



Silva Slovenica

Studia Forestalia Slovenica

162



Univerza v Ljubljani
Biotehniška fakulteta



Znanstveno srečanje

GOZD IN LES 2019:

KLIMATSKE SPREMEMBE IN GOZD



Ljubljana, 30. maj 2019

ISBN

Izdajatelj: založba *Silva Slovenica*, Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana 2019

Naslov: GOZD in LES 2019: KLIMATSKE SPREMEMBE IN GOZD

Odgovorna urednika: dr. Hojka Kraigher, prof. dr. Miha Humar

Uredniški odbor monografije:

prof. dr. Miha Humar, dr. Hojka Kraigher, prof. dr. Robert Brus, prof. dr. Tomislav Levanič, prof. dr. Marko Petrič, doc. dr. Primož Simončič.

Tehnični urednik: dr. Peter Železnik

Tisk: *Silva Slovenica*

Izdaja: 1. izdaja

Naklada: 70 izvodov

Cena: brezplačno

Elektronski izvod:

<https://doi.org/10.20315/SFS.162>

Sofinanciranje / co-financing:

LIFEGENMON (LIFE13 ENV/SI/000148) s sofinanciranjem MOP, MKGP in programske skupine P4-0107 ARRS.



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA KMETIJSTVO,
GOZDARSTVO IN PREHRANO



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR

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

551.58:630(082)

ZNANSTVENO srečanje Gozd in les (2019 ; Ljubljana)

Klimatske spremembe in gozd / Znanstveno srečanje Gozd in les 2019, Ljubljana, 30. maj 2019 ; [urednik Peter Železnik]. - 1. izd. - Ljubljana : Založba Silva Slovenica, Gozdarski inštitut Slovenije, 2019. - (Studia Forestalia Slovenica, ISSN 0353-6025 ; 162)

ISBN 978-961-6993-46-3

1. Gl. stv. nasl. 2. Dod. nasl. 3. Železnik, Peter
COBISS.SI-ID 300235264

Kazalo

- 1 **UVOD**
Hojka KRAIGHER, Miha HUMAR
- 2 **SPREMEMBE DREVESNE SESTAVE SLOVENSkih GOZDOV V ZADNJIH DESETIH LETIH**
Mitja SKUDNIK, Andrej GRAH, Aleš POLJANEC
- 8 **UPORABNOST AMERIŠKE DUGLAZIJE IN DRUGIH TUJERODNIH DREVESNIH VRST PRI OBNOVI GOZDOV S SADITVIJO IN SETVIJO V SLOVENIJI**
Robert BRUS, Hojka KRAIGHER, Jurij DIACI, Kristjan JARNI, Nikica OGRIS, Marjana WESTERGREN, Miha HUMAR
- 13 **TUJERODNE INVAZIVNE RASTLINE – NJIHOVA ANALIZA IN UPORABA**
Maks MERELA, Primož OVEN, Ida POLJANŠEK, Viljem VEK, Miran MERHAR, Dominika GORNIK BUČAR, Mirko KARIŽ, Bogdan ŠEGA, Milan ŠERNEK, Aleš STRAŽE, Željko GORIŠEK, Angela BALZANO, Katarina ČUFAR, Denis PLAVČAK
- 20 **DINARSKI JELOVO-BUKOVI GOZDOVI: PRIMERJAVA MIKROKLIMATSKIH RAZMER MED SESTOJI IN VRZELMI**
Janez KERMAVNAR, Mitja FERLAN, Aleksander MARINŠEK, Klemen ELER, Andrej KOBLER, Lado KUTNAR
- 23 **ODZIV PUHASTEGA HRASTA (*Quercus pubescens*) NA PODGORSKEM KRASU NA EKSTREMNE VREMENSKE DOGODKE**
Jožica GRIČAR, Martina LAVRIČ, Klemen ELER, Polona HAFNER, Tanja MRAK, Saša ZAVADLAV, Mitja FERLAN, Ines ŠTRAUS, Nataša ŠIBANC, Dominik VODNIK, Hojka KRAIGHER
- 28 **ANALIZA ODVISNOSTI PARAMETROV BRANIK OD DNEVNIH KLIMATSKIH PODATKOV Z UPORABO FUNKCIJE DAILY_RESPONSE() IZ R PAKETA DENDROTOOLS**
Jernej JEVŠENAK
- 31 **OBRAČUNAVANJE EMISIJ V GOZDOVIH PO LETU 2020**
Boštjan MALI, Jernej JEVŠENAK
- 36 **POZNAVANJE GENETIKE IN BIOLOGIJE DREVESNIH VRST JE POMEMBNO ZA IZVAJANJE OBNOVE V GOZDOVIH**
Marjana WESTERGREN, Gregor BOŽIČ, Robert BRUS, Tine GREBENC, Kristjan JARNI, Peter ŽELEZNIK, Hojka KRAIGHER
- 43 **PRESOJA USPEŠNOSTI OBNOVE GOZDOV S SADNJO IN SETVIJO V SLOVENIJI**
Gregor BOŽIČ, Nikica OGRIS, Peter ŽELEZNIK, Andreja KAVČIČ, Barbara PIŠKUR, Marjana WESTERGREN, Maarten de GROOT, Hojka KRAIGHER
- 47 **VPLIV KLIMATSKIH SPREMEMB NA NASTAJANJE IN ZGRADBO LESA BUKVE (*Fagus sylvatica* L.)**
Peter PRISLAN, Jožica GRIČAR, Katarina ČUFAR, Martin DE LUIS, Maks MERELA, Sergio ROSSI
- 52 **ZAZNAVANJE NOTRANJNH STRUKTURNIH ANOMALIJ V STOJEČIH BUKOVIH (*Fagus sylvatica* L.) TER SMREKOVIH DREVESIH (*Picea abies* MILL.) S HITROSTJO IN DUŠENJEM ULTRAZVOKA**
Luka KRAJNC, Aleš KADUNC, Aleš STRAŽE
- 68 **ALI JE LES ČRNEGA BORA (*Pinus nigra*) PRIMEREN ZA UPORABO NA PROSTEM?**
Samo GRBEC, Davor KRŽIŠNIK, Boštjan LESAR, Miha HUMAR
- 61 **VPLIV IMPREGNACIJE Z NARAVNIMI FUNGICIDI IZ EKSTRAKTA NAVADNE ROBINIJE NA BARVO LESA**
Blaž VIVOD, Viljem VEK, Primož OVEN, Ida POLJANŠEK
- 67 **LEPILA NA OSNOVI TANINA KOT ALTERNATIVNA MOŽNOST RABE SKORJE DOMAČIH IGLAVCEV**
Jaša SARAŽIN, Milan ŠERNEK

Znanstveno srečanje

GOZD in LES 2019: KLIMATSKE SPREMEMBE IN GOZD

v četrtek, 30.05.2019, od 8.30 do 12.00,

v veliki dvorani Gozdarskega inštituta Slovenije (Večna pot 2, Ljubljana)

Podnebne spremembe s spremljajočimi motnjami, kot so ekstremni vremenski pojavi, veliko-površinske ujme, pogoste suše ali poplave, povečano razširjanje bolezni in škodljivcev, tujih invazivnih vrst, idr., vplivajo tako na uspevanje gozdov in zagotavljanje vseh njihovih funkcij, kot na dolgoročno zagotavljanje za uporabo primerne lesa. V času priprav nacionalnih strategij razvoja podeželja, katerega bistveni sestavni del je gozd, in oživitve gospodarskih panog, vezanih in odvisnih tako od lesa, kot od ohranjenega naravnega okolja, v letošnjem tradicionalnem znanstvenem srečanju, namenjenem predvsem mladim in mlajšim raziskovalcem, predstavljamo izbor predstavitev s skupnim naslovom Klimatske spremembe in gozd.

Programski odbor:

prof. dr. M. Humar, dr. H. Kraigher, prof. dr. R. Brus, prof. dr. M. Petrič, doc. dr. P. Simončič

Program srečanja

8:30 – 9:00 registracija udeležencev

9:00 – 9:20 Otvoritev srečanja in pozdravni nagovori (moderatorja: dr. H. Kraigher, prof. dr. M. Humar)

Direktor GIS, **doc. dr. Primož Simončič**

Prodekan BFL, **prof. dr. Miha Humar**

Predsednik SAZU, **akad. Tadej Bajd**

9:20 – 10:30 Vabljen predavanja (moderator: doc. dr. P. Simončič)

9:20 – 9:50 *M. Skudnik, A. Poljanec: Spremembe drevesne sestave Slovenskih gozdov v zadnjih desetih letih*

9:50 – 10:10 *Robert Brus: Uporabnost ameriške duglazije in drugih tujerodnih drevesnih vrst pri obnovi gozdov s saditvijo in setvijo v Sloveniji*

10:10 – 10:30 *Maks Merela: Tujerodne invazivne rastline – njihova analiza in uporaba*

10.30 – 11.00 *Premor s sadjem*

11:00 – 12:00 Plenarne predstavitve plakatov* (moderator: prof. dr. M. Petrič)

- 11:00 – 11:05 *Janez Kermavnar*: Dinarski jelovo-bukovi gozdovi: primerjava mikroklimatskih razmer med sestoji in vrzelmi
- 11:05 – 11:10 *Jožica Gričar*: Odziv puhastega hrasta (*Quercus pubescens*) na Podgorskem krasu na ekstremne vremenske dogodke
- 11:10 – 11:15 *Jernej Jevšenak*: Analiza odvisnosti parametrov branik od dnevnih klimatskih podatkov z uporabo funkcije `daily_response()` iz R paketa `dendroTools`
- 11:15 – 11:20 *Boštjan Mali*: Obračunavanje emisij v gozdovih po letu 2020
- 11:20 – 11:25 *Marjana Westergren*: Poznavanje genetike in biologije drevesnih vrst je pomembno za izvajanje obnove v gozdovih
- 11:25 – 11:30 *Gregor Božič*: Presoja uspešnosti obnove gozdov s sadnjo in setvijo v Sloveniji
- 11:30 – 11:35 *Peter Prislan*: Vpliv klimatskih sprememb na nastajanje in zgradbo lesa bukve (*Fagus sylvatica* L.)
- 11:35 – 11:40 *Luka Krajnc*: Zaznavanje notranjih strukturnih anomalij v stoječih bukovih (*Fagus sylvatica* L.) ter smrekovih drevesih (*Picea abies* Mill.) s hitrostjo in dušenjem ultrazvoka
- 11:40 – 11:45 *Samo Grbec*: Ali je les črnega bora (*Pinus nigra*) primeren za uporabo na prostem?
- 11:45 – 11:50 *Blaž Vivod*: Sprememba barve bukovine in borovine po impregnaciji z ekstraktivi navadne robinije
- 11:50 – 11:55 *Jaša Saražin*: Lepila na osnovi tanina kot alternativna možnost rabe skorje domačih iglavcev

12:00 – 13:00 Ogljed plakatov ob prigrizku

*Plakati so na ogled na Gozdarskem inštitutu Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana

Gozd in les: Klimatske spremembe in gozd

Konec maja bomo raziskovalne organizacije s področja gozdarstva lesarstva in papirništva organizirale že deseto zaporedno srečanje Gozd in les. Ideja za to srečanje se je razvila iz dobrih izkušenj pri pripravi znanstvene monografije Trajnostna raba lesa v kontekstu sonaravnega gospodarjenja z gozdovi, ki sta jo leta 2009 izdala v so-uredništvu Oddelek za lesarstvo BF in Gozdarski inštitut Slovenije. Ocenili smo, da lahko le s skupnim nastopom znotraj gozdno-lesne proizvodne verige dosežemo raziskovalno-razvojni preboj. Eden izmed pomembnih namenov srečanja je ponuditi možnost mladim, še neuveljavljenim raziskovalcem, na začetku raziskovalne poti, za prikaz rezultatov domači strokovni javnosti.

Letošnje srečanje je namenjeno predstavitvi vpliva in pomena klimatskih sprememb na gozd in rabo lesa. Vsa poročila in raziskave jasno kažejo, da je za trenutne podnebne spremembe v veliki meri odgovorna človeška dejavnost. Zavedamo se, da se je podnebje v preteklosti že spreminjalo, v zadnjih desetletjih pa preseneča velika hitrost in intenziteta sprememb. Podnebne spremembe so opazne v vseh delih podnebnega sistema. Ozračje se segreva in spreminja se dinamika kroženja zraka v njem. Prav tako se dviguje povprečna temperatura oceanov, kar vpliva na dinamiko oceanskih tokov. Na polih in v visokogorju izginjajo ledeniki, kar vpliva na zaloge sladke vode.

Vse te spremembe se odražajo tudi v gozdovih. Gozdovi so podvrženi številnim ujmam, spreminja se vrstna sestava, vedno pogosteje opažamo številne tujerodne in invazivne vrste. Podnebne spremembe vplivajo tudi na rabo lesa. Zaradi višjih temperatur se spreminjajo lastnosti lesa, pogoji za delovanje lesnih škodljivcev so vedno ugodnejši, kar se odraža v krajši življenjski dobi lesa. Poleg tega se tudi na področju lesarstva pojavljajo novi škodljivci, ki v Sloveniji do sedaj še niso bili prisotni.

Raziskovalci s področja gozdarstva, lesarstva in papirništva v okviru različnih projektov naslavljajo te probleme in skušajo pripraviti izhodišča za ukrepanje. Enega od izzivov predstavlja dejstvo, da so ti poizkusi dolgotrajni in pogosto segajo preko obdobja financiranja posameznega projekta. Zato je smiselno in nujno potrebno podpirati dolgoletne raziskave o prilagajanju in prilagoditvenih sposobnostih gozdov, in o možnih ukrepih za ohranjanje gozdov in gozdno-lesne verige v pogojih spreminjajočega se okolja.

Dr. Hojka Kraigher in prof. dr. Miha Humar

Spremembe zgradbe in drevesne sestave slovenskih gozdov v zadnjih desetih letih

Mitja SKUDNIK^{1,2}, Andrej GRAH¹, Aleš POLJANEC^{3,2}

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

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

³ Zavod za gozdove Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-naslov: mitja.skudnik@gozdis.si

POUDARKI

- Lesna zaloga v Sloveniji se je med leti 2012 in 2018 znižala iz 334 na 329 m³/ha
- Na podlagi informacije o poseku in spremembi lesne zaloge lahko sklepamo, da so bili v ujmah (neposredno in posredno) poškodovani predvsem iglasti gozdovi s poudarkom na smreki
- Sečnja se je po letu 2012 povečala za 50 %
- Delež bukve v lesni zalogi konstantno narašča, medtem ko se je delež smreke zmanjšal
- Nacionalne gozdne inventure so lahko pomemben vir podatkov za spremljanje razvoja gozdov na nacionalni ravni

HIGHLIGHTS

- In Slovenia, the growing stock between the years 2012 and 2018 decreased from 334 to 329 m³/ha
- Based on the information on harvesting and the change in timber stock, we can conclude that mainly coniferous forests with an emphasis on spruce were damaged due to extreme weather events (directly and indirectly)
- After the year 2012 harvesting increased for 50 %
- The proportion of beech in the total growing stock increases, the proportion of spruce decrease
- Data from national forest inventories are important source for knowing the status, change and the development of forests on the national level

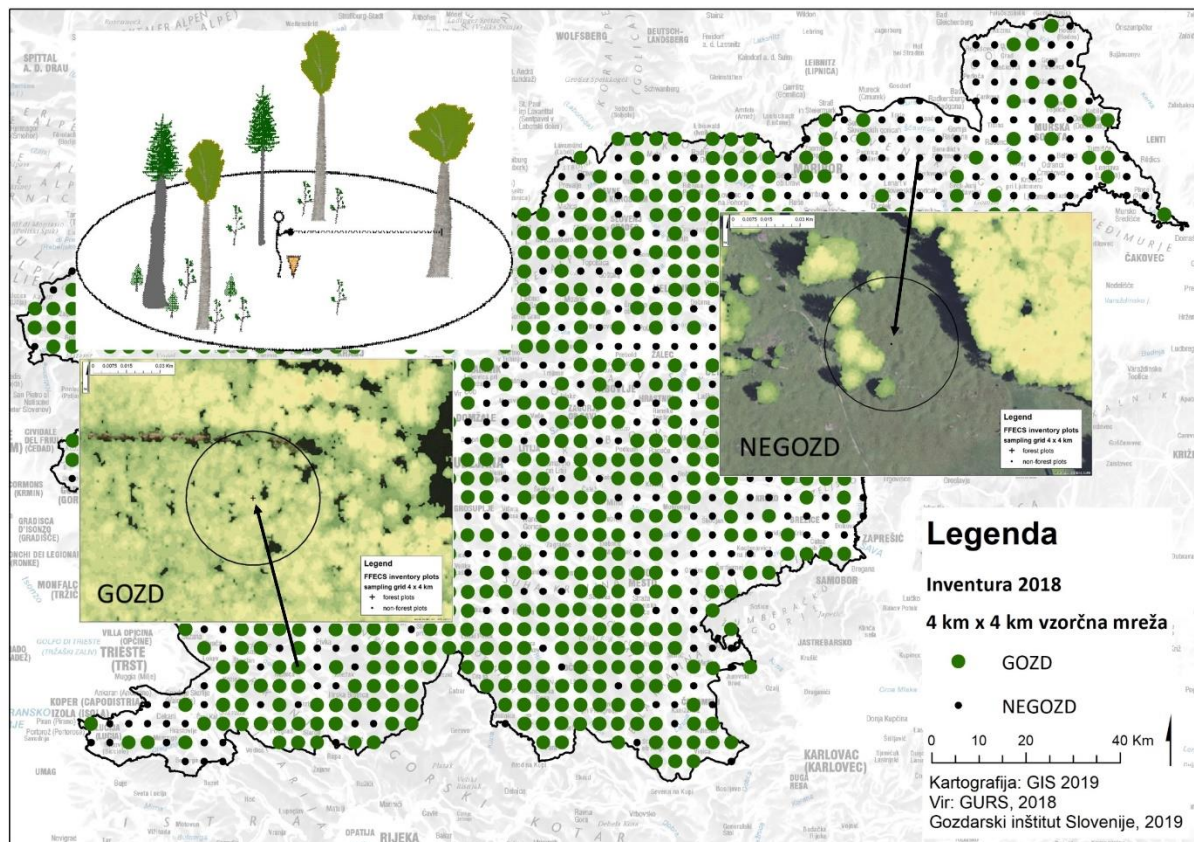
UVOD

Gozd je zapleten kompleksen naravni sistem, ki se z zamikom odzove na okoljske spremembe in ki ima tudi veliko sposobnost prilagajanja na le te (Larcher, 1995). Izjema so posledice večjih ujm, ki lahko v zelo kratkem času poškodujejo velike gozdne površine. Po letu 2014 so postale tovrstne ujme pri nas kar nekakšna stalnica in nekatere raziskave kažejo, da bi se lahko zaradi klimatskih sprememb njihovo število in obseg še povečal. Daljša toplejša in sušna obdobja namreč pozitivno vplivajo na pojav požarov, sušo in izbruhe insektov, medtem ko toplejša in bolj vlažna obdobja povečajo število vetrolomov in pojava patogenih organizmov (Seidl in sod., 2017). Tako so v Sloveniji po obsežnem žledenju leta 2014 gozdove prizadeli še vetrolomi v letih 2017 in 2018, vsem ujmam pa so sledile še obsežne gradacije podlubnikov in drugih škodljivcev gozdnega drevja (de Groot in sod., 2018). Na večjih območjih Slovenije se je redno gospodarjenje z gozdovi spremenilo v intenzivno saniranje poškodovanega gozda (ZGS, 2017). Za obvladovanje tveganj in upravljanje gozdov na različnih prostorskih ravneh so pomembne informacije o zgradbi in drevesni sestavi gozdnih sestojev ter njihovih spremembah v prostoru in času. Le te večinoma pridobimo z inventuro gozdov v okviru gozdarskega načrtovanja, ki vključuje meritve na stalnih vzorčnih ploskvah in opis sestojev. Pomemben vir podatkov na nacionalni ravni pa je Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov (MGGE), ki ima vse zasnove nacionalne gozdne inventure

(Skudnik in Hladnik, 2018). Namen prispevka je prikazati stanje gozdov na podlagi podatkov MGGE s poudarkom na lesni zalogi v letu 2018 in predstaviti, kako se je le ta spreminjala v zadnjih desetih letih.

