo energije za 27 % ali 14 TWh.
- Pri izbiri optimalne strukture v proizvodnji smo upoštevali vpliv novih enot na biotsko raznovrstnost. Preobrazba elektroenergetskega sistema tako do leta 2050 predvideva:
  - 6.978 MW novih sončnih elektrarn, 506 MW novih vetrnih in 144 MW novih hidroelektrarn,
  - 1.100 MW nove jedrske elektrarne JEK 2 in še eno podaljšanje življenjske dobe NEK do leta 2063,
  - 103 MW kogeneracij na biomaso in 45 MW kogeneracij na komunalne odpadke.
- Povečan delež proizvodnje iz obnovljivih virov zahteva naložbe v fleksibilne vire:
  - 3.388 MW baterijskih hranilnikov,
  - 440 MW črpalnih elektrarn, TEŠ 6,
  - 400 MW novih elektrarn na zemeljski plin, ki jih je mogoče pozneje predelati v elektrarne na vodik, in še dodatnih 421 MW elektrarn na vodik,
  - 2.000 MW elektrolizerjev za proizvodnjo zelenega vodika.
- Povečan odjem in preobrazba proizvodnje zahtevata takojšnjo ustrezno spremembo in nadgradnjo elektroomrežij (distribucijskih omrežij in prenosnega omrežja).
- Ocenjujemo, da bo zeleni prehod zahteval (brez stroškov ukrepov URE in zmanjšane porabe EE):
  - pri proizvodnji naložbe v višini 11,2 mrd. EUR,
  - pri fleksibilnih virih 3,7 mrd. EUR in
  - pri elektroenergetskih omrežjih 2,3 mrd. EUR.
- Skupaj torej 17 mrd. EUR ali v povprečju letno 1 % BDP.
- Kapitalsko najintenzivnejše obdobje bo prva polovica tretjega desetletja zaradi naložbe v JEK 2.
- Okoljske zahteve izhajajo iz zakonodaje EU, zato bližnjic mimo njih ni.

- Upoštevati je treba dosedanje sodbe sodišč (upravno sodišče: ANOVE in NEPN in DPN HE Mokrice; SEU pravna praksa).
- Sistemski težavi iz sodb:
  - OP in/ali presoje nosilcev projekta/načrta niso skladne z zakonodajo SI in EU:
  - izboljšati strokovno raven gradiv nosilcev.
  - Manko kritične presoje in postopkovne napake pristojnega organa:
  - izboljšati usposobljenost upravnega kadra/preveritev učinkovitosti procesiranja vlog.
- NVO v javnem interesu na področju okolja imajo po zakonu status stranke v upravnih in sodnih postopkih, zato jih v postopkih ni smiselno izključevati, ampak raje vključevati.

Na okrogli mizi bo predstavljen akcijski načrt ključnih ukrepov do leta 2030.

Opombi:

- Izvleček so organizatorji sestavili iz predstavitve z istim naslovom: *Strategija razvoja elektroenergetsko-podnebnega sistema Slovenije do leta 2050*.

# Kako bomo dosegli ogljično nevtralnost in energetska neodvisnost, če ne podpiramo rabe lesa v energetske namene?

## Dr. Nike Krajnc

Vodja oddelka za gozdno tehniko in ekonomiko, Gozdarski inštitut Slovenije

Raba lesa v energetske namene je v Sloveniji tradicionalna in pomembna predvsem kot vir energije v gospodinjstvih. To je povezano tudi z dejstvom, da je kar 77 odstotkov vseh gozdov v zasebni lasti. Raziskava, ki jo je izvedel Gozdarski inštitut Slovenije (2017), potrjuje, da je les pomemben energent na podeželju, saj se več kot 55 odstotkov gospodinjstev ogreva z lesnimi gorivi. Omenjeni vprašalnik je bil usmerjen na rabo lesa na podeželju, v mestih in večjih naseljih je razmerje med energenti seveda drugačno. Večina gospodinjstev, ki so za ogrevanje uporabljala drva (56 odstotkov), so jih pridobila iz svojega ali sorodnikovega gozda, kar pomeni, da je več kot polovica gospodinjstev, ki se ogrevajo na drva, samooskrbnih.

Lesna goriva so in bodo zaradi energetske krize še pomembnejši energent na podeželju, saj omogočajo večjo energetska samooskrbnost, prispevajo k boljšemu socialno-ekonomskemu položaju in ustvarjajo nova zelena delovna mesta.

Negativna plat lesnih goriv so zgolj emisije prašnih delcev, ki pa jih lahko z rabo kakovostnih lesnih goriv v sodobnih kurilnih napravah bistveno zmanjšamo. Za izboljšanje kakovosti zraka je smiselna podpora manjšim daljinskim sistemom oz. skupinskim kurilnim napravam, ki lahko v strnjениh naseljih nadomestijo več individualnih kurilnih naprav.

Raba lesa v energetske namene pa pogosto spremlja strah, da bomo v energetske namene porabili les, ki bi ga sicer lahko predelali v izdelke z večjo dodano vrednostjo. Ta strah je v primeru Slovenije neupravičen in pretiran. V energetske namene se uporabljata predvsem les listavcev slabše kakovosti in droben les, ki ne izvira izključno iz rednega poseka, temveč tudi z zunajgozdnih površin (vzdrževanje obmejnikov, brežin, pasov ob vodotokih in zaraščajočih površin). Tako raba lesa v energetske namene celo pozitivno vpliva na vzdrževanje kulturne krajine in izvajanje nujnih negovalnih del v mlajših razvojnih fazah gozdov. Velikokrat se poudarja, da je v energetske namene uporaben zgolj les na koncu svojega življenjskega cikla (odslužen les), kar pa ne drži, saj je tak les le pogojno uporaben zaradi onesnaženosti z barvili in lepili. Največkrat je odsluženi les prikazan kot odpadek, ki spada v sežigalnice, in ne kot energent za v naše peči.

V Sloveniji je potreba po toploti v zimskem času nujna. Kaj bomo ponudili ljudem na podeželju, ki si zdaj sami pripravijo kurjavo, če prepovemo rabo lesa v energetske namene? Jih bomo spet preusmerili v rabo kurilnega olja? Sončna energija in veter ne moreta zagotoviti toplote, ki jo potrebujemo v svojem domu. Ostajajo samo še fosilna goriva, ki pa nas ne vodijo v razogljičenje, temveč nazaj v dobo fosilnih goriv. Je to prihodnost, ki jo želimo zapustiti svojim otrokom?

# Lesna biomasa je največji obnovljivi vir energije v Sloveniji

## Mag. Stane Merše

Center za energetska učinkovitost, Institut »Jožef Stefan«

E-naslov: stane.merse@ijs.si

### Poudarki:

- Lesna biomasa je največji obnovljivi vir energije v Sloveniji.
- Po opustitvi domače proizvodnje premoga bo največji domači vir energije.
- Z razširitvijo lesnopredelovalne verige v Sloveniji bi lahko obseg lesnih ostankov za energetska izrabo še precej povečali.
- Trajnostna in učinkovita energetska izraba lesne biomase lahko pomembno prispeva k samooskrbi in razogljičenju ogrevanja stavb.
- Soproizvodnja na lesno biomaso je kakovosten in stabilen vir električne energije v zimskem času.

### Vsebina:

Lesna biomasa je danes s 6,1 TWh (leta 2020) največji obnovljivi vir energije v Sloveniji, ki mu sledita hidroenergija (5 TWh) in geotermalna energija (0,7 TWh). Po načrtovani opustitvi premoga v letu 2033 (10 TWh leta 2020) pa bo lesna biomasa sploh največji domači energetski vir Slovenije, zato moramo z njim trajnostno in skrbno gospodariti in ga učinkovito izkoriščati tudi v prihodnje. S povečanjem predelave posekanega lesa v Sloveniji v učinkoviti lesnopredelovalni verigi bi lahko obseg lesnih ostankov za energijsko izrabo še povečali.

Več kot 5 TWh lesne biomase danes uporabimo za ogrevanje v gospodinjstvih, kar zagotavlja več kot 40 odstotkov potrebne koristne toplote. Uporaba lesne biomase v učinkovitih individualnih kotlih in proizvodnih napravah soproizvodnje električne energije in toplote v sistemih daljinskega ogrevanja bo poleg toplotnih črpalk pomembno prispevala k razogljičenju in samooskrbi pri ogrevanju stavb v Sloveniji. Soproizvodnja na lesno biomaso lahko pomembno prispeva k razogljičenju procesne industrije in sistemov daljinskega ogrevanja ter zagotavlja stabilen in kakovosten vir električne energije v zimskem času, kar je največji izziv pri razogljičenju oskrbe za električno energijo v Sloveniji. Z vlaganji v raziskave in inovacije tehnologij uplinjanja lesne biomase pa lahko učinkovitost izrabe lesne biomase še povečamo.