METODE

MGGE vključuje podatke zbrane na vzorčnih ploskvah na sistematični mreži 4 km × 4 km preko celotne države (Slika 1). Osnova MGGE je kontrolna vzorčna metoda (Kovač in Hočevar, 2010) in s tem podatki zbrani na vzorčnih ploskvah zagotavljajo časovno in prostorsko opredeljene podatke o stanju gozdov z znano statistično zanesljivostjo (Kušar in sod., 2010). Nacionalni popis je bil prvič izveden leta 2000 in ponovljen še trikrat (2007, 2012, 2018). Večina spremljanih kazalnikov se je razvijala skladno z razvojem potreb po podatkih in tehnik monitoringa. Za razvoj MGGE je bil zelo pomemben mednarodni vpliv številnih priporočil, procesov in projektov in s tem je postal popis danes mednarodno primerljiv in metodološko harmoniziran. Podroben opis kazalnikov so predstavili Kovač in sod. (2014). V prispevku so predstavljeni podatki o drevnini. Na podlagi ponovitev izmere dreves na vzorčnih ploskvah lahko namreč spremljamo stanje in spremembe drevesne sestave in zgradbe gozdov. Spremembe so predvsem posledica rasti drevoja, naravnih motenj (mortaliteta) in gospodarjenja z gozdovi.

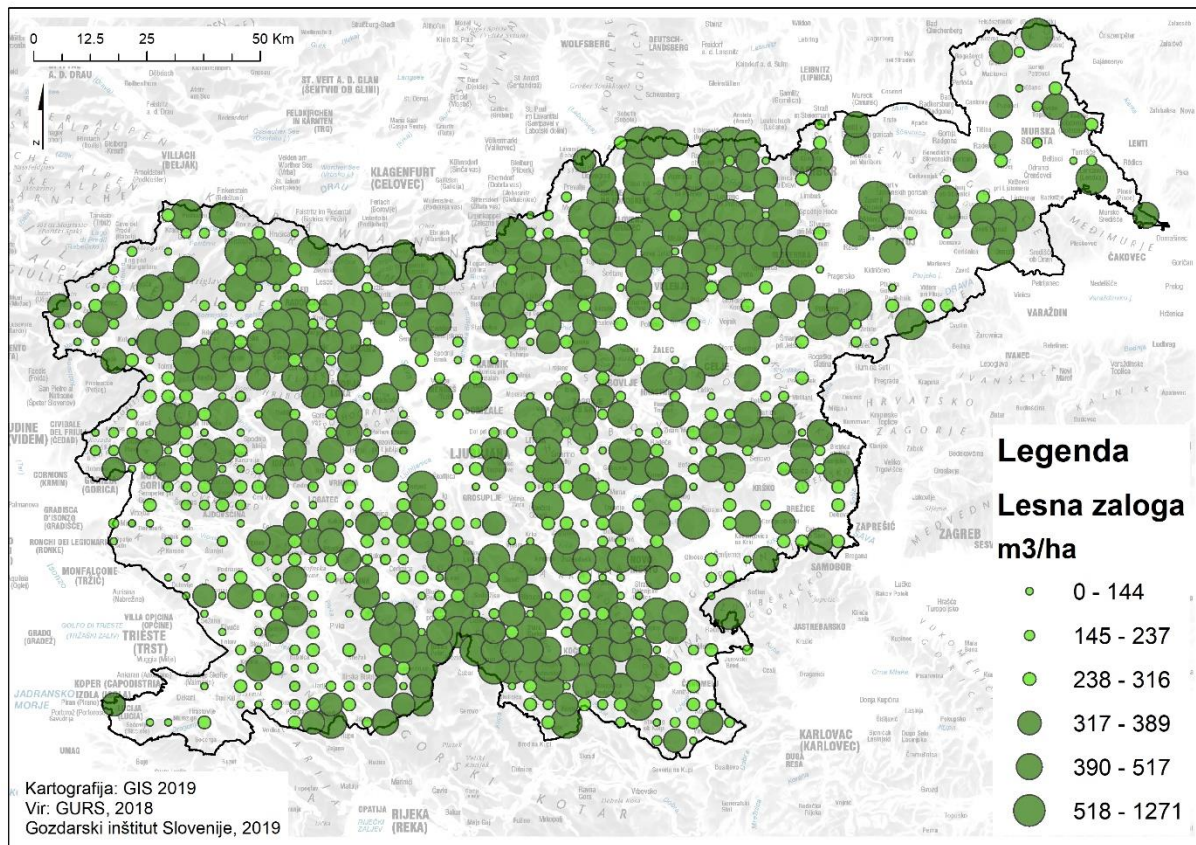


Slika 1: sistematična mreža vzorčnih ploskv 4 km x 4km preko Slovenije in razdelitev ploskv na gozd / negozd.

REZULTATI

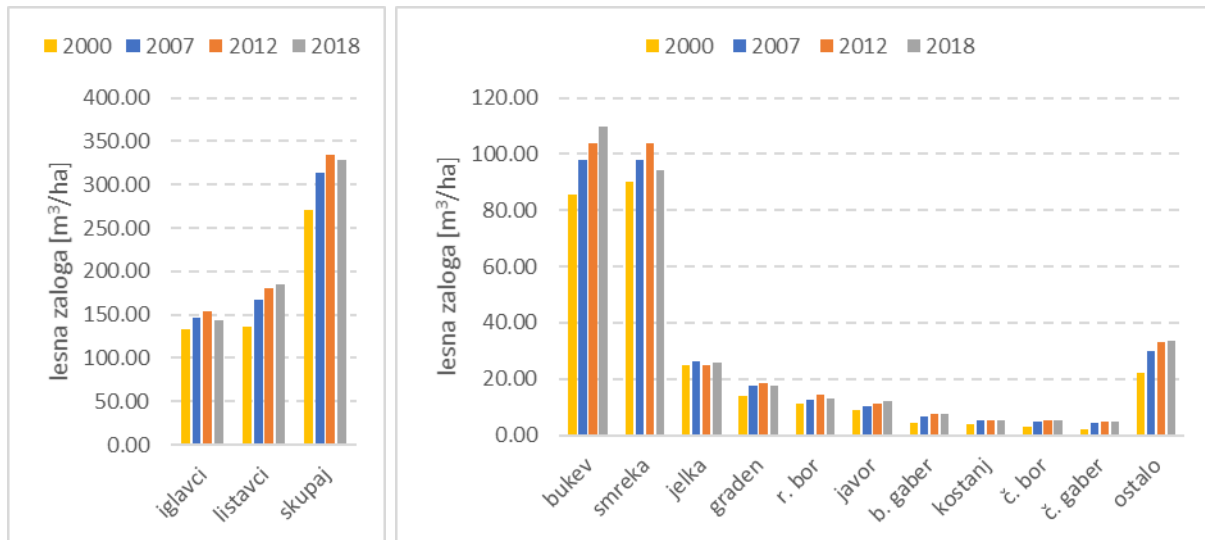
Od leta 2000 do 2012 se je lesna zaloga v gozdu povečevala. Ob prvi inventuri leta 2000 je le ta znašala $297,6 \pm 13,9 \text{ m}^3/\text{ha}$, leta 2007 $313,7 \pm 13,4 \text{ m}^3/\text{ha}$ in leta 2012 je dosegla $333,9 \pm 13,7 \text{ m}^3/\text{ha}$. Rezultati inventure 2018 kažejo na zmanjševanje lesne zaloge po letu 2012 in sicer na

328,7 ± 13,7 m³/ha. Razpon ploskovnih vrednosti lesne zaloge v letu 2018 je bil med 0 in 1271 m³/ha (Slika 2). Ploskve z višjimi lesni zalogami so skoncentrirane predvsem na območju Pohorja in predelih z večjimi kompleksi gozdov. Izjema so nekateri predeli na Postojnskem in Kočevskem, ki so bili močnejše prizadeti v ujmah, ki so slovenske gozdove prizadele po letu 2014.



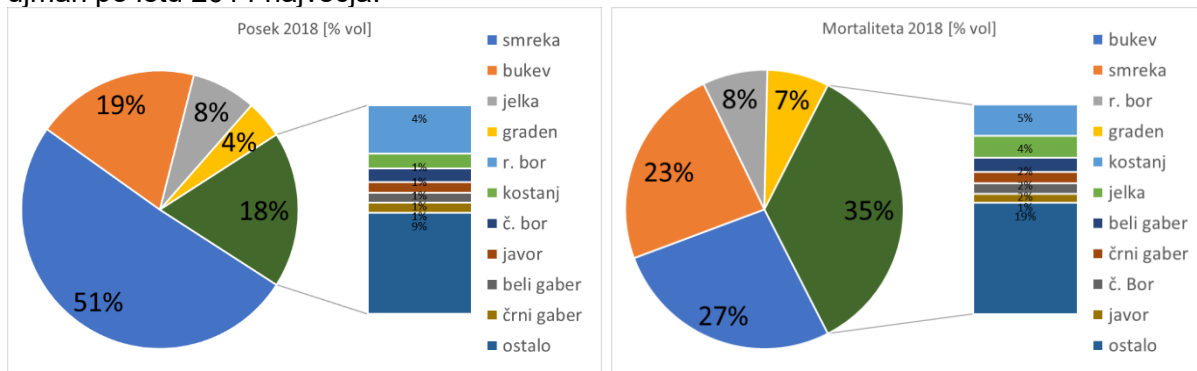
Slika 2: Prostorska razporeditev ploskev glede na izračunano lesna zalogo.

Stratifikacija podatka o lesni zalogi na iglavce in listavce kaže, da pri listavcih lesna zaloga še vedno narašča, in sicer se je med leti 2012 in 2018 povečala iz 180,1 m³/ha na 185,4 m³/ha. Lesna zaloga iglavcev pa se je med leti 2012 in 2018 znižala iz 153,8 m³/ha na 143,3 m³/ha (Slika 3 - levo). Zmanjševanje lesne zaloge iglavcev gre predvsem na račun smreke, saj se je le ta zmanjšala iz 104,0 m³/ha v letu 2012 na 94,3 m³/ha in s tem dosegla nižjo vrednost kot leta 2007 (97,8 m³/ha) (Slika 3 - desno). Med iglavci se je znižala tudi lesna zaloga rdečega in črnega bora, medtem ko se je zaloga jelke povečala iz 24,8 m³/ha na 25,9 m³/ha. Glede na celotno lesno zalogo jelka leta 2000 predstavlja 9 % delež. Leta 2012 je njen delež padel na 7 % in v letu 2018 ponovno narasel na 8 %. Od leta 2000 do danes je bila predvsem bukev drevesna vrsta, katere delež je v lesni zalogi konstantno naraščal, in sicer iz 85,5 m³/ha v letu 2000 na 109,7 m³/ha leta 2018. Tako je od leta 2000, ko je glavnino lesne zaloge predstavljala smreka (33 %), danes njeno mesto zavzela bukev. Ostale drevesne vrste, katerim lesna zaloga se je med leti 2012 in 2018 povečala, so gorski javor, macesen, cer, lipovec in beli gaber. Glede na stanje 2012 se je poleg smreke zmanjšala tudi lesna zaloga rdečem boru, gradnu, duglaziji, robiniji, trepetliki, črnem gabru, brezi, črnemu boru in velikemu jesenu.

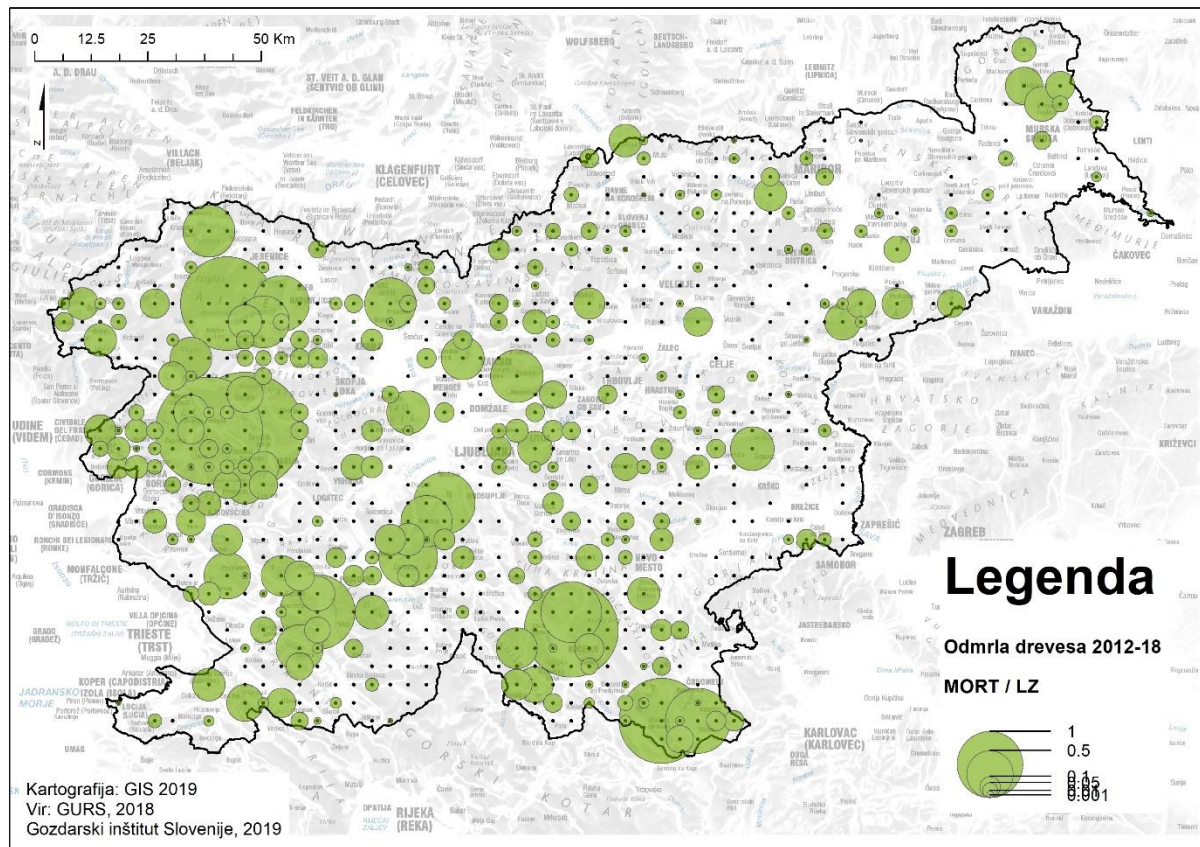


Slika 3: Sprememba lesne zaloge med leti 2000 in 2018 za iglavce in listavce (levo) in za glavne drevesne vrste (desno).

Med leti 2007 in 2012 je ocena poseka znašala 4,3 m³/ha leto. V obdobju 2012 – 2018 se je posek povečal na 6,0 m³/ha leto. Več kot 50 % volumna posekanih dreves med leti 2012 in 2018 je pripadalo smreki, sledi ji bukev, jelka in graden (Slika 4 - levo). Pod terminom mortaliteta predstavljamo drevesa, ki so se posušila v obdobju 2012-2018 in so bila na dan popisa ploskve še vedno v gozdu. Pri mortaliteti prevladuje bukev s 27 %, sledi ji smreka, rdeči bor in graden (Slika 4 - desno). Zaradi velike količine sanitarne sečnje (posek iglavcev zaradi nevarnosti gradacije podlubnikov) v zadnjih letih ocenjujemo, da bo del posušenih dreves listavcev še odstranjen iz gozda, kar bo še dodatno prispevalo k povečanju trenutne ocene poseka. Podatek o volumnu odmrlih dreves normaliziran glede na lesno zalogo ploskve prikazuje Slika 5. Sušice so bile najbolj pogoste predvsem v zahodni in južni Sloveniji, kjer je bila intenzivnost poškodb v ujmah po letu 2014 največja.



Slika 4: Odstotek poseka glede na glavne drevesna vrste (levo) in delež dreves, ki so odmrli med leti 2012 in 2018.



Slika 5: Prostorska razporeditev ploskev glede na lesno zalogo odmrlih dreves v obdobju 2012-18, normalizirano glede na lesno zalogo ploskve v letu 2018.

ZAKLJUČKI

Najnovejše stanje gozdov v Sloveniji nakazuje na spremenjen trend lesne zaloge, in sicer se je iz pozitivnega (obdobje 2000 - 2012) spremenil v negativnega. Največji vpliv za padec lesne zaloge je povečan posek smreke. Glede na podatke popisa 2018 bi lahko sklepali, da so ujme in posledične gradacije podlubnikov prizadele predvsem smreko, ki se pri nas pogosto pojavlja na neustreznih rastiščih. Slovenski gozdovi posledično postajajo vse bolj bukovi gozdovi, povečuje pa se tudi lesna zaloga nekaterih drugih listavcev, kot so gorski javor, cer, lipovec in oreh. Med iglavci se je med leti 2012 in 2018 povečala lesna zaloga jelke in macesna.

Na prihodnost gozdov vpliva že v normalnih razmerah toliko spremenljivk, da je njihov razvoj težko natančno predvideti. Ob hitrem spreminjanju klime in vseh spremljajočih pojavih pa je negotovost naših napovedi še večja. Pri avtohtonih vrstah se bodo spreminjali evolucijsko doseženi medvrstni odnosi, značilnosti razmnoževanja, areali bivanja, prehranjevalne navade in podobno. Zagotovo se bodo pojavili novi škodljivi organizmi, nove drevesne vrste, nekateri od danes tu živečih pa v novih razmerah ne bodo uspevali, oziroma se bo njihovo obilje zmanjšalo. Možnost preživetja bo v veliki meri odvisna od genetske pestrosti domačih drevesnih vrst, ki jo je potrebno varovati tudi z ukrepi gospodarjenja z gozdom.