### Literatura in viri:

SURS, Energetska statistika 2020.

Celovita ocena možnosti za učinkovito ogrevanje in hlajenje v Sloveniji, IJS, 2021.

### Ključne besede:

lesna biomasa, obnovljivi viri energije, razogljičenje

# Podmene globinsko sonaravne energetske strategije Slovenije

## Prof. dr. Dušan Plut

Svet za varovanje okolja SAZU

Po konceptih okoljskega prostora in ekološkega odtisa materialna dejavnost in okoljski pritiski za okoli 70 odstotkov presegajo regeneracijsko in nevtralizacijsko zmogljivost planetarnega ekosistema, v bogatih državah (vključno s Slovenijo) pa za približno trikrat na prebivalca. Proizvodnja, prenos in poraba energije so med ključnimi gradniki nesonaravne dejavnosti človeštva. Sicer zlasti podnebno neizogibna zamenjava fosilnih goriv z obnovljivimi viri energije (OVE) glede na številna načela t. i. sonaravne energetike ne odpravlja številnih vzrokov energetskih pritiskov na planetarno okolje, ki (so)ogrožajo sedanje in prihodnje blagostanje ljudi in ekosistemov.

Zgolj od demokratične večinske volje in odločitve državljanov in državljanek je odvisno, kateri energetski scenariji bodo tlakovali usodo ne le prve polovice 21. stoletja. V primeru odločitve za uresničevanje globinske sonaravne energetske strategije, ki dolgoročno zagotavlja ohranjanje sicer dinamičnega ravnovesja planetarnega ekosistema, bo nujno sistemsko udejanjanje etičnih, ekosistemskih, podnebnih, ekonomskih, varnostnih in socialnih podstat. Le-te med drugim temeljno posegajo v tradicionalne ali zgolj površinsko spremenjene energetske strategije na proizvodni, še manj pa na potrošni, »vzročni« stranici energetskih bilanc. Globinska sonaravna energetska strategija Slovenije bi morala biti zasnovana zlasti na naslednjih načelih, podstatih in gradnikih:

1. Na omejenem svetu z omejenimi viri energije in omejenimi samočistilnimi zmogljivostmi okolja ni (več) možna stalno naraščajoča poraba energije, ki ogroža delovanje planetarnega ekosistema in spodkopava biološke temelje življenja zanamcem in drugim zemeljskim bitjem.
2. Federalni tehnološki inštitut iz Züricha je izdelal, švicarski parlament pa sprejel doseganje negativnega koncepta »družbe 2000 vatov«: 17.500 kWh oziroma 1,5 toe (ekvivalentov nafte) na prebivalca letno, namesto 3,4 toe; Slovenija – 3,3 toe) do leta 2050. Proizvodno je zasnovan na 100-odstotni rabi domačih OVE, praktično ničelnih izpustih toplogrednih plinov in postopni opustitvi rabe fosilnih goriv in jedrske energije (zaprtje vseh treh JE). Sodelavci finske univerze Lappeenranta za Evropo predlagajo uvedbo davkov na ogljik, metan in tudi za radioaktivne odpadke, ki naj bi finančno obremenili proizvodna energetska podjetja (TE, JE).
3. Energetska samozadostnost (vključno s prehransko) brez uvoza fosilnih goriv in urana je temeljni gradnik tudi energetske varnosti Slovenije – v čedalje bolj zaostrenih mednarodnih varnostnih razmerah. Zadostnost ne pa stalna rast pogosto »luksuzne« porabe energije (»dovolj namesto vedno več«) je temelj sonaravne energetike Slovenije. Ker poraba primarne in končne energije na prebivalca tudi v Sloveniji za najmanj dvakrat presega ekosistemsko »dovoljeno« količino energije, je sicer poudarjeno negativni (radikalni procesi zmanjševanja absolutne porabe energije) in hkrati sonaravni, decentralizacijski, nejedrski in medgeneracijsko pravični energetski scenarij tisti, ki dolgoročno omogoča tako preživetje kot dostojno, materialno zmerno kakovost življenja. Uresničevanje cilja razogljičenja proizvodnje in rabe energije do leta 2050 je torej le eden od sicer ključnih ciljev globinske sonaravne energetike Slovenije.
4. Za hkratno blagostanje ljudi in ekosistemov Slovenije je neizogiben zelo zahteven in večplasten demokratični radikalno-reformni sistemski prehod na koncept odrasti, torej pospešen proces izstopa iz modela trajne količinske rasti kot dosedanjega temeljnega motorja sicer socialno in geografsko (prostorsko) neenakomernega dviga materialnega blagostanja v Sloveniji.
5. Številne študije na zahodu kažejo, da naraščanje potrošnje dobrin in energije ter s tem povezano