Vse to postavlja gozdarstvo in upravljanje z gozdovi pred nove izzive. Zanesljive informacije o stanju gozdnih sestojev so zato ključne za zmanjševanje tveganj pri upravljanju gozdov in prilagajanju gozda in gozdarstva na nove razmere. Podatki, zbrani

v okviru MGGE, so pomembni za prilagajanje nacionalnih gozdnih politik, mednarodno poročanje o stanju in spremembah gozdov in ugotavljanje ponorov ogljika, ki pomembno prispeva k zmanjševanju podnebnih sprememb.

VIRI

- de Groot M., Ogris N., Kobler A. 2018. The effects of a large-scale ice storm event on the drivers of bark beetle outbreaks and associated management practices. *Forest Ecology and Management*, 408, 195-201
- Kovač M., Hočevar M. 2010. Kratak opis razvoja gozdnih inventur in kontrolne vzorčne metode po Svetu in v Sloveniji = Shoert description of forest inventories and control sampling method around the World and in Slovenia. V: Kontrolna vzorčna metoda v Sloveniji - zgodovina, značilnosti in uporaba = Control sampling method in Slovenia - history, characteristics and use. Planinšek Š. in sod. (ur.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica: 9-12
- Kovač M., Skudnik M., Japelj A., Planinšek Š., Vochl S. 2014. I. Gozdna inventura. V: Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov - priročnik za terensko snemanje. (*Studia forestalia Slovenica*, 140). Kovač M. (ur.). Ljubljana, Založba Silva Slovenica: 7-113
- Kušar G., Kovač M., Simončič P. 2010. Metodološke osnove monitoringa gozdov in gozdnih ekosistemov = Methodological bases of the forest and forest ecological condition survey. V: *Studia Forestalia Slovenica: Control sampling method in Slovenia - history, characteristic and use*. Planinšek Š. (ur.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 11-22
- Larcher W. 1995. *Physiological Plant Ecology*. 3th Ed. Larcher W. (ur.). Innsbruck, Springer: 506 str.
- Seidl R., Thom D., Kautz M., Martin-Benito D., Peltoniemi M. in sod. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7, 395
- Skudnik M., Hladnik D. 2018. Predlog o organiziranju nacionalne gozdne inventure za mednarodno in domače poročanje o trajnostnem gospodarjenju z gozdovi = Suggestion for Organizing National Forest Inventory for International and National reports on Sustainable Forest Management. *Gozdarski vestnik*, 76, 7-8: 319-331
- ZGS. 2017. Načrti sanacije gozdov, poškodovanih v naravnih ujmah in požarih. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije
http://www.zgs.si/delovna_podrocja/varstvo_gozdov/nacrti_sanacije_gozdov_poskodovanih_v_naravnih_ujmah_in_pozarih/index.html (17.5.2019)

ZAHVALA

Študija je bila financirana v okviru naloge JGS1 (Popis razvrednotenja in poškodovanosti gozdov v skladu s Pravilnikom o varstvu gozdov) in JGS 4 (Razvijanje in strokovno usmerjanje informacijskega sistema za gozdove (ISG)). Hvala vsem sodelavcem oddelka NMGK za pomoč pri zasnovi, pripravi in organizaciji inventure. Hvala vsem sodelavcem in kolegom iz GISa in ZGS pri organizaciji in izvajanju terenskih meritev.

Uporabnost ameriške duglazije in drugih tujerodnih drevesnih vrst pri obnovi gozdov s saditvijo in setvijo v Sloveniji

Robert BRUS¹, Hojka KRAIGHER², Jurij DIACI¹, Kristjan JARNI¹, Nikica OGRIS², Marjana WESTERGREN², Miha HUMAR¹

¹ Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

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

E-naslov: robert.brus@bf.uni-lj.si

POUDARKI

- obnova slovenskih gozdov mora povsod, kjer je to mogoče, temeljiti na domačih drevesnih vrstah,
- v primeru neuspeha domačih vrst bi bilo strateško smiselno razmišljati tudi o uporabi tujerodnih drevesnih vrst,
- uvajanje lahko sloni le na temeljitem testiranju in mora biti postopno, dolgotrajno in odgovorno,
- pred vsako priporočeno uporabo je nujno preveriti okoljska tveganja,
- vrsta z za zdaj najboljšim potencialom je navadna ameriška duglazija.

HIGHLIGHTS

- the restoration of Slovenian forests should be based wherever possible on domestic tree species,
- in the event of the failure of native species, it would be strategically wise to consider the use of non-native tree species,
- introduction can only be based on thorough testing and must be gradual, long-term and responsible,
- it is essential to check environmental risks before any recommended use,
- Douglas Fir is a species with best potential so far.

UVOD

Izbor drevesnih vrst, ki jih bomo v prihodnosti uporabljali za obnovo naših gozdov, bo ključen za njihovo bodočo zgradbo in odpornost. Pri izboru bo treba upoštevati njihovo rastiščno primernost in ekološko sprejemljivost, donosnost, razpoložljivost in dobavljivost gozdnega reprodukcijskega materiala ter način in stroške obnove in nege. Podnebne spremembe in vse pogostejše naravne motnje bodo povzročile umikanje nekaterih drevesnih vrst z določenih rastišč ali celo spremembe njihovih arealov (primer tega je navadna smreka), obstaja tudi možnost pojava novih, pri nas do sedaj neznanih boleznih in škodljivcev, ki bi lahko ogrozile tudi katero od naših drevesnih vrst. V naštetih primerih bo te vrste potrebno nadomestiti z odpornejšimi, če le mogoče domačimi drevesnimi vrstami in njihovimi različnimi proveniencami. Vendar pa ni nobenega zagotovila, da bo sicer širok nabor domačih drevesnih vrst, ki bi izpolnjeval vse našete zahteve, dolgoročno zadostoval za preživetje gozda in za doseganje vseh zastavljenih ciljev, gotovo tudi gospodarskih, ki jih bodo vse pogosteje poudarjali lastniki gozdov.

Zato je pri izbiri ustreznih drevesnih vrst strateško smiselno pripravljati tudi rezervne ali nadomestne rešitve, ki bi jih v določenih primerih lahko predstavljale tudi tujerodne drevesne vrste (TDV). Ob gojenju zaradi lesnoproizvodnega potenciala in donosnosti bi bila lahko pomembna tudi njihova morebitna dobra sposobnost prilagajanja na podnebne spremembe ter boljša odpornost proti biotskim in abiotskim dejavnikom. V Sloveniji smo tujerodne drevesne vrste v gozdovih tako kot drugje po Evropi v večjem obsegu začeli saditi ob koncu 19. stoletja.

Poleg robinije največje deleže v lesni zalogi danes predstavljajo zeleni bor, navadna ameriška duglazija in rdeči hrast, skupen delež tujerodnih drevesnih vrst v lesni zalogi je v Sloveniji okrog 1 %. V zadnjih desetletjih se je uporaba tujerodnih drevesnih vrst ob sonaravnih usmeritvah močno zmanjšala in do danes skoraj zastala.

Vendar pa so odločitve o morebitni postopni povečani uporabi tujerodnih drevesnih vrst, ki bi lahko nadomestile vsaj majhen delež izpadlih domačih vrst ali povečale donosnost gozdov, povezane tudi z negotovostjo. Nikakor niso tudi brez nevarnosti za naravno okolje, saj lahko povzročijo neželene učinke na avtohtono vegetacijo, poslabšujejo rastiščne razmere, izrivati lahko začnejo domače vrste ali celo postanejo invazivne. Nevarnost pri prihodnjem gojenju je lahko tudi njihova slaba prilagoditvena sposobnost, zaradi katere bi bili nasadi ali sestoji neuspešni in ne bi izpolnili niti ekonomskih pričakovanj.

Postopno lokalno povečevanje intenzivnosti gojenja TDV zato lahko temelji samo na rezultatih dolgoletnega in temeljitega preizkušanja. V Sloveniji žal nimamo veliko novejših raziskav niti praktičnih izkušenj, na osnovi katerih bi ob začetkih zdajšnje obnove lahko znanstveno utemeljeno priporočili uporabo določene TDV ter načine in obseg njenega gojenja. Nabor tujerodnih drevesnih vrst, ki smo jih do sedaj zasajali ali preizkušali, je razmeroma omejen. Nekatere TDV v Sloveniji kažejo veliko prilagodljivost na zaostrene razmere, ne vplivajo negativno na okolje in imajo velik potencial za izpolnjevanje več funkcij, tudi donosnosti, ki jo želijo lastniki.

Navadna ameriška duglazija (*Pseudotsuga menziesii*) je ena redkih TDV, ki jo pri nas gojimo že dovolj dolgo in z dovolj dobrimi izkušnjami, da bi njen potencial in morebitna tveganja lahko celovito ovrednotili in jo morda lahko začeli gojiti v nekoliko večjem obsegu kot do sedaj. Duglazija se je izkazala kot odporna proti žledu, suši in podlubnikom marsikje, kjer je bila navadna smreka močno prizadeta.

Poleg najmočneje zastopanih vrst (robinija, zeleni bor, duglazija in rdeči hrast) pa je treba čimprej začeti preizkušati še druge, pri nas zaenkrat še ne uporabljene TDV, saj bodo za pridobitev uporabnih izkušenj z njimi potrebna desetletja preizkušanja. Za tujerodne drevesne vrste je tudi treba pregledati bogate izkušnje in primere dobre prakse iz drugih evropskih držav in jih ustrezno prilagojene preizkušati tudi pri nas. Tako bo mogoče oblikovati izhodišča in smernice, ki jih bo v prihodnje pri gospodarjenju z gozdovi lahko neposredno uporabila javna gozdarska služba za vsakodnevno načrtovalsko, gojiteljsko, semenarsko in drevesničarsko prakso in za vključitev v gozdnogospodarske načrte.

Pri kakršnikoli uporabi TDV je nujno upoštevati zakonodajo in predpise, ki so v tem pogledu v Sloveniji, kjer je varstvo narave izjemno poudarjeno, razmeroma omejujoči. Bodoča potencialna uporaba TDV bo morala biti za lastnika gozda dolgoročno zanimiva tudi zaradi njenih ekonomskih učinkov, ki v veliki meri temeljijo na kakovosti in vrednosti lesnih sortimentov uporabljenih vrst. Pri tem bo v prihodnosti gotovo veliko povpraševanje predvsem po lesu iglavcev. Za povečano rabo nekaterih vrst, na primer ameriške duglazije, ki jo predvideva tudi javna gozdarska služba, pa bo nujno zagotoviti kakovosten in provenienčno ustrezen gozdni reprodukcijski material (GRM) in jasno predstavljene gozdnogojitvene smernice. Pri morebitnem povečevanju obsega gojenja TDV bo pomembno upoštevati tudi odnos javnosti do tega za nekatere občutljivega vprašanja. Potenciala TDV se zelo malo zavedajo tudi lastniki gozdov, ki so navadno bolj naklonjeni tradicionalnim pristopom pri gojenju gozdov in uporabi domačih drevesnih vrst.

PREDSTAVITEV PROJEKTA CRP V4-1818: Uporabnost ameriške duglazije in drugih tujerodnih drevesnih vrst pri obnovi gozdov s saditvijo in setvijo v Sloveniji

V okviru projekta, ki se je začel 1. 11. 2018 in bo trajal do 31. 10. 2021, sodelujejo Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire (vodja celotnega projekta prof. dr. Robert Brus) in Oddelek za lesarstvo (vodja skupine prof. dr. Miha Humar) z Biotehniške fakultete ter Gozdarski inštitut Slovenije (vodja skupine prof. dr. Hojka Kraigher).

Osnovni namen je analizirati izbrane obstoječe objekte in nasade, pregledati izkušnje iz tujine, začeti še z novimi domačimi preizkusi in oblikovati smernice za morebitno prihodnjo uporabo tujerodnih drevesnih vrst. Nabor tujerodnih drevesnih vrst, ki smo jih do sedaj zasajali ali preizkušali, je omejen, objektov, primernih za analizo je malo in mnogo obstoječih nasadov s TDV se bliža sečni zrelosti. V okviru projekta bomo temeljito pregledali, analizirali in na enem mestu zbrali pretekle izkušnje o številu vrst, razširjenosti, uspešnosti in gojenju duglazije in drugih TDV v Sloveniji. Analizirali in ovrednotili bomo njihovo prilagoditveno sposobnost, gospodarsko uspešnost, morebitne vplive na rastišča in invazivni potencial, zbrali izkušnje in ocenili, katere od njih bi lahko v primeru potrebe v prihodnosti brez resnih nevarnosti za naravno okolje pripomogle k večji prilagoditveni sposobnosti in boljšemu izkoriščanju rastiščnih potencialov. Ugotovitve bodo dopolnjene z izkušnjami iz sosednjih držav s podobnimi rastiščnimi razmerami in nabor bo primerjan z evropskim. Na osnovi vsega bo oblikovan tudi nabor vrst, katere bi bilo v prihodnosti smiselno še bolj intenzivno preizkušati oziroma jih začeti preizkušati na novo.

Dolgoročni uspeh bodočega gozda v veliki meri temelji na kakovosti obnove. Povečanje uporabe tujerodnih drevesnih vrst bo moralo v največji meri temeljiti na umetni obnovi, zato bo precej pozornosti posvečene pripravi osnov in protokolov za zagotavljanje kakovostnega in provenienčno ustreznega gozdnega reprodukcijskega materiala (GRM). Za ameriško duglazijo prav v dinarskem območju, kjer se je izkazala najbolje, ni podatkov o uporabljenih proveniencah, zato bo priporočila potrebno izdelati na osnovi novih genetskih raziskav. Za območje Brkinov bodo priporočila izdelana na osnovi analize obstoječega mednarodnega provenienčnega poskusa.

Za uspešno gojenje bodo nujno potrebne jasne gozdnogojitvene smernice, kakršnih pa pri nas za zdaj za večino tujerodnih drevesnih vrst nimamo veliko. V okviru projekta bomo analizirali in med seboj primerjali uspešnost različnih vrst obnove gozda s tujerodnimi drevesnimi vrstami, pregledali ekološke lastnosti in oblikovali smernice za nego nasadov ali sestojev v različnih razvojnih fazah. Pri starejših nasadih, ki so pogosto enovrstni, bo poudarek na postopni premeni, pri snovanju novih nasadov pa bo poudarek na oblikovanju raznodobnih mešanih gozdov s skupinsko primesjo TDV. Za nekatere izbrane vrste, ki bodisi že zdaj kažejo najboljši potencial bodisi bodo ocenjene kot potencialno zanimive za prihodnost, bomo oblikovali poskusne nasade.

Pri uporabi TDV bo zelo pomembno preučiti vsa tveganja, povezana s pojavom bolezni in škodljivcev na uporabljenih vrstah. Na osnovi pregleda literature iz drugih evropskih držav in na osnovi podatkov o preteklem pojavljanju škodljivcev in bolezni na teh vrstah bo izdelana strokovna monografija z opisi znanih škodljivih biotskih dejavnikov, njihove biologije in ekologije in pripravljena bodo priporočila za potrebne ukrepe varstva gozdov.

Prihodnja uporaba TDV bo morala biti za lastnika gozda dolgoročno zanimiva tudi zaradi njenih ekonomskih učinkov, ki v veliki meri temeljijo na kakovosti in vrednosti lesnih sortimentov uporabljenih vrst. O tem, kakšne so lastnosti pri nas vzgajanega lesa tujerodnih vrst in kakšne

so njihove možnosti za prodajo in dosežene cene na našem lesnem trgu, je znanega zelo malo, zato bo v okviru projekta pomembno osvetliti tudi ta aspekt. Velika večina uspešne slovenske lesnopredelovalne industrije temelji na lesu iglavcev. Les iglavcev je ključen pri gradnji z lesom (ostrešja, skeletne konstrukcije, lepljeni nosilci, križno lepljene plošče ...) in industriji kompozitov (iverne plošče in opažne plošče). V te namene se danes uporablja predvsem smrekov les, katerega delež v slovenskih gozdovih dolgoročno upada. Zato je smiselno identificirati primerno lesno vrsto, ki bi v določeni meri lahko nadomestila smrekovino v gradbenih aplikacijah. Poleg tega na evropskem tržišču vlada veliko povpraševanje po naravno odpornih lesnih vrstah, ki jih v celotnem evropskem prostoru primanjkuje. Z izjemo domačega kostanja v Evropi nimamo naravno odpornih komercialnih lesnih vrst. Poleg kostanja bi tako lahko uporabljali še les robinije. Na področju pohištvene industrije pa vlada veliko povpraševanje po lesu plemenitih listavcev, ki so namenjeni predvsem za izdelavo furniranega pohištva višjega cenovnega razreda. V te namene bi lahko uporabljali les ameriškega oreha, ki ima izrazito zanimivo teksturo. Dostop do domače surovine je ključen za slovenska podjetja, saj se s tem zmanjšujejo številna tveganja, kot na primer valutna tveganja, carinske ovire... Številne druge tujerodne lesne vrste izkazujejo potencial za rabo v številnih drugih aplikacijah, kot na primer v celulozni in papirni industriji in biorafinerijah.

Na osnovi vsega naštetega bo mogoče oblikovati izhodišča in smernice, ki jih bo v prihodnje pri gospodarjenju z gozdovi lahko neposredno uporabila javna gozdarska služba za vsakodnevno načrtovalsko, gojiteljsko, semenarsko in drevesničarsko prakso in katere bo mogoče vključiti v gozdnogospodarske načrte. Pri morebitnem povečevanju obsega gojenja tujerodnih drevesnih vrst bo zelo pomembno upoštevati tudi odnos javnosti do tega za nekatere občutljivega vprašanja. Javnost tujerodnih drevesnih vrst na splošno ne zavrača, če govor o njih ni povezan z invazivnostjo, kljub temu pa bo v prihodnosti treba posvetiti pozornost izobraževanju javnosti in njenem seznanjanju s to problematiko. Potencial TDV se premalo zavedajo tudi lastniki gozdov, ki so navadno bolj naklonjeni tradicionalnim pristopom pri gojenju gozdov in uporabi domačih drevesnih vrst. Zato bo s pomočjo različnih tematskih delavnic, predstavitev, seminarjev in spletne strani pozornost nujno posvetiti tudi njim.