naraščanje BDP po doseganju določenega materialnega blagostanja (nad 20.000–25.000 dolarjev BDP/prebivalca) več ne povečuje zadovoljstva in sreče ljudi, dogaja se celo nasprotno. Slovenija je na splošno že znotraj okvira take ravni materialnega blagostanja, ki bi ob pravičnejši razdelitvi ustvarjane (dodane) vrednosti in nujnem skladnejšem regionalnem razvoju vsem državljanom in državljanom že omogočal dostojno kakovost življenja.

6. Vsaka proizvodnja energije, tudi domačih OVE, povzroča negativne vplive na okolje, na ekosistemske storitve. Energetske odločitve, npr. gradnja nove sončne elektrarne, vetrne elektrarne, hidroelektrarne, kurilnice na pelete ali jedrske elektrarne, je treba tudi medgeneracijsko enakopravno in pravično ovrednotiti, oceniti, kaj bodo prinesle in odvzele desetina prihodnjih generacij in ekosistemom, npr. biotski pestrosti.

Trenutna poraba primarne in končne energije v Sloveniji dvakratno presega kazalnike koncepta okoljskega prostora, poraba primarne energije na prebivalca je okvirno primerljiva s porabo v Švici, dodana vrednost na zaposlenega in BDP na prebivalca pa sta v Sloveniji dvakrat manjša. Sprejeti energetski načrti in scenariji Slovenije pa namesto prednostne usmeritve v »negavate«, zlasti glede električne energije, postavljajo v ospredje nove »jedrske« in OVE »megavate« ...

Po sodbi pisca bo zaradi v prihodnosti še pomembnejše proizvodnje električne energije ključna izbira med dvema »negativno« dodatno krepko prenovljenima energetska scenarijema Dolgoročne podnebne strategije Slovenije (2021): DUA JE (ambiciozni scenarij z dodatnimi ukrepi, JE Krško 2, predhodno zaprtje TE Šoštanj) in DUA SNP (ambiciozni scenarij z dodatnimi ukrepi, »plinski« scenarij oziroma scenarij sintetičnega nevtralnega plina (poudarek na elektrolizi vodika), predhodno zaprtje TE Šoštanj, brez gradnje JE Krško 2). Scenarij DUA SNP glede rabe lesne biomase (ključnega vira bioenergije) predvideva njeno omejeno vlogo pri proizvodnji električne energije (soproizvodnja elektrike in toplote), pomembnejša pa naj bi bila v sistemih proizvodnje daljinske toplote in hladu (gospodinjstva, industrija). Pisec je zagovornik »negativno« močno prenovljenega, a zelo zahtevnega energetskega scenarija DUA SNP, torej brez dolgoročne rabe jedrske energije (podaljšanje delovanja obstoječe JE, brez nove JE Krško), s ključno vlogo sončne energije (s pričakovanim hitrim tehnološkim napredkom glede shranjevanja elektrike iz OVE in npr. proizvodnje vodika z elektrolizo).

*Izjemno bogati in v dolgi zgodovini s strani večine lastnikov in gozdarske stroke sonaravno skrbno negovani gozdni ekosistemi Slovenije so sicer pomembni za energetsko oskrbo Slovenije, vendar je tudi po mnenju pisca ključna njihova surovinska (les vloga) pa tudi finančno praktično neovrednotena (neupravičeno), a izjemno pomembna in nenadomestljiva ekosistemska (ekosistemske storitve), tudi ogliščno ponorna vloga. V sektorju LULUCF so predvsem gozdni ekosistemi, npr. leta 2005, shranili približno 7,1 milijona ton CO<sub>2</sub> ekvivalentov, leta 2018 pa je sektor LULUCF v ozračje sam prispeval 0,24 milijona ton, ponor gozda pa je bil zlasti zaradi vremenskih ujm in bolezn le še 0,7 milijona ton CO<sub>2</sub> ekvivalentov. Po oceni Dolgoročne podnebne strategije naj bi leta 2050 zlasti gozdni ekosistemi omogočili ponor vsaj 2,5 milijona ton CO<sub>2</sub> ekvivalentov in pomembno prispevali k načrtovanemu doseganju neto ničelnih izpustov toplogrednih plinov. Na začetku leta 2022 je cena emisijskih kuponov ene tone izpustov CO<sub>2</sub> presegla 80 evrov, načrtovani ponor 2,5 milijona ton CO<sub>2</sub> za leto 2050 bi ozko finančno trenutno pomenil najmanj 20 milijonov evrov prihrankov. Druge, finančno nepriznane ekosistemske storitve gozda pa so še bistveno večje.*

Globinski, hkrati sonaravni in medgeneracijsko pravični civilizacijski energetski prehod Slovenije (zgodovinska zamenjava energetskega temelja človeštva) in energetska strategija sta torej po mnenju pisca možna samo, če se v skupnosti in pri posamezniku prednostno uveljavi drugačen sistem vrednot (»postrasten«). Le na tej domnevi je možna obsežna in temeljita družbeno-ekonomska, na konceptu odrasti, na zavestni energijski in materialni (»blaginjski«) zadostnosti zasnovana sistemska, sonaravna reorganizacija gospodarstva in celotne družbe. Seveda ni izključeno, da se večina državljanov in državljanov ne bo strinjala z globinsko sonaravnim energetskega scenarijem in se bo lahko na referendumu demokratično (upajmo, da tudi dovolj informirano) odločila za drugačno energetsko pot Slovenije.

*Pisec podčrtuje: iluzija je pričakovanje, da je možna »otočna« odrastna in sonaravna energetika Slovenije – sredi »morja« »trajnorastnih« dejavnosti (industrija, gradbeništvo, promet ...) in rasti potrošnje, luksuznih izdelkov in zasidranosti nesonaravnega, potrošniškega načina vsakdanjega življenja.*

# Gospodarjenje z gozdnim ogljikom in raba lesa v kontekstu blaženja podnebnih sprememb

**Prof. em. dr. dr.h.c. Niko Torelli**

Svet za varovanje okolja SAZU

»Forests are the only machine we have that takes carbon out of the atmosphere.« (Zuckoff E. 2019).

Blažilno »podnebno« gospodarjenje z gozdovi je sestavljeno iz: (1) ohranjanja obstoječih gozdov in njihove fotosintezne površine kot ogljikovih ponorov, še posebej tropskih. Pred Kolumbom in Magellanom so tropski gozdovi pokrivali 14 odstotkov Zemljine površine, zdaj je le še 6 odstotkov, in še ti so večinoma degradirani in fragmentirani z veliko monokulturnih plantaž. Njihovo usodo krojita stekel pohlep bogatih in beda indigenov (cf. Torelli 2015). Po podatkih Univerze v Marylandu v Baltimoru se je površina tropskih gozdov samo leta 2019 zmanjšala za 11,9 milijona hektarov, od tega je bilo 3,8 milijona hektarov vlažnih primarnih gozdov, ki so še posebej pomembni za ohranjanje biotske raznovrstnosti in sekvestracijo ogljika. Hitrost izgube primarnih gozdov je bila leta 2019 enaka površini enega nogometnega igrišča na sekundo! Uničenje primarnih tropskih gozdov je povzročilo vsaj 1,8 gigatone emisij CO<sub>2</sub>, kar je enako letnim emisijam 400 milijonov vozil.

Blažilno »podnebno« gospodarjenje z gozdovi je sestavljeno tudi iz: (2) povečevanja ogljičnega absorpcijskega in sekvestracijskega potenciala. Danes se gozdovi zmernega pasu praviloma povečujejo, medtem ko tropski gozdovi zaradi nevzdržnih praks klavrno propadajo. Nasilno jih krčijo, da bi pridobili površine za donosne papirne, kavčukove, oljne, kavne, kakavove, sladkorne in sojine plantaže ter govedorejo. Želeč ohraniti tropske gozdove so pred leti poskušali z bojkotom tropskih lesov. Veliko uspešnejši bi bili, če bi se odrekli »kolonialnim« dobrinam. Delno pa bi se morali odreči tudi avtomobilom in mesu (prim. Torelli 2019).