Cilji projekta so naslednji:

- analizirati uspešnost dosedanjega gojenja navadne ameriške duglazije in drugih TDV, kot so zeleni bor, rdeči hrast, črni oreh, robinija, v Sloveniji ter ovrednotenje njihovega potenciala z ozirom na gospodarsko zanimivost, zakonske osnove in morebitne okoljske omejitve ter primerjava s stanjem v primerljivih državah alpskega prostora,
- izdelati konkretne napotke za izbiro provenienc, načina in obsega gojenja ter nege duglazije in drugih predlaganih vrst po ustreznih rastiščih ter prenos znanja v prakso s pomočjo seminarjev, delavnic in vključitve v načrte,
- oceniti varstvena tveganja pri uporabi duglazije in drugih TDV v gozdarstvu ter predložiti ukrepe varstva gozdov,
- izdelati nabor potencialno še primernih drugih TDV, ki bi lahko bile primerne za začetek sistematičnega dolgoročnega preizkušanja (npr. omorika, grška, velika in kavkaška jelka, sitka, Lawsonova pacipresa in druge) in v sodelovanju z gozdarsko prakso in lastniki gozdov začetek zasajanja poskusnih nasadov z izbranimi vrstami,
- analizirati in izpopolniti mrežo gozdnih semenskih objektov ter razviti konkretne uporabne protokole za semenarsko in drevesničarsko prakso, ki bodo omogočali zadovoljivo preskrbo z gozdnim reprodukcijskim materialom TDV,
- analizirati lastnosti lesa in tržnega potenciala TDV v Sloveniji ter predlagati konkretne ukrepe za njegovo izboljšanje in
- izobraževati in informirati lastnike gozdov, gozdarsko stroko, lesnopredelovalno industrijo in širšo javnost o pereči temi, o kateri je (pre)malo znanega.

Delo na projektu bo potekalo v okviru šestih delovnih sklopov, ki bodo vsebinsko zaokroženi in v katerih bodo formalno sodelovali raziskovalci z Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire in Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani in raziskovalci z Gozdarskega inštituta Slovenije. Poleg njih bodo v projekt kot zunanji eksperti vključeni sodelavci Zavoda za gozdove Slovenije, Zavoda RS za varstvo narave, Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Zveze lastnikov gozdov Slovenije ter gozdni semenarji in drevesničarji s področja Slovenije in po potrebi sosednjih držav.

GLAVNI UPORABLJENI VIRI

- Bastien J-C., Sanchez L., Michaud, D. 2013. Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). V *Forest Tree Breeding in Europe*. L.E.Paques (ur). Managing Forest Ecosystems 25, Springer, 325-369.
- Brus R., Ficko A., Roženberger D., Westergren M., Jarni K. 2016. Slovenia. V Hasenauer in sod. (ur.). *Non-native tree species for European forests: experiences, risks and opportunities: country reports*. Vienna: Institute of Silviculture, University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU): 297-304.
- Brus R., Kutnar L. 2017. Drevesne vrste za obnovo gozdov po naravnih motnjah v Sloveniji. *Gozdarski vestnik* 75, 4: 204-212.
- Čokl M. 1965. Rast tujih iglavcev v Sloveniji. Zbornik Inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo Slovenije, 4: 226 s.
- Forest Europe 2015. State of Europe's Forests. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, 312 s.
- Hemery G. E., Clark J. R., Aldinger E., Claessens H., Malvolti M.E., O'Connor E., Raftoyannis Y., Savill, P. S., Brus, R. 2010. Growing scattered broadleaved tree species in Europe in a changing climate: a review of risks and opportunities. *Forestry* 83, 1: 65-81.
- Kutnar L., Pisek R. 2013. Tujerodne in invazivne drevesne vrste v gozdovih Slovenije. *Gozdarski vestnik* 71, 9: 402-417.
- Roženberger D., Nagel T.A., Urbas B., Marion L., Brus, R. 2017. Nekateri ukrepi za omejevanje širjenja visokega pajesena (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) in smernice za gozdnogojitveno ukrepanje ob vdoru potencialno invazivnih tujerodnih drevesnih vrst v ohranjene gozdove v Sloveniji. *Gozdarski vestnik* 75, 1: 3-20.
- Veselič Ž., Grecs Z., Matijašič D. 2016. Predlog uporabe nekaterih tujerodnih vrst pri obnavljanju gozdov v Sloveniji. V: *Invazivne tujerodne vrste v gozdovih ter njihov vpliv na trajnostno rabo gozdnih virov*. Jurc M. (ur.), XXXIII. GŠD, Ljubljana: 149-158.

ZAHVALA

Ciljni raziskovalni projekt CRP V4-1818 financirata Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS.

Tujerodne invazivne rastline – njihova analiza in uporaba

Maks MERELA, Primož OVEN, Ida POLJANŠEK, Viljem VEK, Miran MERHAR, Dominika GORNIK BUČAR, Mirko KARIŽ, Bogdan ŠEGA, Milan ŠERNEK, Aleš STRAŽE, Željko GORIŠEK, Angela BALZANO, Katarina ČUFAR, Denis PLAVČAK

¹ Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Univerza v Ljubljani, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-naslov: maks.merela@bf.uni-lj.si

POUDARKI HIGHLIGHTS

- raziskovalno delo je bilo opravljeno v okviru projekta Applause;
- za analizo je bilo izbranih 17 olesenelih tujerodnih rastlin;
- podrobno so bile analizirane: zgradba, kemijske lastnosti, mehanske in fizikalne lastnosti, mehansko obdelovalne lastnosti, sušilne karakteristike, naravna trajnost, lepilne lastnosti ter postopki utekočinjanja lesne biomase in možnost uporabe za bio-lesne kompozite;
- iz izbranih lesov se razvijajo inovativni izdelki za izrabo biomase invazivnih rastlin.

HIGHLIGHTS

- the research work was carried out within the Applause project;
- 17 woody non-native plants were selected for the analysis;
- detailed analysis were done: structure, chemical properties, mechanical and physical properties, mechanical properties, drying characteristics, natural durability, adhesive properties and processes of liquefaction of wood biomass and the possibility of use for bio-wood composites;
- innovative products for the exploitation of biomass of invasive plants are developed from selected wood species.

UVOD

Tujerodna vrsta je vrsta, podvrsta ali takson nižje kategorije, ki je vnesena na območje zunaj njenega območja (preteklo ali sedanje) naravne razširjenosti, oziroma območja, ki bi ga lahko dosegla z naravno disperzijo brez posrednega ali neposrednega človekovega vpliva. Invazivna tujerodna vrsta je vrsta, katere ustalitev in širjenje ogroža biotsko raznovrstnost (ekosisteme, habitate ali vrste) in/ali zdravje ljudi in gospodarstvo (MOP; 2019). Projekt APPLAUSE (Alien PLAnt SpECies – from harmful to useful with citizens' led activities / od škodljivih do uporabnih tujerodnih rastlin z aktivnim vključevanjem prebivalcev) se izvaja v okviru pobude Urban Innovative Action (UIA) - Evropski sklad za regionalni razvoj. Skupno enajst partnerjev je zasnovalo model projekta APPLAUSE za celovit pregled lastnosti in primerno uporabo invazivnih rastlin, ki so čedalje bolj prisotne v našem okolju in izpodrivajo avtohtono rastje. Evropska komisija UIA podpira inovativne pilotske projekte na področju trajnostnega urbanega razvoja, zato je v ta namen iz Evropskega sklada za regionalni razvoj namenila del sredstev lokalnim oblastem, ki bodo na nov način iskale rešitve dane tematike. Komisija je na izboru upoštevala stopnjo inovativnosti, kvaliteto partnerstva, merljivost rezultatov, možnost širitve rešitve na druga urbana območja in kakovost delovnega načrta projekta. Projekt traja 3 leta (zaključek je oktobra 2020), vrednost projekta APPLAUSE je 5,2 mio evrov z 80% deležem so-financiranja iz EU sredstev. Spletna stran - <https://www.ljubljana.si/sl/moja-ljubljana/applause/>.

Projekt v sklopu krožnega gospodarstva izpostavlja nerešena vprašanja glede ravnanja z invazivnimi tujerodnimi rastlinami v smislu proizvodnje brez odpadkov (zero-waste). V pilotnem projektu so kot primer že dokazali racionalno predelavo japonskega dresnika v papir. Tako se v okviru projekta predlaga sistem ravnanja s tujerodnimi invazivnimi rastlinami, ki temelji na izobraževanju in sodelovanju prebivalcev Ljubljane po treh principih delovanja: »Naredi sam«,

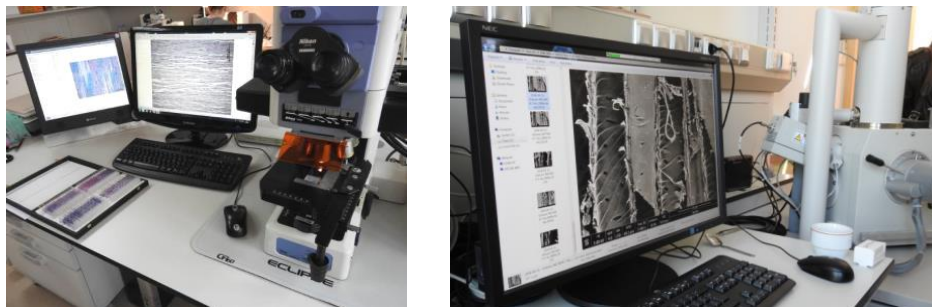
»Predelaj z nami« in »Oddaj v zbirnem centru«. Poleg prijavitelja (Mestne občine Ljubljana) in Biotehniške fakultete (Oddelek za lesarstvo, Odd. za biologijo, Odd. za agronomijo in Odd. za gozdarstvo) sodelujejo še Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo; Naravoslovnotehniška fakulteta, Kemijski inštitut, JP Voka Snaga, Institut Jožef Stefan, Inštitut za celulozo in papir, Tisa d. o. o., GDİ GIS- DATA d. o. o., društvo Trajna, Zavod tipoRenesansa in Center odličnosti Vesolje, znanost in tehnologije.

MATERIALI IN METODE

V skladu s ciljem projekta (čim bolj optimalno in inovativno uporabiti les invazivnih rastlin), smo izmed vseh identificiranih izbrali 25 tujerodnih invazivnih rastlinskih vrst, od tega jih ima 17 olesenelo celično steno in sicer: ameriški javor, Davidova budleja, divji kostanj, japonska medvejka, lovorikovec, Maackovo kosteničevje, navadna amorfa, navadna mahonija, navadni cigarovec, octovec, polegla panešplja, robinija, sivi dren, štrboncelj oz. mirobalana, Thunbergov češmin, trnata gledičevka in veliki pajesen. Med izbranimi vrstami z olesenelo celično steno je nekaj drevesnih in nekaj grmovnih vrst.

Potreben material za vzorce smo pridobili od projektne partnerja Tisa d. o. o., ga primerno skladiščili, razrezali v deske in plohe ter tehnično posušili. Končne vzorce smo izdelali v delavnici Oddelka za lesarstvo. Vsaka od analiz je zahtevala svojevrstno pripravo vzorcev. Anatomske (makro in mikroskopske) ter kemične analize smo opravili na vseh sedemnajstih izbranih vrstah, ostale lastnosti (mehanske in fizikalne lastnosti, mehansko obdelovalne lastnosti, sušilne karakteristike, lepilne lastnosti ter postopke utekočinjanja lesne biomase) pa smo opravili le na izbranih vrstah za katere smo pridobili dovolj ustreznega lesa in so bile tovrstne analize glede na habitus vrste smiselne. To je prva tovrstna študija, ki je bila opravljena v obliki celostne obravnave lastnosti večje skupine olesenelih tujerodnih invazivnih rastlin.

Anatomija je bila opravljena s klasično svetlobno mikroskopsko tehniko (npr. Prislan s sod., 2009) ter s pomočjo novo pridobljene tehnike na Oddelku za lesarstvo – vrstično elektronsko mikroskopijo SEM. Opis postopka priprave vzorcev in analize je podrobno opisan v magistrski nalog (Novak, 2018) (slika 1).



Slika 1: svetlobna mikroskopija (Nikon Eclipse E800) in elektronska vrstična mikroskopija (SEM) QUANTA 250.

Figure 1: light microscopy (Nikon Eclipse E800) end scanning electron microscopy (SEM) QUANTA 250.

Kemijske lastnosti in posebnosti izbranih vrst so bile določene z različnimi postopki. Pri analizah smo se osredotočili predvsem na ekstraktive. To so ne-strukturne komponente v celičnih lumnih ali stenah (Fengel in Wegener, 1989), ki pomembno vplivajo na barvo, vonj, gostoto, ravnovesno vlažnost, dimenzijsko stabilnost ter naravno trajnost lesa (Holmbom, 2011). Znano je tudi, da določeni ekstraktivi učinkujejo kot bioaktivne komponente z antimikrobnim in fungicidnim

učinkom, nekateri so znani tudi kot učinkoviti antioksidanti (Katiki s sod., 2013; Marinas s sod., 2014; Sablik s sod., 2016). Kemijske analize so bile opravljene po ustaljenih postopkih in metodah Katedre za kemijo lesa in drugih lignoceluloznih materialov. Cikloheksanskim in acetonskim ekstraktom lesa smo gravimetrično izmerili delež celokupnih ekstraktivov ter lipofilnih in hidrofilnih ekstraktivov, vsebnost totalnih fenolov, flavonoidov in proantocianidinov (taninov) smo ovrednotili z UV-Vis spektrofotometrijo, kemijsko identiteto posameznih spojin in njihovo koncentracijo v lesu pa smo izmerili s HPLC kromatografijo (De Angelis in sod., 2018; Poljanšek in sod., 2018; Vek in sod., 2018). Pomembna pridobitev Oddelka za lesarstvo je tudi nakup naprave za pospešeno ekstrakcijo (Dionex™ ASE™ 350 - ThermoFisher Scientific), ki je bila sofinancirana iz projekta Applause. Ekstrakcija drevesne biomase v ASE je rezultirala tudi do 9-krat večji donos kot Soxhlet ekstrakcija (slika 4). Z novo napravo so tako postale naše ekstrakcije bistveno hitrejše, učinkovitejše in tudi okolju prijaznejše.

Mehansko fizikalne lastnosti so bile raziskane na šestih izbranih vrstah in sicer: robiniji, divjem kostanju, amerškem javorju, trnati gledičevki, velikem pajesenu ter octovcu. Po standardnih metodah (npr. Gorišek s sod., 2018) smo izbranim lesom določali barvo, gostoto, kazalnike dimenzijske stabilnosti, mehanske lastnosti (statični in dinamični modul elastičnosti, upogibno trdnost, tlačno trdnost in strižno trdnost) ter sušilne karakteristike. Pri izkoriščanju lesa kot strateške surovine so pomembni tudi postopki lepljenja in mehansko obdelovalne lastnosti. Lepilne lastnosti izbranih lesnih vrst so bile preskušene v skladu s standardom SIST EN 205:2016 na napravi Zwick Roel Z005, mehansko obdelovalne lastnosti pa po standardu ASTM D1666-17, kjer smo analizirali kvaliteto skobljanja, rezkanja, vrtanja in struženja.

Celotno delo na projektu Applause poteka v smeri proizvodnje brez odpadkov (zero waste) s čimer se poraja tudi vprašanje uporabe ostankov, ki nastajajo pri predelavi lesa. Tradicionalno se večina tovrstnih ostankov tako ali drugače predela in uporabi kot biomaso za energetske potrebe. V okviru projekta so bili raziskani tudi postopki in možnost utekočinjanja lesnih ostankov. Raziskane so tudi možnosti predelave ostankov v lesne 3D bio-kompozite za različne namene ter osnovno surovino za papir.

REZULTATI

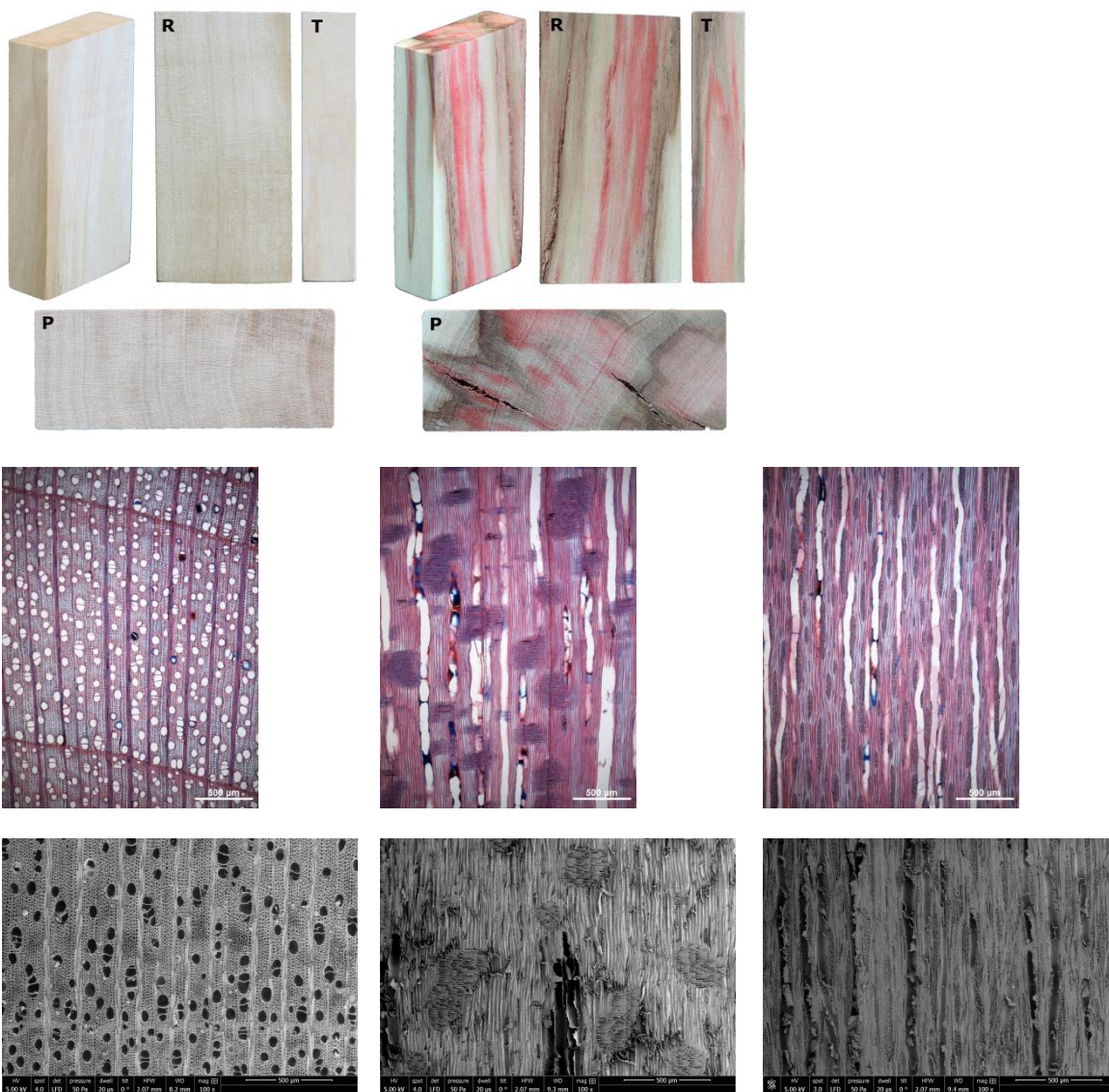
V okviru preiskav makroskopske in mikroskopske analize lesa so nastale tudi zbirke izbranih 17 tujerodnih olesenelih vrst ter njihovih preparatov za anatomske preiskave (slika 2).