(3) Še posebej učinkovita je, zlasti v gradbeništvu, substitucija energijsko intenzivnih neobnovljivih materialov, kot so beton, opeka, jeklo, aluminij, plastika, z obnovljivim lesom in lesnimi materiali. S kakovostjo lesa se povečuje njegova uporabnost in trajanje sekvestracije ogljika. Kot gojitelji lahko vplivamo npr. na primerno razdaljo med drevesi in tako na hitrejšo čiščenje vej in oblikovanja centrično priraščujočih polnolesnih debel brez reakcijskega lesa in grč na spodnjem najvrednejšem »tehničnem« delu debela pa tudi z večjim deležem dimenzijsko stabilne jedrovine – okrasne črnjave (npr. macesen, r. bor, brest) ali neobarvane jedrovine (smreka, jelka). Preprečevanje poškodb pri poseku in spravilu je še posebej pomembna naloga gojiteljev. Tako lahko pri odlomu debelejših vej preprečimo nastanek diskoloriranega lesa pri vrstah, ki ne tvorijo jedrovine (npr. rdeče srce pri bukvi), in bazalne poškodbe pri spravilu. Iz polnolesnih zdravih debel lahko izdelamo trdne dolge nosilce in druge gradbene elemente in z njimi nadomestimo gradbene materiale iz neobnovljivih virov z veliko utelešene sive energije.

Hektar povprečnega gozda na leto absorbira pribl. 6 ton CO<sub>2</sub>. Odrasla bukev z obojestransko listno površino pribl. 1 000 m<sup>2</sup> v procesu fotosinteze letno absorbira do 24 kilogramov CO<sub>2</sub> – toliko kot ga odda starejši osebni avto na razdalji 120 km. Pri tem proizvede 11 000 litrov kisika, kar ustreza dnevni porabi 26 ljudi, in transpirira do 500 litrov vode (Wunderwerk Baum, 2019, Torelli, 1978 in 2019). Janssens (2004) je ocenil, da znaša srednja letna absorpcija ogljika za celotno območje Slovenije, tudi brezgozdni del, pribl. 150 g C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> ali 1500 kg C/ha oz. 5550 kg ekvivalentov CO<sub>2</sub>.

Približno 50 odstotkov absolutno suhe lesne mase obsega ogljik. V kubičnem metru sveže smrekovine z osnovno gostoto  $\rho_b = 403 \text{ kg/m}^3$  je 202 kg ogljika in 746 ekvivalentov CO<sub>2</sub> in pri gostejši bukovini z osnovno gostoto  $\rho_b = 578 \text{ kg/m}^3$  289 kg ogljika in 1069 kg ekvivalentov ekvivalentov CO<sub>2</sub>.

Gozdna tla s humusom – »eliksirjem gozdnih tal« – vsebujejo praviloma več ogljika kot vegetacija nad njimi. Vsebnost ogljika gozdov zmernega pasu je pribl. 150 ton na ha, tropskih nekoliko več kot 200 ton na ha in borealnih pribl. 400 ton na ha. (IPCC reports, Jancovici 2007)



Pri sekvestraciji CO<sub>2</sub> igra starost gozda pomembno vlogo. Največji ponor CO<sub>2</sub> so mladi gozdovi v fazi zaraščanja. Zadnja študija v Nature potrjuje, da tropski gozdovi na degradiranih tleh sekvestrirajo do 11-krat več ogljika kot odrasli gozdovi! V produkcijskih gozdovih je treba drevesa posekati relativno mlada, preden dosežejo starost »patološke« obhodnje, ko je prirastek lesa enak volumnu biološko razkrojenega lesa. Tedaj je tudi kakovost lesa največja. Izsekavanje gozda in biološki razkroj poškodovanega drevja, ki ga spremlja, sta za uporabo fosilnih goriv drugi največji antropogeni vir emisije CO<sub>2</sub> v ozračje.

Pariški dogovor (COP 21 15. december 2015) predvideva/zahteva, da globalni porast temperature ostane pod 2 °C, morda celo pod 1,5 °C. Gozd in vzdržno gospodarjenje z njim sta vsekakor zelo pomemben del odgovora. Še enkrat k bistveni točki (3)!

Poraba energije za pridelavo, predelavo, obdelavo, gradnjo in transport lesa za gradnjo preprostejše masivne lesene hiše je v primerjavi z vsebnostjo energije, ki jo vsebuje les, majhna: za posek in spravilo 1 odstotek, za razžagovanje 2 odstotka, za tehnično sušenje 8 odstotkov, za skobljanje 10 odstotkov, za samo gradnjo 10 odstotkov in za transport 5 odstotkov. Ostanek energije je kar 64 odstotkov! (Frühwald, 2000; Frühwald A, Pohlman CM in Wegener G, 2001)

Tudi za energijsko bolj potratne lesne materiale, kot so npr. laminirani nosilci (lepljeni nosilci, »Glulam«) in srednjegoste vlaknene plošče (MDF), je treba manj energije, kot je vsebuje les.

Pri nas je vse bolj obetavno tudi strateško povezovanje *Lumarja*, vodilnega slovenskega proizvajalca nizkoenergijskih in pasivnih montažnih objektov, ter družbe *iQwood*, ki je razvila lesene stene iz deščičnega lesa, vezanega z lesenimi mozniki brez uporabe lepil in drugih kemikalij. *iQwood* je patentirana, masivna, izjemno stabilna in varna lesena konstrukcija, narejena izključno iz masivnega alpskega lesa, S povezovanjem z *iQwoodom* je krog lesnopredelovalne industrije sklenjen; slovenske hlode razžagajo domače žage, *iQwood* izdelava stene in strope, *Lumar* pa sestavi resnično biohišo – prvovrstni izvozni izdelek z evropskim patentom. Le tako bomo zmanjšali izvoz hlodovine in uvoz lesnih polizdelkov (iz našega lesa).

Kljub temu pa sicer odlično gospodarjeni slovenski gozdovi in (preveč skromna) raba lesa ne bodo zadostovali za »zeleni prehod«. Evropska komisija širi seznam zelenih virov energije. Čez deset let (tokrat morebiti dovoljeno) načrtujemo še drugo jedrsko centralo. Po napovedih jo je mogoče zgraditi do leta 2033, medtem ko bi obratovanje sedanje podaljšali do leta 2043 (Tavčar, Delo str. 3, 6. januarja). Z istim denarjem bi menda lahko (o groza) vse strehe v Slovenji prekrili s sončnimi kolektorji ali postavili dovolj vetrnic. Pri tem želim pripomniti, da je gozd daleč največji in po vrhu tudi obnovljiv sončni kolektor, ki prekriva dobršen del Slovenije. Ne pozabimo poenostavljene enačbe fotosinteze (prim. Frühwald A. in Wegener G. DGfH, 2001):

1,44 kg CO<sub>2</sub> + 0,56 kg H<sub>2</sub>O + 18,5 MJ (Sončeve energije) = 1 kg lesa (biomasa) + 1 kg O<sub>2</sub> + 18,5 MJ (kurilna vrednost).

Še več! V korist tropskih gozdov in zdravju bi se lahko en dan v tednu odrekli mesu (t. i. brezmesni ponedeljek). Tako bi globalno zmanjšali emisijo CO<sub>2</sub> za 18 odstotkov, izsekavanje gozda pa za 32 odstotkov!! Učinek poudarjenega vegetarijanstva bi bil enak odstranitvi 190 milijonov vozil s svetovnih cest! (Klimawandel auf dem Teller, 2012) Koristnih idej ne zmanjka ...

Vzdržnost (»trajnost«) je vsekakor zelena in obnovljiva.

## Viri

- Anon. Klimawandel auf dem Teller 2012. WWF-Studie: Weniger Fleisch ist mehr Klimaschutz.  
 Frühwald A. 2000. Eco balance. A new method for the ecological evaluation of wooden products. University of Hamburg. BFH, Marcus Wallenberg prize Symposium. Stockholm, 13. 10. 2000.  
 Frühwald A, Pohlman CM in Wegener G 2001. Holz, Rohstoff der Zukunft nachhaltig verfügbar und umweltgerecht. DGfH.  
 Jancovici J-M 2007. Can't we just grow forests to compensate for our CO<sub>2</sub> emissions? Pridobljeno 6. 9. 2019 v <https://jancovici.com/en/climate-change/ghg-and-carbon-cycle/cant-we-just-grow-forests-to-compensate-for-our-co2-emissions/>  
 Janssens A et al. 2005 The carbon budget of terrestrial ecosystems at country scale – a European case study. Biogeosciences 2: 15–26.  
 Torelli N. 2015. Tri stoletja zdržnosti (»trajnosti«), les naš vsakdanji. Silva Slovenica 143.  
 Torelli N. 2019. Vloga gozdov pri blaženju podnebnih sprememb. Silva Slovenica 163.  
 Zuckoff E. 2019. Carbon dioxide released by Amazon fires could hasten climate change. Science & Environment, CAI News.