Slika 2: zbirka lesov in preparatov 17 tujerodnih invazivnih vrst.

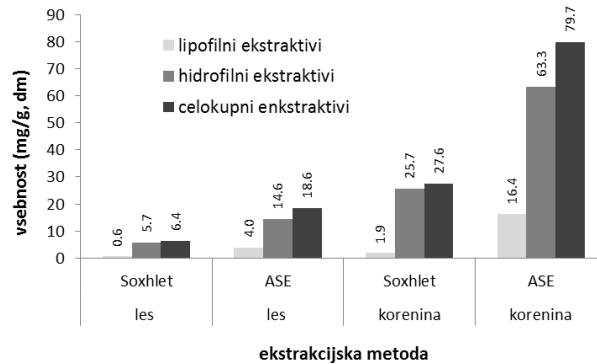
Figure 2: wood samples and slide collection of 17 invasive non-native wood species.

Na sliki 3 je primer analize makro in mikro zgradbe ameriškega javorja (*Acer negundo*). Anatomsko so bile vse vrste opisane v skladu s standardiziranim identifikacijskim ključem IAWA (Wheeler s sod., 1989).



Slika 3: Amerikanski javor (*Acer negundo*); makroskopski videz lesa (levo – normalna tekstura, desno – značilno rdeče obarvanje, ki je posledica glivne okužbe) ter svetlobna mikroskopija (na sredini) in SEM analiza (spodaj).

Figure 3: Box elder (*Acer negundo*); macroscopic view of wood (left – normal wood texture, right - distinctive red discoloration caused by fungi infection), light microscopy (middle) and SEM analyses (bottom).



Slika 4: Vsebnost celokupnih ekstraktivov ter lipofilnih in hidrofilnih ekstraktivov v lesu in korenini velikega pajesena (*Ailanthus altissima*). Ekstrakcije so bile narejene po metodi Soxhlet (Soxlet TB-6-106) in v sistemu za pospešeno ekstrakcijo Dionex™ ASE™ 350.

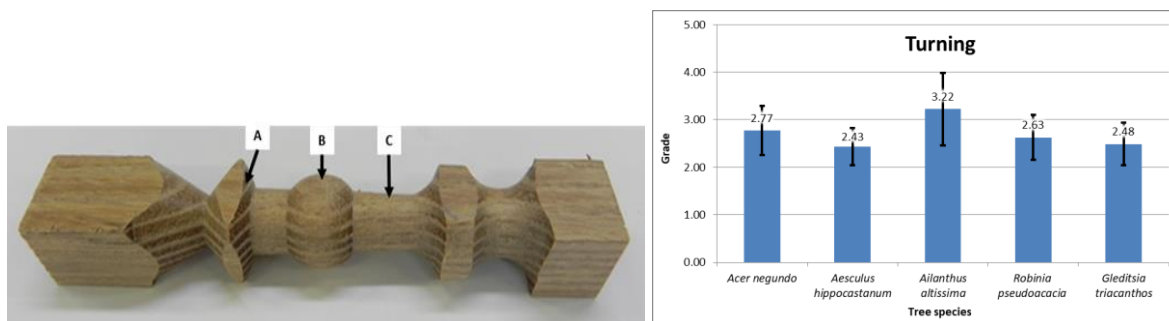
Figure 4: Contents of total extractives, lipophilic and hydrophilic extractives in xylem and roots of tree of heaven (*Ailanthus altissima*). Extractions were done by Soxhlet (Sox) and Accelerated Solvent Extractor Dionex™ ASE™ 350.

Raziskava kemijske sestave ekstraktivov je pokazala, da lesna tkiva tujerodnih vrst v povprečju vsebujejo 1% lipofilnih in 5% hidrofilnih ekstraktivov (w/w, dw). Največje vsebnosti ekstraktivov smo izmerili v lesu Thunbergovega češmina, navadnega cigarovca in robinije. Vsebnost ekstraktivov v lesu nekaterih vrst lahko znaša tudi več kot 10%. Izvirna znanstvena poročila o rezultatih raziskovalnih aktivnosti na temo ekstraktivov v lesu invazivnih tujerodnih vrst so v fazi priprave. Na sliki 4 je prikazan primer ekstrakcije lesa in korenine velikega pajesena po Soxhlet metodi in v sistemu za pospešeno ekstrakcijo Dionex™ ASE™ 350.

Analiza fizikalnih lastnosti je pokazala najvišjo povprečno gostoto v absolutno suhem stanju pri trnati gledičevki in robiniji (700 in 680 kg/m³), najmanjšo pa pri octovcu in divjem kostanju (515 in 480 kg/m³). Pri vrstah z največjo gostoto smo določili tudi najboljše mehanske lastnosti; npr. dinamični modul elastičnosti (E_d : robinija – $11,4$ GPa; trnata gledičevka – $10,6$ GPa); glede na značilno manjšo gostoto (600 kg/m³) je imel presenetljivo dober modul elastičnosti tudi veliki pajesen ($11,4$ GPa). Analiza je razkrila veliko variabilnost v lastnostih tovrstnega materiala, saj les prihaja iz urbanega okolja, kjer je nenehno izpostavljen različnim zunanjim dejavnikom (obžaganje, mehanske poškodbe, zasoljevanje tal, poškodbe korenin ...), ki pomembno vplivajo na rast in posledično tudi na kvaliteto lesa.

Lepilne lastnosti so bile testirane na robiniji, amerškem javorju, divjem kostanju, trnati gledičevki, velikem pajesenu, za kontrolo je bil uporabljen les bukve. Za testiranje sta bili uporabljeni dve različni lepilni mešanici (Mekol D3 in Mitopur E45). Rezultati so pokazali, da je trdnost lepilnih spojev do določene mere sorazmerna z gostoto lepljencev – pri gostoti nad 650 kg/m³ pa ta korelacija ni več tako značilna. Razlog za to je verjetno slabša penetracija lepila v gostejše lesno tkivo.

Ocenjevanje mehansko obdelovalnih lastnosti je potekalo v skladu z ASTM D 1666-17 standardom, ki določa ocene površin med 1 (odlično) in 5 (zelo slabo). Na sliki 5 je primer obdelovanca iz robinije za ocenjevanje kvalitete struženja in primer povprečnih ocen struženja za izbrane lesne vrste.



Slika 5: Robinija (*Robinia pseudoacacia*); vzorec za oceno struženja; desno - primer povprečnih ocen struženih površin za izbrane lesne vrste.

Figure 5: Robinia (*Robinia pseudoacacia*): sample for turning quality estimation and example of average marks of wood turning of selected species.

Celovita karakterizacija osnovne surovine (lesa) je potrebna v kolikor želimo le to čim bolj optimalno izkoristiti. V okviru projekta Applasue bomo na osnovi določenih lastnosti lesa zasnovali dve vrsti lesnih izdelkov. Prva skupina izdelkov bo v smislu prosto-dostopnih "naredi sam" DIY projektov, ki jih bodo uporabniki lahko, z malo iznajdljivosti in osnovnim enostavnim orodjem, sami izdelali doma. Razviti bodo tudi izdelki z višjo dodano vrednostjo, ki bodo za izdelavo nekoliko zahtevnejši in jih bodo lahko izdelovali izučeni mojstri v mizarski delavnici.

Oddelek za lesarstvo na Biotehniški fakulteto ima na projektu ključno vlogo pri raziskavah zgradbe in relevantnih lastnosti olesenelih tujerodnih rastlin, sodeluje pri razvoju, projektiranju in trženju novih izdelkov, izdelovanju in testiranju prototipov in končnih izdelkov ter razvoju novih pilotnih produktov iz ostankov v lesnopredelovalni verigi. Celoten projekt je v osnovi oblikovan in zastavljen zeleno in inovativno, kar pomeni, da bo model prenosljiv tudi na druga mednarodna območja oziroma okolja.

VIRI

ASTM D 1666-17 Standard Test Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood-Base Panel Materials

De Angelis M, Vek V, Poljanšek I, Oven P, Thaler N, Lesar B, Kržišnik D, Humar M. 2018. Chemical composition and resistance of Italian stone pine (*Pinus pinea* L.) wood against fungal decay and wetting. *Ind Crops Prod* 117:187-196 doi:https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.016

Fengel D, Wegener G. 1989. *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter de Gruyter, Berlin-New York. doi:10.1515/9783110839654

Gorišek Ž, Plavčak D, Straže A, Merela M. 2018. Tehnološke lastnosti in uporabnost lesa velikega pajesena v primerjavi z lesom velikega jesena = Technological properties and usability of Chinese sumac wood. *Les*, 67 (2): 29-44. <http://www.les-wood.si/index.php/leswood/article/view/41>.

Holmbom B. 2011. Extraction and utilisation of non-structural wood and bark components. In: Alén R (ed) *Biorefining of forest resources*. vol book 20. Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy, Helsinki, 178-224.

Katiki LM, Ferreira JFS, Gonzalez JM, Zajac AM, Lindsay DS, Chagas ACS, Amarante AFT. 2013. Anthelmintic effect of plant extracts containing condensed and hydrolyzable tannins on *Caenorhabditis elegans*, and their antioxidant capacity. *Vet Parasitol* 192:218-227. doi:10.1016/j.vetpar.2012.09.030

Marinas IC, Oprea E, Geana EI, Chifiriuc C, Lazar V. 2014. Antimicrobial and antioxidant activity of the vegetative and reproductive organs of *Robinia pseudoacacia*. *J Serb Chem Soc*, 79:1363-1378 doi:10.2298/jsc140304049m

MOP. 2019. Narava. Invazivne tujerodne vrste rastlin in živali – definicije.

http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/narava/invazivne_tujerodne_vrste_rastlin_in_zivali/definicije/

- Novak J. 2018. Priprava površin lesa za slikanje z vrstičnim elektronskim mikroskopom : magistrsko delo = Surface preparation of wooden samples for scanning electron microscopy : M. Sc. thesis. Ljubljana.
- Poljanšek I, Oven P, Vek V, Raitanen J-E, Hemming J, Willför S. 2018. Isolation of pure pinosylvins from industrial knotwood residue with non-chlorinated solvents. *Holzforschung*, 73(5): 475–484. doi:10.1515/hf-2018-0152
- Prislan P, Merela M, Zupančič M, Krže L, Čufar K. Uporaba izbranih svetlobno mikroskopskih tehnik za raziskave lesa in skorje = Use of selected light microscopy techniques to investigate wood and bark. *Les*, 61(5): 222-229. <http://eprints.gozdis.si/600/>.
- Sablik P, Giagli K, Paril P, Baar J, Rademacher P. 2016. Impact of extractive chemical compounds from durable wood species on fungal decay after impregnation of nondurable wood species. *Eur J Wood Wood Prod* 74:231-236. doi:10.1007/s00107-015-0984-z.
- SIST EN 205:2016 Adhesives - Wood adhesives for non-structural applications - Determination of tensile shear strength of lap joints.
- Vek V, Oven P, Poljansek I. 2018. Comparison of two extraction and two chromatographic methods in analysis of beech wood extractives. *Eur J Wood Wood Prod*, 76:389-392. doi:10.1007/s00107-017-1216-5.
- Wheeler EA, Baas P, Gasson PE. 1989. *IAWA Bulletin n.s.* 10 (3): 219–332

ZAHVALA

Študija je bila sofinancirana iz evropskega projekta APPLAUSE (UIA02-228), programske sheme Urban Innovative Action, ki ga finančno podpira Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj (ESRR). Del študije je bil opravljen v okviru raziskav programske skupine P4-0015, ki jo financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost republike Slovenije (ARRS). Avtorji se še posebej zahvaljujemo dipl. inž. les. Luki Krže in Jožetu Planinšič, mag. inž. les. za skrbno in natančno pripravo vzorcev ter pomoč pri izvajanju analiz.

Dinarski jelovo-bukovi gozdovi: primerjava mikroklimatskih razmer med sestoji in vrzelmi

Janez KERMAVNAR¹, Mitja FERLAN¹, Aleksander MARINŠEK¹, Klemen ELER^{2,1},
Andrej KOBLER³, Lado KUTNAR¹

¹ Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

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

³ Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za načrtovanje in monitoring gozdov in krajine, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-naslov: janez.kermavnar@gozdis.si

POUDARKI

- Namen raziskave je analiza izbranih spremenljivk mikroklimе (temperatura zraka, relativna zračna vlaga) v strnjenih sestojih, v presvetljenih sestojih in v sestojnih vrzelih dinarskih jelovo-bukovih gozdov Slovenije.
- Primerjali smo, kako se razlike v mikroklimi med sestoji in vrzelmi spreminjajo tekom vegetacijske sezone in kakšne so te razlike med dvema meteorološko razmeroma različnima poletjema 2013 in 2014.
- Izmerjene maksimalne dnevne temperature zraka so bile izrazito višje v vrzelih kot v sestoju (v povprečju za 3,6 °C), minimalna relativna zračna vlaga pa je bila nižja (v povprečju za 15,0 odstotnih točk). Razlike v vremenskih spremenljivkah med sestoji in vrzelmi so bile največje v poletnih mesecih leta 2013, ki je bilo razmeroma vroče in sušno.
- Primerjava sklenjenih sestojev in presvetljenih površin (sestojne vrzeli) je pokazala, da ima zastor drevesnih krošenj pomembno vlogo pri uravnavanju mikroklimatskih razmer v gozdu.
- Rezultati so prikazani v luči potencialnih vplivov podnebnih sprememb, katerim so dinarski jelovo-bukovi gozdovi še posebej izpostavljeni.

HIGHLIGHTS

- The main aim of this research was to investigate microclimatic conditions (air temperature, relative humidity) in dense, mature forest stands, in thinned stands and in canopy gaps of Dinaric fir-beech forests in Slovenia.
- We compared how microclimate differ between stands and gaps during the growing season and analysed these variations in relation to two meteorologically contrasting summers of 2013 and 2014.
- Measured maximal daily air temperatures were significantly higher in canopy gaps (on average for 3.6 °C) compared to below-canopy, whereas minimal daily relative humidity was lower (on average for 15.0 percentage points). These differences were largest during the relatively hot and dry period of summer 2013.
- Comparison between mature forests and canopy gaps showed that overstory canopy cover is a major factor in regulating understory forest microclimate.
- Results are discussed in the context of potential impacts of climate change, which are expected to have a strong influence on the Dinaric fir-beech forests in the future.

1 UVOD

Gozd z zmanjševanjem temperaturnih in vlažnostnih ekstremov blaži mikroklimo (Morecroft in sod., 1998). Mikroklimatske razmere imajo pomemben vpliv na zgradbo, rast in stabilnost gozdnih sestojev ter na razvoj gozdne vegetacije (Vilhar in sod., 2006). V sestojnih vrzelih se zaradi odstranitve drevja, ki je posledica naravnih ali antropogenih vzrokov, močno spremeni mikroklima gozda. Brez zastora drevesnih krošenj v vrzeli se praviloma izražajo večji temperaturni ekstremi in višja povprečna dnevna in letna temperatura, večja je izpostavljenost vetrovom, nižja je relativna zračna vlaga, večja je količina na gozdna tla dospelih padavin (Aussenac, 2000). Ob očitnih spremembah makroklimе se spreminjajo abiotske razmere za rast drevja in drugih rastlin tudi na lokalnem nivoju.

Dinarski jelovo-bukovi gozdovi so eden najbolj razširjenih gozdnih vegetacijskih tipov v Sloveniji (Daksobler, 2008). Navkljub relativno dobri ohranjenosti naravnih sestojev pa je precejšen delež teh gozdov v zadnjih nekaj letih doživel korenite spremembe. Zaradi številnih naravnih ujm (žledolom, prenamnožitve podlubnikov, vetrolomi) in z njimi povezanimi ukrepi gospodarjenja (sanacija poškodovanih gozdov) so nastala razmeroma obsežna območja presvetljenih ali povsem ogolelih, odprtih površin. Glede na nekatere napovedi (Kutnar in Kobler, 2007) naj bi bili dinarski jelovo-bukovi gozdovi še posebej izpostavljeni negativnim učinkom podnebnih sprememb, saj bi zaradi naraščanja temperatur in pomanjkanja padavin lahko prišlo do znatnega zmanjšanja ustreznih rastišč za uspevanje tega vegetacijskega tipa.

Namen prispevka je analizirati osnovne mikroklimatske razmere (temperatura zraka, relativna zračna vlaga) tekom vegetacijske sezone v ohranjenih sestojih s tesnim sklepom krošenj in sestojnimi vrzelmi, ki so nastale kot posledica poseka dreves v gospodarskih jelovo-bukovih gozdovih. Razlike v mikroklimatskih razmerah smo preučili tudi v odvisnosti od splošne meteorološke situacije dveh vremensko razmeroma različnih sezon oz. poletij. Primerjali smo sezono 2013 (vroče in sušno; Vertačnik, 2014) in sezono 2014 (nestanovitno vreme z relativno veliko količino padavin) (ARSO, 2014). Zaradi vplivov podnebnih sprememb (vročinski valovi, pomanjkanje padavin poleti) lahko pričakujemo, da bodo v prihodnje zaostrene mikroklimatske razmere, podobne tistim poletju leta 2013, vse pogostejše.

2 METODE

Meritve temperature zraka (°C) in relativne zračne vlage (%) smo izvedli na treh raziskovalnih območjih v dinarskih jelovo-bukovih gozdovih Slovenije: Trnovski gozd, Snežnik, Kočevski Rog. Na vsakem območju smo izbrali po tri sklenjene sestojne z ohranjenim sklepom krošenj ter po tri sestojne vrzeli krošnje oblike (gozdne poseke velikosti 0,4 ha), ki so nastale kot posledica sečnje dreves v letu 2012. V treh sestojih na vsakem območju je bil izveden posek polovice lesne zaloge sestojna na površini 0,4 ha (presvetljeni sestoji). V vsakem sestoju in vrzeli smo postavili merilne inštrumente za izmero temperature in vlage. Meritve so potekale v času vegetacijske sezone, od začetka maja do konca oktobra, in sicer prvo (2013) in drugo (2014) leto po poseku. Pri analizah smo se osredotočili na dve spremenljivki: maksimalno dnevno temperaturo (T_{max}) in minimalno dnevno relativno vlago (RV_{min}). Analizirali smo tudi odnos med zastorom krošenj nadstojne vegetacije in T_{max} ter med zastorom krošenj in RV_{min} .

3 REZULTATI

Vrednosti T_{max} so bile v vseh mesecih obeh vegetacijskih sezon višje v vrzelih kot pa v strnjenih sestojih. Povprečna razlika med sestoji in vrzelmi je za T_{max} v sezoni 2013 znašala $3,8 \pm 1,8$ °C, v sezoni 2014 pa $3,3 \pm 1,5$ °C. V poletnih mesecih (junij – avgust) obeh sezon je bila povprečna razlika $4,5$ °C. V času meritev so temperature zraka dosegle absolutno najvišje vrednosti (sestoj: $33,5$ °C, vrzel: $39,5$ °C) v začetku avgusta 2013, kar sovpada z vročinskim valom, ki se je v tem obdobju pojavil v večjem delu države. RV_{min} je bila v vrzelih znatno nižja kot v sestojih. Povprečna

vrednost razlike med sestoji in vrzelmi je v sezoni 2013 znašala $-16,3 \pm 7,5$ odstotnih točk. V sezoni 2014 je ta razlika znašala $-13,7 \pm 6,1$ odstotnih točk. V poletnih mesecih obeh sezon je bila povprečna razlika za RV_{\min} 18,0 odstotnih točk.

Na podlagi meritev mikroklimne in zastora drevesnih krošenj v presvetljenih sestojih smo ugotovili značilno negativno linearno povezavo med zastorom krošenj in vrednostmi T_{\max} . Na delih sestojev z večjim zastorom krošenj so bile izmerjene nižje maksimalne dnevne temperature (in obratno). Statistično značilna pozitivna korelacija je bila ugotovljena med zastorom krošenj in RV_{\min} . Na merilnih mestih z večjim zastorom krošenj so bile v povprečju višje minimalne vrednosti relativne vlage (in obratno). Analize nakazujejo, da ima zastor krošenj dreves pomembno vlogo pri uravnavanju mikroklimatskih razmer v gozdu.

4 ZAKLJUČEK

Dokazali smo izrazite razlike v temperaturi in relativni zračni vlagi med sestoji in vrzelmi tekom celotne vegetacijske sezone. Z analizami smo potrdili, da so razlike največje v poletnem času, na višku vegetacijske sezone (julij, avgust), ko so ekološke razmere za rast rastlin manj ugodne. Domnevamo, da so ugotovljene razlike pomembne z ekofiziološkega vidika. Višje temperature in nižja zračna vlaga neposredno vplivajo na preživetje, rast in reprodukcijo rastlin in gozdnega drevja (Davis in sod., 2019). Izbor let 2013 in 2014 nam je omogočil primerjavo mikroklimatskih razmer med sestoji in vrzelmi v dveh meteorološko precej različnih vegetacijskih sezonah oz. poletjih. Poletje 2013 je bilo po Sloveniji med najtoplejšimi, najbolj suhimi in najbolj sončnimi v zadnjih desetletjih (Vertačnik, 2014). Pogostnost izredno vročih in suhih let se bo v prihodnje verjetno še povečevala. Dinarski jelovo-bukovi gozdovi bodo tovrstnim vplivom podnebnih sprememb še posebej izpostavljeni, predvsem zaradi kombinacije neugodnih dejavnikov, kot npr. zmanjšana mehanska in biološka stabilnost sestojev zaradi velikopovršinskih motenj, dolgotrajne poletne suše, vodoprepusten kraški teren, pogosto plitva tla z majhno sposobnostjo zadrževanja vode. Zastor drevesnih krošenj pomembno uravnava količino svetlobe, ki prispe do gozdnih tal. Spremembe mikroklimatskih razmer so najbolj odvisne od stopnje sprememb zastiranja krošenj nadstojne vegetacije (Aussenac, 2000). Zaradi podnebnih sprememb je mogoče pričakovati, da se bodo strukturne značilnosti sestojev močno spremenile, kar posledično pomeni tudi spremembe mikroklimne gozdov.

5 VIRI

ARSO. 2014. Nas je poletje 2014 razočaralo?

<http://www.arso.gov.si/novice/datoteke/032430-Poletje%202014.pdf>

Aussenac G. 2000. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science*, 57 (3): 287-301.

Dakskobler I. 2008. Pregled bukovich rastišč v Sloveniji. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 87: 3-14.

Davis K.T., Dobrowski S.Z., Holden Z.A., Higuera P.E., Abatzoglou J.T. 2019. Microclimatic buffering in forests of the future: the role of local water balance. *Ecography*, 42: 1-11.

Kutnar L., Kobler A. 2007. Potencialni vpliv podnebnih sprememb na gozdno vegetacijo v Sloveniji. V: *Podnebne spremembe – vpliv na gozd in gozdarstvo*. Jurc M. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, str. 289-304.

Morecroft M.D., Taylor M.E., Oliver H.R. 1998. Air and soil microclimates of deciduous woodland compared to an open site. *Agricultural and Forest Meteorology*, 90: 141-156.

Vertačnik, G. 2014. Vročina poleti 2013. *Ujma*, 28: 65-74.

Vilhar U., Simončič P., Kajfež-Bogataj L., Katzensteiner K., Diaci J. 2006. Mikroklimatske razmere v vrzelih in sestojih dinarskega jelovo-bukovega gozda. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 81: 21-36.

ZAHVALA

Študija je bila financirana v okviru evropskega projekta LIFE+ ManFor C.BD (LIFE09 ENV/IT/000078) ter podprta s strani Raziskovalnih programov P4-0107 (Gozdna ekologija, biologija in tehnologija) in P4-0085 – obe financira Agencija RS za raziskovalno dejavnost. Prispevek je bil pripravljen v okviru usposabljanja mladega raziskovalca Janeza Kermavnarja, ki ga financira ARRS.

Odziv puhastega hrasta (*Quercus pubescens*) na Podgorskem krasu na ekstremne vremenske dogodke

Jožica GRIČAR¹, Martina LAVRIČ¹, Klemen ELER^{1,2}, Polona HAFNER¹, Tanja MRAK¹, Saša ZAVADLAV¹, Mitja FERLAN¹, Ines ŠTRAUS¹, Nataša ŠIBANC^{1,2}, Dominik VODNIK², Hojka KRAIGHER¹

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

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

E-naslov: jozica.gricar@gozdis.si

POUDARKI (HIGHLIGHTS)

- Prvi pas trahej ranega lesa je popolnoma oblikovan in s tem usposobljen za prevajanje vode pred popolnim razvojem novih listov konec maja, kar potrjuje, da so te traheje ključne za zagotavljanje prevodnosti vode v obdobju razvoja listov.
- Različna dinamika debelinske rasti v različnih delih drevesa se odraža v različni strukturi lesa in floema, kar je skladno z različnimi vlogami debla in vej v smislu delovanja dreves.
- Puhasti hrast je v sušnem obdobju (julij–avgust) še vedno odražal visoko učinkovitost izrabe vode, kar potrjuje, da je v smislu preživetja dobro prilagojen na pomanjkanje vode v tleh.
- Razpoložljivost vode v tleh bistveno vpliva na debelinsko rast puhastega hrasta, medtem ko so količine nestrukturnih ogljikovih hidratov manj prizadete.
- Močan sezonski učinek je bil zabeležen za potencial sekvestracije ogljika v tla, medtem ko je bil vpliv sezone na hitrost dekompozicije šibkejši.
- Delež vitalne ektomikoriznih vršičkov je odvisen od sezone, medtem ko tip tal vpliva na vrstno abundanco nekaterih taksonov ektomikoriznih gliv.
- Initial earlywood vessels were fully lignified and ready for water transport before full leaf unfolding at the end of May, indicating that they are essential to provide hydraulic conductivity for axial water flow during leaf development.
- Different intra-annual patterns of radial growth in different tree parts result in different structures of xylem and phloem, which is in line with different roles of stem and branches in terms of tree functioning.
- During drought period (July–August) pubescent oak still reflected high water use efficiency what confirms that it is well adapted to survive severe water shortage in the soil.
- Soil water availability substantially influenced secondary growth in the stem of pubescent oak, whereas non-structural carbohydrate amounts seemed to be less affected.
- Strong seasonal effect was observed on carbon sequestration potential of soil, while decomposition rate was less influenced by season.
- Percentage of vital ectomycorrhizal root tips was affected by season, whereas abundance of selected ectomycorrhizal taxa depends on soil type.

UVOD

Podnebne spremembe in s tem povezanimi pogostejši in intenzivnejši ekstremni vremenski dogodki, kot so suše, vročinski valovi, pozebe in poplave, bodo nedvomno vplivali na vitalnost dreves, produkcijo in kakovost lesa v Sloveniji v prihodnjih letih. V okoljih s pogostimi sušami (npr. Sredozemlje) bo tako pomanjkanje vode v povezavi s sekundarnimi učinki, kot je povečana

pojavnost in silovitost požarov ter gradacije škodljivcev, po vsej verjetnosti izrazito vplivalo na porazdelitev vrst in njihovo uveljavitev v združbah (Galle in sod. 2010). Puhasti hrast (*Quercus pubescens* Willd.) je ena od dominantnih domorodnih drevesnih vrst na slovenskem Podgorskem krasu in je v ekološkem smislu za to območje zelo pomemben, saj je eden glavnih graditeljev gozdov, ki preprečujejo degradacijo najbolj občutljivih, plitvih in sušnih kraških tal. Kljub pomembnosti puhastega hrasta na submediteranskih območjih v Sloveniji so informacije o njegovi rasti in strategijah preživetja pomanjkljive.

Namen raziskave je bil proučiti odziv puhastega hrasta na Podgorskem krasu na najpomembnejše ekstremne vremenske dogodke (tj. suša, požar) z uporabo drevesno-anatomskih analiz, eko-fizioloških meritev in analiz združb ektomikoriznih gliv.

MATERIAL IN METODE

Študija je potekala na Podgorskem krasu v JZ delu Slovenije (45°32'31"N, 13°54'45"E, 420–430 m n.v.), kjer prevladuje submediteransko podnebje, za katerega so značilna vroča in suha poletja. Pogoste visoke temperature in pomanjkanje padavin poleti vodijo v nastanek suše, ki je za tamkajšnje vegetacijo omejujoč dejavnik. V 30-letnem obdobju (1981–2010; vremenska postaja Ilirska Bistrica) je bila povprečna letna temperatura 10,4 °C, z najvišjo povprečno dnevno temperaturo 27,2 °C v juliju, in najnižjo povprečno dnevno temperaturo –3,0 °C v januarju. Povprečna količina padavin je bila 1170 mm (ARSO, 2016) z viškom jeseni in pozno pomladi. Pozimi je za to območje značilna burja s periodično snežno odejo.

Raziskave smo opravili na dveh ploskvah, ki sta se med seboj razlikovali v strukturi tal: z apnenčasto (L-ploskev) ali flišno (F-ploskev) matično podlago. Za F-ploskev so značilna evtrična rjava tla na flišu, ki imajo velik potencial zadrževanja vode (globina tal: > 0,6 m). Tla na L-ploskvi so tipa rendzina na apnencu in so plitva (globina tal: 0–0,5 m), s kamnito površino, ter imajo zelo slabo sposobnost zadrževanja vode. Obe ploskvi imata glineno teksturo tal, ki je sestavljena iz 7,8 % peska, 33,5 % mulja in 58,8 % gline.

Vzorčna drevesa puhastega hrasta (*Quercus pubescens* Willd.) so bila stara 55±5 let, visoka 10±1,5 m (L-ploskev) oz. 15±2,3 m (F-ploskev) s premerom v prsni višini 20±1,5 cm (L-ploskev) in 30±4,5 cm (F-ploskev). V letih 2014–2018 smo na izbranih drevesih in ploskvah opravili naslednja opazovanja, meritve oz. vzorčenja: listno fenologijo, indeks listne površine, debelinsko rast dreves, ksilemski tok vode v lesu, nestrukturane ogljikove hidrate, izmenjavo plinov na nivoju listov in vodni potencial listov, dekompozicijo v tleh, produkcijo micelija v tleh in združbo ektomikoriznih gliv. Analize podatkov so bile izvedene v statističnem programskem okolju R različica 3.4.3 in programu Microsoft Excel.

REZULTATI IN DISKUSIJA

V raziskavi smo ugotovili, da razvoj listov in debelinska rast pri puhastem hrastu ne potekata sočasno; večina letnega prirastka lesa in floema v deblu in vejah je nastala pred popolnim olistanjem dreves. Obdobje kambijeve celične produkcije je bilo v deblu mesec dni daljše kot v vejah, kar se je odražalo v 82,8 % širših lesnih in 45,1 % širših floemskih prirastkih. Različna dinamika debelinske rasti v različnih delih drevesa se odraža v različni strukturi lesa in floema, kar je skladno z različnimi vlogami debla in vej v smislu delovanja dreves (Gričar in sod. 2017). Potrdili smo povezavo med sezonsko dinamiko nastajanja lesa in pretokom vode v lesu, ki pa je tesno povezana z listno fenologijo zgodaj spomladi. Prvi listi so se pojavili v drugi polovici aprila, kar je sovpadalo z začetkom nastajanja inicialnih trahej ranega lesa. V začetku rastle sezone je tok vode v lesu naraščal sočasno z razvojem listov (Lavrič in sod. 2017). V nadaljevanju rastle sezone pa je bil tok vode v lesu pod vplivom vremenskih dejavnikov, zlasti deficita parnega tlaka, temperature zraka in sončnega sevanja. V obdobju hude suše vrednosti toka vode v lesu niso bile usklajene z vrednostmi deficita parnega tlaka zaradi povečane uporabe strategij za ohranjanje vode. To velja predvsem za zmanjšanje prevodnosti listnih rež, kar vodi do zmanjšanja

fotosintetske aktivnosti, ki dalje negativno vpliva na debelinski prirastek. Kljub temu pa so drevesa v sušnem obdobju še vedno odražala visoko učinkovitost izrabe vode, kar potrjuje, da je hrast v smislu preživetja dobro prilagojen na pomanjkanje vode v tleh. Vremenske razmere v najbolj sušnih poletnih mesecih niso imele večjega vpliva na trajanje debelinske rasti, saj se je kambijeva produkcija navadno zaključila konec julija, kar je lahko ena izmed prilagoditev puhastega hrasta na lokalne okoljske razmere v smislu zaključka debelinske rasti pred obdobjem s pogostimi ekstremnimi vremenskimi dogodki. Požar avgusta 2016 tako ni vplival na debelinsko rast v tekočem letu, je pa vplival na dinamiko kambijeve produktivnosti v naslednji rastni sezoni, pri čemer je bil zabeležen večji vpliv na strukturo floema v primerjavi s strukturo lesa. To bi lahko pojasnili z različnimi vlogami obeh tkiv v lesu in lokacijo v drevesu.

Razpoložljivost vode v tleh je bistveno vplivala na debelinsko rast puhastega hrasta, medtem ko so bile količine nestrukturnih ogljikovih hidratov manj prizadete. Količina nestrukturnih ogljikovih hidratov in topnih sladkorjev se je značilno razlikovala med tkivi in datumi vzorčenja. Vsebnost škroba je tekom rastne sezone dosegla dva izrazita vrhova: obdobje barvanja in odpadanja listov (jeseni) ter na začetku kambijeve produkcije (zgodaj spomladi). Količine topnih sladkorjev so bile najvišje v nekolabiranem floemu, tj. na mestih aktivne rasti (Gričar in sod. 2019).

Zasledili smo močan sezonski vpliv na potencial sekvestracije ogljika v tla, ki je bil v bolj namočenem obdobju tudi do šestkrat večji kot v suhem obdobju. Na hitrost razgradnje organske snovi je prav tako vplivala sezona, vendar pa je bila med suhim in vlažnejšim obdobjem le največ dvakratna razlika. Združbe ektomikoriznih gliv (ECM), ki živijo v simbiozi s koreninami puhastega hrasta so se prav tako razlikovale sezonsko ter med ploskvama. Na L-ploskvi smo opazili večjo vrstno pestrost ter manjšo sezonsko variabilnost vrstne pestrosti kot na F-ploskvi. Maksimumi vrstne pestrosti so na obeh ploskvah časovno sovpadali. Skupno smo za celotno obdobje vzorčenja in obe ploskvi zabeležili okoli 70 različnih morfotipov ECM, ki smo jih dodatno molekularno identificirali. Na L-ploskvi smo zasledili značilno večjo pogostost rodu *Cenococcum* iz družine Gloniaceae (Ascomycota) v primerjavi z F-ploskvijo, medtem ko je bila pogostost rodu *Sebacina* iz družine Sebacinaceae (Basidiomycota) značilno večja na F-ploskvi. Delež vitalne mikorize je bil na obeh ploskvah značilno odvisen od sezone, ni pa se razlikoval med ploskvama. Najmanjši delež vitalne mikorize smo zasledili v letu 2017, največji pa v začetku leta 2018. Ploskvi sta se značilno razlikovali v specifični dolžini korenin, dolžini korenin na volumen tal, biomasi korenin na volumen tal ter premeru korenin, vpliv sezone pa je bil opazen na specifični dolžini korenin ter v manjši meri na premeru korenin.

ZAKLJUČKI

Kombiniran strukturno-funkcionalni raziskovalni pristop, predstavljen v tem projektu, kaže, da podnebje in ekstremni vremenski dogodki niso edini dejavnik, ki vpliva na rast in razvoj puhastega hrasta; lastnosti tal so zelo pomemben dejavnik, ki ga je potrebno upoštevati, a je pri tovrstnih študijah največkrat spregledan. Poleg tega so rezultati pokazali, da razmerja med proučevanimi procesi niso enostavna in da potrebne analize na ravni celotnega drevesa. Spoznanja raziskave so ključna za oceno prilagodljivosti različnih drevesnih vrst v spremenjenih podnebnih razmerah, kar bo vplivalo na zgradbo in biotsko raznovrstnost gozdov v prihodnosti.

VIRI

- Gallé A, Haldimann P, Feller U. 2007. Photosynthetic performance and water relations in young pubescent oak (*Quercus pubescens*) trees during drought stress and recovery. *New Phytol.* 174: 799–810.
- Gričar J, Lavrič M, Ferlan M, Vodnik D, Eler K. 2017. Intra-annual leaf phenology, radial growth and structure of xylem and phloem in different tree parts of *Quercus pubescens*. *Eur. J. For. Res.* 136: 625–637. Doi: 10.1007/s10342-017-1060-5.
- Gričar J, Zavadlav S, Jyske T, Lavrič M, Laakso T, Hafner P, Eler K, Vodnik D. 2019. Effect of soil water availability on intra-annual xylem and phloem formation and non-structural carbohydrate pools in stem of *Quercus pubescens*. *Tree Physiol.* 39: 222–233. Doi: 10.1093/treephys/tpy101.

Lavrič M, Eler K, Ferlan M, Vodnik D, Gričar J. 2017. Chronological sequence of leaf phenology, xylem and phloem formation and sap flow of *Quercus pubescens* from abandoned karst grasslands. *Front. Plant Sci.* 8: 314.

ZAHVALA

Študija je bila financirana s strani Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije: projekta J4-7203 in J4-9297, program mladih raziskovalcev (ML) ter raziskovalna programa P4-0107 in P4-0085.