# Preudarna raba lesne biomase v energetske namene

**Franc Žlahtič<sup>1</sup> in Alojz Poredoš<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Svet za energetiko SAZU

E-naslov: zlahtic1@gmail.com, alojz.poredos@fs.uni-lj.si

## Poudarki:

- Energetski prehod v smeri ogljične nevtralnosti je opredeljen z *Nacionalnim energetskim podnebnim načrtom* (NEPN – Vlada RS, 27. februar 2020, na temelju *Uredbe EU 2018/1999 o upravljanju energetske unije in podnebnih ukrepov*), ki predvideva intenzivno rabo obnovljivih virov (OVE) in tudi lesne biomase v energetske namene.
- *Svet za energetiko SAZU* je nacionalne dokumente za energetski prehod podprl, ob tem pa pozval k preudarnejši rabi lesne biomase v energetske namene. Tehnologije za energetsko rabo lesa v državi suvereno obvladujemo in jih moramo uporabljati učinkoviteje ter z višjimi izkoristki.
- Rabo lesne biomase v energetske namene je potrebno vključiti v krožno gospodarstvo.

## Vsebina:

**NEPN je zavezujoč akcijsko strateški dokument**, katerega poglobitni namen je določiti smeri razvoja energetike na nacionalni ravni do leta 2030, s pogledom do leta 2040. NEPN usmerja slovensko energetiko v prehod, v katerem imajo učinkovita raba energije in obnovljivi viri energije posebno pozornost. Pandemija in ukrajinska kriza sta energetiko in zastavljene energetske politike spremenili tako temeljito, da bo potreben nov razmislek o energetskih virih ter rabi energentov ter s tem lesne biomase.

**NEPN predvideva precej konservativno rabo lesne biomase v energetske namene** od leta 2020 do 2030 in sicer tako, da bi naj poraba te celo nekoliko padala. (ktoe – tisoč ton ekvivalenta nafte).

Leto	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ktoe	528	512	496	481	465	450	442	435	428	420	422

Bruto končna raba OVE pa naj bi se v tem obdobju dvignila s 1.227 na 1.419 ktoe. K=dvigu rabe OVE bodo največ prispevali sonce, veter in biogoriva. Oskrba z energijo leta 2021 je bila 267,9 PJ 6,37 103 ktoe.

**SE SAZU je že med pripravo dokumenta javno opozoril** (i.) na obstoječo zelo neučinkovito rabo lesne biomase za ogrevanje in pridobivanje toplote; (ii.) da je v energetske namene dopustno uporabljati le ostanke, ki jih druge tehnologije ne morejo uporabiti; (iii.) na majhna kurišča, njihove nizke izkoristke in ne učinkovito čiščenje dimnih plinov, tudi prašnih delcev; (iv.) na nujo spreminjanja in sprejemanja standardov učinkovite in okolju sprejemljive rabe lesne biomase; (v.) na spodbujanje uporabe tehnologije energetske rabe biomase, ki jo v Sloveniji popolnoma obvladujemo (Te tehnologije tudi omogočajo učinkovitejšo soproizvodnjo toplote in elektrike pa tudi tri generacije (hlad).); (vi.) na vzpostavitev modelov za oceno učinka krožnega gospodarstva na podlagi verodostojnih in preglednih podatkov in (vii.) na nujo po učinkovitejšem povezovanju energetskih sistemov in omrežij – ogrevanje, hlajenje, elektrika in drugi industrijski sistemi. (V smislu tega je pričakovati, da se bo v desetletju proizvedena električna energije lahko tudi potrojila glede na sedanjih 12 ktoe.)

## Ključne besede:

energetski prehod, obnovljivi viri in lesna biomasa, NEPN, krožno gospodarstvo