Analiza odvisnosti parametrov branik od dnevnih klimatskih podatkov z uporabo funkcije *daily_response()* iz R paketa *dendroTools*

Jernej JEVŠENAK¹

¹ Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za prirastoslovje in gojenje gozda, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-naslov: jernej.jevsenak@gozdis.si

POUDARKI (HIGHLIGHTS)

- Funkcija *daily_response()* je na voljo v *dendroTools* R paketu in omogoča analizo odvisnosti parametrov branik od dnevnih klimatskih podatkov
 - Funkcija deluje po principu drsečega okna in sprotnega izračunavanja korelacijskih koeficientov
 - Poleg linearne analize, lahko uporabniki za analizo odvisnosti parametrov branik od dnevnih klimatskih podatkov uporabijo tudi nelinearno metodo umetnih nevronske mreže
 - Glavni rezultat funkcije *daily_response()* je izračunan najvišji korelacijski koeficient ter določitev optimalnega časovnega okna, ki je bil uporabljen za ta izračun
 - Uporaba dnevnih klimatskih podatkov in funkcije *daily_response()* omogoča analizo z večjo fleksibilnostjo in realnejše ter natančnejše modeliranje odvisnosti značilnosti branik
-
- The *daily_response()* function is available from the *dendroTools* R package and enables the analysis of dependences between tree-ring parameters and daily climate data
 - Function works by sliding a moving window and simultaneous calculating correlation coefficients
 - Besides linear analysis, users can analyse the dependences between tree-ring parameters and daily climate data also by using a nonlinear artificial neural networks method
 - The main outputs of the *daily_response()* function are calculated the highest correlation coefficient and identified optimal time window which was used for calculation
 - Using daily climate data and the function *daily_response()* enables more flexible analysis and more realistic and more accurate modelling of the dependences of tree-ring characteristics

UPORABA DNEVNIH KLIMATSKIH PODATKOV V DENDROKLIMATOLOGIJI

Za analizo odvisnosti debelinskega prirastka od klimatskih spremenljivk se običajno uporablja klimatske podatke na mesečni ravni (Cook in Kairiukstis, 1992; Fritts, 1976), čeprav so dnevni klimatski podatki pogosto na voljo. Z uporabo dnevnih klimatskih podatkov lahko dobimo boljši vpogled v odvisnost parametrov branik od klimatskih spremenljivk, zato smo razvili funkcijo *daily_response()*, ki je vgrajena v R paketu *dendroTools* (Jevšenak in Levanič, 2018) in prosto dostopna na CRAN repozitoriju (<https://CRAN.R-project.org/package=dendroTools>). Funkcija *daily_response()* deluje po principu drsečega okna in sprotnega izračunavanja korelacijskih koeficientov med parametrom branike in zaporednimi vrednostmi klimatske spremenljivke. Poleg linearne odvisnosti, lahko analiziramo tudi nelinearno odvisnost z uporabo umetnih nevronske mreže (an. Artificial Neural Networks, ANN), ki dendroklimatološkimi podatki običajno prilagodijo funkcijo s-oblike. Kot metriki za izračun povezanosti sta poleg Pearsonovega korelacijskega koeficienta na voljo tudi determinacijski in prilagojeni determinacijski koeficient, ki sta primernejša

za analize, kjer uporabimo več parametrov branik hkrati. Funkcija ponuja še številne možnosti analize, kot so uporaba metode vodilnih komponent (an. *Principal Component Analysis*) in ločena analiza za različna obdobja. Z uporabo funkcije *daily_response()* skupaj z dnevnimi klimatskimi podatki lahko pričakujemo natančnejše modele rekonstrukcije klime, ki so realno bolj prilagojeni neprekinjeni rasti dreves v posamezni rastni sezoni.

PRIKAZ FUNKCIONALNOSTI *daily_response()* FUNKCIJE NA PRIMERU

Za uporabo funkcije *daily_response()* potrebujemo dve podatkovni preglednici. Podatkovna preglednica *response* vsebuje kronologijo parametra branike, npr. indeks standardizirane širine branik, podatkovna preglednica *env_data* vsebuje dnevne klimatske podatke, kot so na primer vsote padavin ali povprečne temperature zraka (Preglednica 1). Z argumentoma funkcije *lower_limit* ter *upper_limit* določimo razpon možnih oken, ki bodo uporabljena za izračun korelacijskih koeficientov. Privzeta metoda za analizo odvisnosti je korelacijski koeficient (*method* = "cor").

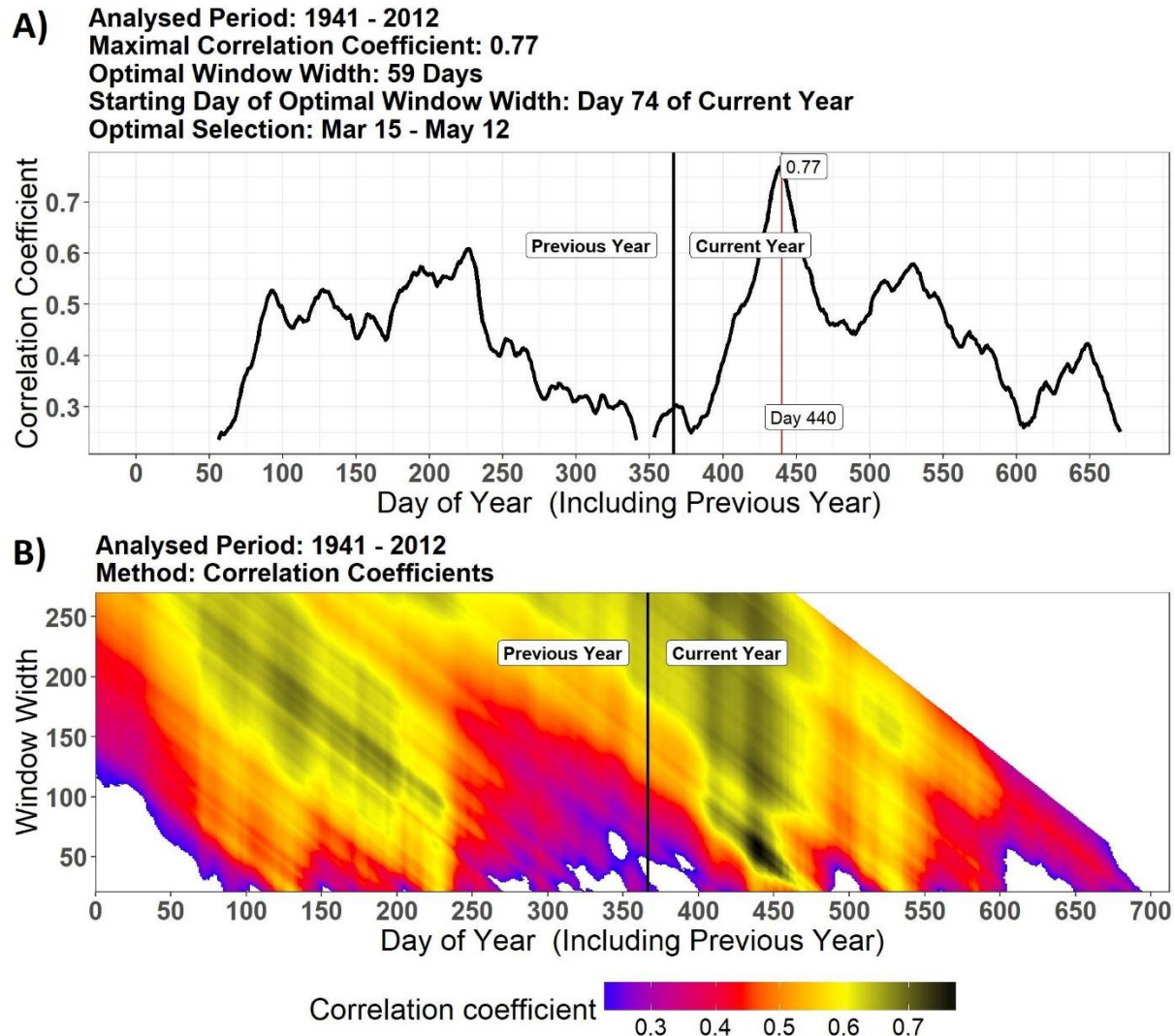
Preglednica 1: Organiziranost dveh glavnih podatkovnih tabel za funkcijo *daily_response()*. Levo je preglednica *response*, ki vsebuje podatke o parametru branike, desno je primer preglednice *env_data*, kjer so dnevni klimatski podatki podani kot stolpci, vrstice predstavljajo posamezna leta.

Table 1: The organization of two main data frames for *daily_response()* function. Left is *response* data frame, which has data for tree-ring parameter, while on the right there is *env_data* table example with daily climate data given as columns and years as rows.

	TRWi		DOY 1	DOY 2	DOY 3	DOY 4	...	DOY 365	DOY 366
1757	1,392	1961	-0,1	0,5	1,9	2,5	...	4,3	NA
1758	1,130	1962	4,7	6,5	-1,1	-3,3	...	1,4	NA
1759	1,483	1963	-0,2	-0,2	0,8	1,5	...	-4,3	NA
1760	1,183	1964	-4,9	-5	-5,3	-5,6	...	-3,9	-7,8
1761	1,256	1965	-0,8	2,1	0,9	-1,8	...	0,4	NA
1762	1,146	1966	-1,4	0,3	2	1,2	...	2	NA
1763	1,440	1967	-1	0,8	-0,4	-3,5	...	0,2	NA
1764	1,209	1968	-1,2	-3,5	-9,4	-8,4	...	-11,1	-10,3
1765	0,854	1969	-12,1	-8,6	-3,8	-2,3	...	-1,6	NA
1766	0,614	1970	-1,3	-3,1	-1,1	2,1	...	0,1	NA
1767	0,677	1971	-3,5	-6,5	-7,8	-9,9	...	0,9	NA
1768	0,602	1972	0,8	0,8	0,4	1,1	...	-4,6	-4,3
1769	0,875	1973	-1,6	-0,2	1,1	0,8	...	0,2	NA
1770	0,559	1974	0,2	0,4	1	1,3	...	1,9	NA
1771	0,578	1975	0,9	1,1	1,7	-2,7	...	-3,8	NA
1772	0,541	1976	-1,2	4,3	2,7	3,8	...	-8,7	-8,5
1773	0,631	1977	4,6	2,1	1,7	0,5	...	2,1	NA
1774	0,773	1978	1,7	3,4	5,8	5,3	...	8,2	NA
1775	1,171	1979	1,1	-8,2	-10,6	-7,8	...	-0,6	NA
...

Primer R kode za analizo odvisnosti med dnevnimi klimatskimi podatki in parametrom branike:

```
primer <- daily_response(response = TRWi, env_data = Daily_temperatures,
                        lower_limit = 21, upper_limit = 270,
                        row_names_subset = TRUE,
                        method = "cor", previous_year = TRUE)
```



Slika 1: Primer analize odvisnosti parametra branike povprečni lumen traheje od dnevni povprečnih temperatur za vrsto *Quercus robur* s Sorškega polja. A) Prikaz izračuna najvišjega korelacijskega koeficienta in B) prikaz odvisnosti korelacijskega koeficienta od izbranega časovnega intervala.

Figure 1: An example of analysis of the dependences of tree-ring parameter Vessel lumen area from daily mean air temperatures for Quercus robur species from Sorško plain. A) An example of calculated the highest correlation coefficient and B) an example of temporal dependences of correlation coefficient from various time windows.

Rezultat funkcije `daily_response()` je seznam (an. *list*), ki vsebuje 14 končnih objektov. Posamezni objekt lahko prikazemo tako, da pokličemo njegovo ime (primer`$plot_extreme`) ali zaporedno številko v seznamu (primer`[[11]]`). Najpomembnejši rezultat predstavljata sliki `plot_extreme` in `plot_heatmap` (slika 1), ki podrobno prikazujeta odvisnost parametra branike od različnih časovnih oken v klimatskih podatkih. Uporabniki lahko med drugim dobijo vpogled tudi v časovno stabilnost korelacijskega koeficienta (primer`$temporal_stability`) in rezultate navzkrižnega preverjanja (primer`$cross_validation`).

ZAKLJUČEK

R paket *dendroTools* vsebuje poleg funkcije *daily_response()* še nekaj drugih funkcij, ki so namenjene analizam odvisnosti parametrov branik od klimatskih oziroma okoljskih spremenljivk. Neposredna nadgradnja funkcije *daily_response()* je funkcija *daily_response_seascorr()*, ki omogoča uporabo parcialnih korelacijskih koeficientov. Funkcija *monthly_response()* deluje po podobnem principu kot *daily_response()*, vendar za klimatske podatke na mesečni ravni. Za primerjavo različnih regresijskih metod z namenom rekonstrukcije klime je na voljo funkcija *compare_methods()* (Jevšenak in sod., 2018), ki primerja linearne in nelinearne regresijske metode po principu navzkrižnega preverjanja in predlaga metodo, ki daje najboljše rezultate. Več informacij o teh in še nekaterih drugih funkcijah je na voljo priporočniku R paketa *dendroTools*, ki je na voljo na slednji povezavi: <https://cran.r-project.org/web/packages/dendroTools/dendroTools.pdf>.

VIRI

Cook E. R., Kairiukstis L. A. 1992. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 394 str.

Fritts H. C. 1976. *Tree Rings and Climate*. London, Academic Press: 567 str.

Jevšenak J., Levanič T. 2018. *dendroTools*: R package for studying linear and nonlinear responses between tree-rings and daily environmental data. *Dendrochronologia*, 48: 32–39

Jevšenak J., Levanič T., Džeroski S. 2018. Comparison of an optimal regression method for climate reconstruction with the *compare_methods()* function from the *dendroTools* R package. *Dendrochronologia*, 52: 96-104

ZAHVALA

Razvoj *dendroTools* R paketa je bil financiran s strani ARRS programske skupine P4-0107: "Gozdna biologija, ekologija in tehnologija" in ARRS temeljnega projekta: J4-8216: "Mortaliteta v nižinskih hrastovih sestojih Panonske nižine - posledica zniževanja podtalnice ali klimatskih sprememb?".

Obračunavanje emisij v gozdovih po letu 2020

Boštjan MALI¹, Jernej JEVŠENAK¹

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

E-naslov: bostjan.mali@gozdis.si

POUDARKI

- Gozdovi so najpomembnejši vir ponora CO₂ v Sloveniji
- Na zmanjšanje ponora v gozdovih so v zadnjih letih najbolj vplivale naravne ujme, ki bodo v prihodnje najbrž pogostejše
- Podnebne spremembe, naravne motnje, referenčna vrednost za gospodarjenje z gozdovi in neuravnotežena debelinska struktura gozdov ogrožajo dolgoročno zagotavljanje ponora v gozdovih
- Ponor v gozdovih lahko dolgoročno zagotovimo le z izvajanjem trajnostnega gospodarjenja, ki vključuje zadosten posek in vzpostavitev uravnoveženega razmerja razvojnih faz
- V gozdarstvu bo treba integrirati ukrepe in politike za zmanjšanje emisij v strateške dokumente in vložiti več sredstev v gozdove za doseganje podnebnih ciljev

HIGHLIGHTS

- Forests are key source of CO₂ removals in Slovenia
- In recent years the decline in forest sink was mostly affected by natural disasters and calamities, which are likely to be more frequent in the future
- Climate change, natural disturbances, the forest reference level and the unbalanced diameter structure of forests endanger the long-term sink in forests
- In the long term, the forest sink can only be achieved through the implementation of sustainable forest management, which includes a sufficient harvest rate and the establishment of a balanced ratio between the development phases
- It will be necessary to integrate forestry mitigation measures and policies to reduce emissions into strategic documents and invest more resources into forests to achieve climate goals

Uvod

Vloga gozdov pri blaženju podnebnih sprememb je bila že mnogokrat izpostavljena, a v zvezi z ocenjevanjem potenciala za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov je še vedno precej negotovosti (Grassi in sod., 2017). Potencial gozdov za zmanjševanje emisij CO₂ na globalni ravni sicer priznava tudi nedavno sprejeti Pariški sporazum. Ta določa, da morajo države podpisnice začeti zmanjševati globalno raven emisij toplogrednih plinov čim prej, s ciljem, da se dolgoročno omeji dvig temperature. Na mednarodni ravni se emisije toplogrednih plinov poročajo v skladu z zavezami Okvirne konvencije Združenih narodov o podnebnih spremembah (UNFCCC), pri čemer se za ocenjevanje le-teh uporabljajo smernice dobre prakse Medvladnega panela za podnebne spremembe (IPCC). Emisije in ponori zaradi gospodarjenja z gozdovi so vključeni v t. i. sektor Raba tal, sprememba rabe tal in gozdarstvo (LULUCF), pri čemer se ocenjuje, da bi gozdovi lahko prispevali do 25 % k zmanjšanju emisij do leta 2030 (Grassi in sod., 2017). Trenutno smo v obdobju, ko obračunavanje emisij po določenih Kjotskega protokola ni aktualno. To pomeni, da članice sicer vodijo letne obračune po aktivnostih členov 3.3 in 3.4, vendar samo obračunavanje emisij formalno ni zavezujoče, saj v drugem ciljnem obdobju (tj. 2013-2020) kvantitativni cilji za zmanjšanje emisij niso bili sprejeti.

Posledice nove evropske zakonodaje na področju LULUCF

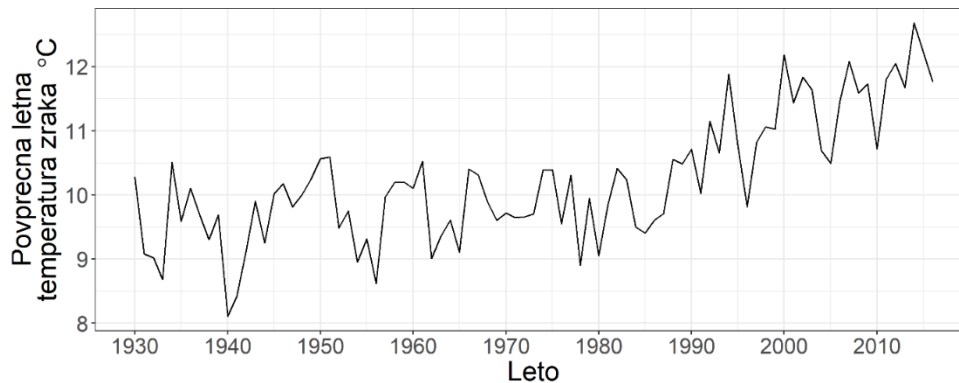
V prizadevanjih za podnebne ukrepe je imela EU v preteklosti osrednjo vlogo. Prve pobude za podnebno politiko so bile že leta 1990, leta 2000 je bil sprejet Evropski program za podnebne spremembe (ECCP), EU pa je intenzivno sodelovala tudi v procesu priprave UNFCCC in Kjotskega protokola in nazadnje Pariškega sporazuma. Za sektor LULUCF je bilo prelomno leto 2013, ko je EU sprejela Sklep 529/2013/EU (Sklep LULUCF), ki določa pravila za obračunavanje emisij in odvzemov toplogrednih plinov v sektorju. Ta sklep je bil podlaga za pripravo Uredbe 2018/841 (Uredba LULUCF), ki je bila sprejeta julija 2018 in s katero je EU sektor LULUCF vključila v okvir podnebne in energetske politike do leta 2030. Cilj EU je, da do leta 2030 zmanjša emisije za 40 % glede na leto 2005. V oceni učinka (Impact Assessment, 2016) je Komisija ocenila, da bi sektor LULUCF lahko prispeval manjkajočih 6 odstotnih točk k 30 % zmanjšanju emisij, kar je cilj sektorjev, ki niso vključeni v sistem EU za trgovanje z emisijami (ETS).

Določila omenjene uredbe, ki se nanašajo na obračunavanje za gozdna zemljišča, s katerimi se gospodarji, so za Slovenijo sila neugodna. Obvezno obračunavanje za to kategorijo, ki se bo začelo z letom 2021, se bo izvajalo na podlagi referenčne ravni za gospodarjenje z gozdovi. Države članice EU so morale Komisiji do konca leta 2018 predložiti t. i. Nacionalni načrt za obračunavanje na področju gozdarstva, upoštevajoč merila in smernice za določitev referenčne vrednosti in elemente načrta, kot so navedeni v Prilogi IV uredbe. V 8. čl. slednja med drugim določa, da referenčna vrednost temelji na nadaljevanju prakse trajnostnega gospodarjenja z gozdovi v obdobju 2000-2009, ob upoštevanju dinamičnih značilnosti gozdov (tj. starostna oz. debelinska struktura). Z drugimi besedami, glavni kriterij za določitev referenčne ravni je jakost sečnje v obdobju 2000-2009. Ta je bila takrat v Sloveniji izredno nizka, okoli 39 % prirastka, na kar je najbolj vplivalo neizvajanje del v gozdovih, predvsem zasebnih, gozdarska politika, denacionalizacija, nizke odkupne cene lesa, odprtost gozdov itd. (Tavčar, 2005; Bončina, 2011). Uporaba enake jakosti sečnje v obdobju 2021-2030 je zelo problematična za zagotavljanje trajnostnega gospodarjenja z gozdovi, ne le za Slovenijo, ampak tudi za več drugih držav članic.

Vpliv podnebnih sprememb na emisije v gozdovih

Slovenija spada med najbolj gozdnate države v Evropi, saj gozdovi predstavljajo skoraj 60 % površine države. Gozdovi so glavni vir ponora CO₂ in ključna obračunska kategorija v sektorju LULUCF. Vendar podatki zadnje gozdne inventure, ki je bila v letu 2018, kažejo, da se je lesna zaloga zmanjšala glede na leto 2012, in sicer s 333,94 na 331,36 m³/ha. Temu so botrovale predvsem naravne ujme in gradacije podlubnikov, ki so v zadnjih 5 letih močno prizadele slovenske gozdove in pomembno prispevale k povečanemu poseku in mortaliteti. Kljub temu so bili gozdovi v letu 2017 še vedno vir ponora v višini 1.154,76 kt CO₂ ekv (NIR 2019).

Podnebne spremembe se nedvomno kažejo v naraščajoči povprečni temperaturi zraka (slika 1) ter večjih koncentracijah ogljikovega dioksida in spremenjenih padavinskih režimih (IPCC, 2016). Višje povprečne temperature zraka povzročajo sušni stres in ugodno vplivajo na razmnoževanje podlubnikov, kar predstavlja resno grožnjo za odpornost gozdov. Pogostejše ujme v gozdovih pa lahko povzročijo, da bodo slovenski gozdovi kmalu vir emisij. Uredba LULUCF sicer dopušča, da države članice iz svojih obračunov za pogozdena zemljišča in gospodarjena gozdna zemljišča lahko izključijo emisije toplogrednih plinov, ki so posledica naravnih motenj in ki presegajo povprečne emisije zaradi naravnih motenj v obdobju 2001-2020. A če ta zemljišča izključijo za emisije, jih izključijo tudi za ponore. Do sedaj se Slovenija ni odločila za izključitev emisij, ki so posledica naravnih motenj.



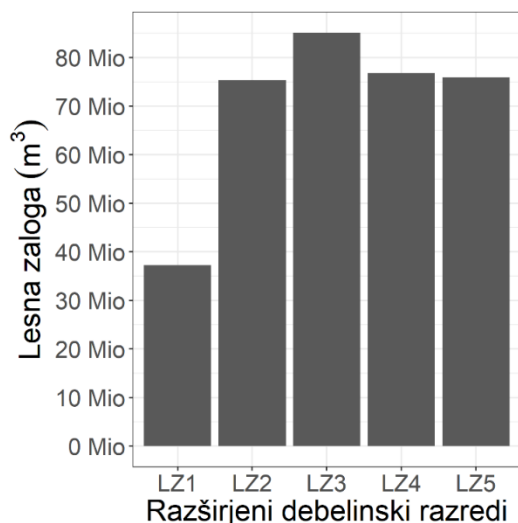
Slika 1: Povprečna letna temperatura zraka v Ljubljani od leta 1930–2017. Vir: Arhiv opazovani in merjeni meteorološki podatki po Sloveniji, Agencija Republike Slovenije za okolje.

Figure 1: Mean annual air temperature in Ljubljana in the period 1930–2017. Source: Archive of monitored and measured meteorological data in Slovenia, Slovenian Environment Agency.

Kompromis med vidiki trajnostnega gospodarjenja z gozdovi in obračunskimi pravili

Letos čaka Slovenijo težka naloga. Do konca leta mora Komisiji predložiti posodobljeno različico Nacionalnega načrta za obračunavanje na področju gozdarstva, ki bo upoštevala priporočila iz sinteznega poročila oz. tehnične ocene in bo v skladu z določili Uredbe LULUCF. Obenem mora sprejeti nove območne gozdnogospodarske načrte, ki bodo določali višino možnega poseka, skladno z načeli trajnostnega gospodarjenja z gozdovi. Uredba ne zahteva, da bi države članice omejevale posek v gozdovih in jim pravzaprav daje možnost začasnega povečanja intenzivnosti sečnje, ob pogoju, da je spoštovano pravilo o nepresežku emisij v sektorju LULUCF na ravni EU. Aktualni ponori v gospodarjenih gozdovih, ki bodo manjši od referenčne vrednosti, bodo obračunani kot emisije. Te emisije se lahko kompenzirajo do najvišjega zneska, ki je določen v Prilogi VII uredbe, če so izpolnjeni pogoji, navedeni v 13. členu. Slovenija lahko v obdobju 2021-2030 kompenzira največ 17.200 kt CO₂ ekv. To je povprečno 1.720 kt CO₂ ekv letno, ali če izrazimo v letnem poseku, približno 1.600.000 m³.

Dolgoročno povečevanje ponorov v gozdovih je strokovno težko zagovarjati. To pomeni, da bi moral biti posek vedno manjši od prirastka, kar lahko vodi v neuravnoteženo starostno strukturo gozdov. Debelinska (starostna) struktura slovenskih gozdov že danes ni optimalna (slika 2), lokalno pa so nekateri gozdovi precej zastarani, npr. na Krasu in Koroškem. Takšni gozdovi slabše priraščajo in so bolj dovzetni za naravne motnje. Zaradi staranja gozdov in večjih potreb po lesu za energetske namene je pričakovati, da bo ponor v gozdovih do leta 2050 upadel tudi v EU (EU Reference Scenario, 2016).



Slika 2: Debelinska struktura slovenskih gozdov po razširjenih debelinskih razredih. Vir: ZGS baza Gozdni fondi za leto 2016

Figure 2: Diameter structure of Slovenian forests by expanded DBH classes. Source: SFS database

Izzivi gozdarstva pri doseganju podnebnih ciljev

V prihodnjih desetletjih bi morali v Sloveniji povečati (dejanski) posek, da se zagotovi trajnostno gospodarjenje z gozdovi in uravnoteženo razmerje razvojnih faz. Predvsem je treba spodbuditi zasebne lastnike, da povečajo realizacijo možnega poseka in obnovijo gozdove v smislu končnih sečenj, kjer je to nujno potrebno. Že sedaj je treba pametno razmisliti o najprimernejših ukrepih v gozdovih za dolgoročno zmanjšanje emisij. Za Slovenijo je pomembno, da obstoječe in načrtovane ukrepe vključi v svojo strategijo za razvoj z nizkimi emisijami ogljika, sicer ne bo mogla aktivirati mehanizma kompenzacije. Ta bo ključna, če bo končna določitev referenčne vrednosti s strani Komisije za Slovenijo neugodna. V zadnjem času je vedno več govora o »podnebno prijaznem gozdarstvu« (Nabuurs in sod., 2017), ki vključuje zmanjšanje emisij toplogrednih plinov, prilagajanje in krepitev odpornosti gozdov na podnebne spremembe in trajnostno povečanje produktivnosti in donosov gozdov. Sliši se lepo, a o katerih konkretnih ukrepih je govora? To je npr. preprečevanje gozdnih požarov, omejitve krčenja gozdov, prilagajanje drevesne sestave, povečevanje stabilnosti gozdov, optimalno izkoriščanje produkcijske sposobnosti rastišč, spodbujanje rabe lesa, povečanje domače predelave okroglega lesa, optimalna izraba lesnih ostankov in odsluženega lesa itd. Za te ukrepe pa bodo v prihodnje potrebna večja vlaganja v gozdove, vključno z vlaganji v raziskave in razvoj.

VIRI

Bončina A. 2011. Večji možni posek, večji prihodek.

<https://www.delo.si/zgodbe/sobotnapriloga/vecji-mozni-posek-vecji-prihodek.html>

EU Reference Scenario. 2016. Energy, transport and GHG emissions, Trends to 2050.

<https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/energy-modelling/eu-reference-scenario-2016>

Grassi G, House J, Dentener F, Federici S, den Elzen M, Penman J. 2017. The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature Climate Change*, 7: 220-226.

- Impact Assessment. 2016. Impact Assessment, Accompanying the document Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry into the 2030 climate and energy framework and amending Regulation No 525/2013 of the European Parliament and the Council on a mechanism for monitoring and reporting greenhouse gas emissions and other information relevant to climate change. SWD(2016) 249 final.
- IPCC, 2016. Climate change 2013: The physical science basis. Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- Nabuurs G-J, Delacote P, Ellison D, Hanewinkel M, Hetemäki L, Lindner M. 2017. By 2050 the mitigation effects of EU forests could nearly double through climate smart forestry. *Forests*, 8: 1-14.
- NIR. 2019. Slovenia's National Inventory Report 2019. Ministry of the Environment and Spatial Planning, Slovenian Environment Agency, 386 str.
- Sklep LULUCF. Sklep 529/2013/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 21. maja 2013 o pravilih za obračunavanje emisij in odvzemov toplogrednih plinov, ki nastanejo pri dejavnostih v zvezi z rabo zemljišč, spremembo rabe zemljišč in gozdarstvom, ter informacijah o ukrepih v zvezi s temi dejavnostmi. Uradni list Evropske Unije, L 165/80.
- Tavčar J. 2005. Gozdnogospodarski vidiki izkoriščanja proizvodnih zmogljivosti zasebnih gozdov. Magistrsko delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 84 str.
- Uredba LULUCF. Uredba 2018/841 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 30. maja 2018 o vključitvi emisij toplogrednih plinov in odvzemov zaradi rabe zemljišč, spremembe rabe zemljišč in gozdarstva v okvir podnebne in energetske politike do leta 2030 ter spremembi Uredbe (EU) št. 525/2013 in Sklepa št. 529/2013/EU. Uradni list Evropske Unije, L 156/1.

ZAHVALA

Prispevek je bil financiran iz evropskega projekta LIFE ClimatePath2050 ter podprt s strani Raziskovalnega programa Gozdna biologija, ekologija in tehnologija (P4-0107), ki je financiran s strani ARRS.

Poznavanje genetike in biologije drevesnih vrst je pomembno za izvajanje obnove v gozdovih

Predstavitev projekta CRP V4-1616 Ocena sistema ohranjanja gozdnih genskih virov in stanja gozdnega semenarstva v povezavi z novimi sistemi vzgoje gozdnega drevja

Marjana WESTERGREN¹, Gregor BOŽIČ¹, Robert BRUS², Tine GREBENC, Kristjan JARNI², Peter ŽELEZNIK¹, Hojka KRAIGHER¹

¹ Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana; e-mail: marjana.westergren@gozdis.si; ² Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana

POUDARKI

- Izmed vrst, ki se najbolj pogosto uporabljajo pri obnovi gozdov, smo opredelili ključne, spremljevalne in manjšinske vrste.
- Genetska pestrost centralnih in perifernih populacij smreke, kakor tudi gospodarskih in naravnih sestojev bukve, je pokazala ustrezno genetsko pestrost, in razlike med populacijami iz Slovenije in iz osrednjega dela Balkana.
- Smernice za postopke v gozdnem semenarstvu in drevesničarstvu ter pregled zakonodaje s področja gozdnega reprodukcijskega materiala bodo dopolnile prenovljeno izdajo Seminarskega praktikuma.
- Primerjava kontejnerskih sadik in puljenk bukve in jelke je pokazala večjo pestrost simbiotov pri puljenkah, in večje preživetje in rast pri kontejnerskih sadikah.
- Sodelovali smo pri vzpostavitvi mednarodne baze podatkov o značilnostih provenienc izbranih drevesnih vrst.

HIGHLIGHTS

- Among species which are most frequently used in forest regeneration we have defined key, accompanying and minority tree species.
- Genetic diversity of central and peripheral populations of spruce, as well as managed and natural beech stands, have shown an adequate genetic diversity and differentiation among Slovenian and populations from the central Balkan regions.
- Directives for protocols in forest seeds and handling of seedlings, and an overview of the regulations concerning forest reproductive material, are being included into the renewed edition of the Seed husbandry practicum.
- Comparison of container seedlings and wildlings (seedlings pulled from natural regeneration and used for planting) has shown to a higher diversity of root symbionts in wildlings, and a better survival and growth in container seedlings.
- We have participated in establishment of an international database on characteristics of different provenances of selected forest tree species.

Ohranjanje proizvodnih, varovalnih ter drugih ekoloških in socialnih funkcij gozdov temelji na ohranjanju prilagodljivosti gozdnih ekosistemov in populacij gozdnega drevja na spreminjajoče se pogoje v okolju, slednje pa pogojuje aktivno ohranjanje genetske pestrosti gozdnega drevja, kajti ravno genetska pestrost je osnovni vir biotske raznovrstnosti. Ohranjanje genetske pestrosti ogrožajo posredni in neposredni vplivi človeka, od klimatskih sprememb, onesnaževanja, fragmentacije gozdnih ekosistemov in sprememb namembnosti zemljišč, do ukrepov nege in obnove gozdov, ter razpoložljivosti in kakovosti gozdnega reprodukcijskega materiala (GRM).

Temeljito poznavanje biologije (npr. ekoloških lastnosti, fiziologije, podatkov o cvetenju, oprahčevanju, obrodu ter količini, kakovosti in fiziologiji klitja semena) in genetskih lastnosti drevesnih vrst in njihovih provenienc je osnovnega pomena za vedenje o sposobnosti prilagajanja posameznih drevesnih vrst in provenienc kot tudi za uspešno načrtovanje in proizvodnjo zadostnih količin GRM ustrezne kakovosti. Spremembe v genetskem sistemu ter dinamiki populacij v času zaradi sprememb v okolju in gospodarjenja lahko spremljamo in kvantificiramo le z genetskim monitoringom. Genetski monitoring omogoča zgodnji vpogled v prihajajoče spremembe, kar neposredno podpira odločitve o gospodarjenju s temi populacijami ter izbiro potrebnih gozdnogojitvenih ukrepov za ohranjanje stabilnosti populacij in njihove genetske pestrosti, kot tudi nemoteno pridobivanje GRM.

CRP projekt »Ocena sistema ohranjanja gozdnih genskih virov in stanja gozdnega semenarstva v povezavi z novimi sistemi vzgoje gozdnega drevja« prispeva k ohranjanju prilagodljivosti gozdnih ekosistemov in populacij gozdnega drevja na spreminjajoče se pogoje v okolju preko:

1. Analize biologije vrst gozdnega drevja v povezavi z njihovim gojenjem
2. Analize genetske pestrost izbranih provenienc gozdnega drevja
3. Priprave protokolov za pridobivanje, dodelavo, shranjevanje, testiranje in uporabo GRM za izbrane vrste
4. Primerjave tehnik vzgoje, sadnje in manipulacije sadik gozdnega drevja
5. Priprave nabora ukrepov za prilagojeno nego in obnovo gozdov na izbranih rastiščih in za izbrane vrste na podlagi njihove genetske pestrosti in biologije
6. Razvoja sistemske podpore gozdnemu semenarstvu

1. Biologija in ekologija drevesnih vrst:

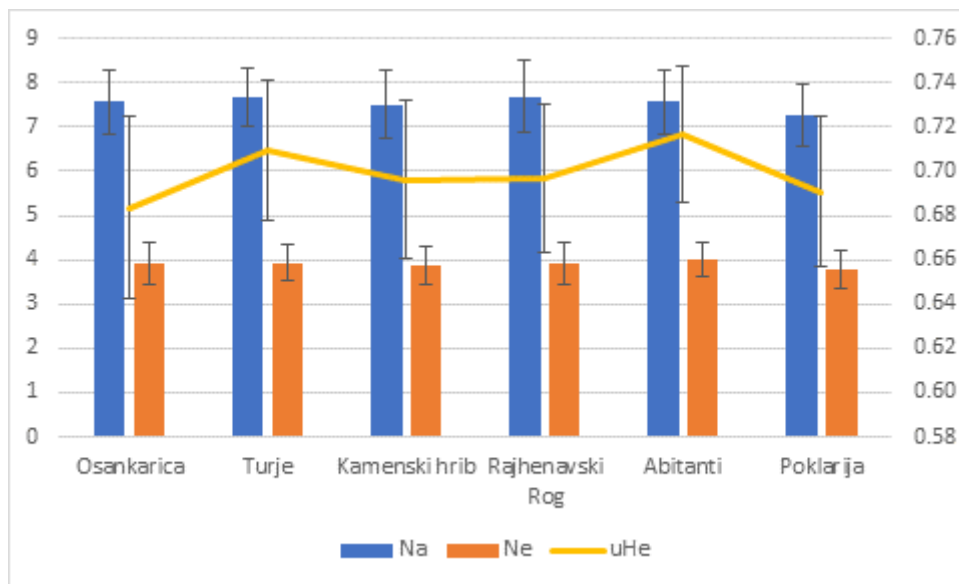
Na podlagi analize podatkov ZGS o poškodovanosti gozdov po žledu je bil izdelan seznam najbolj pogosto uporabljenih drevesnih vrst za obnovo. Za vsako vrsto je bila analizirana primernost uporabe, ki je temeljila na biologiji vrste, preteklih izkušnjah z gojenjem in napovedanimi prihodnjimi okoljskimi razmerami. Na osnovi modela naravne sestave in ekspertne presoje je bil pripravljen seznam potencialno primernih drevesnih vrst za različna rastišča v okviru treh kategorij (Brus in Kutnar 2017):

- 1) nosilne ali ključne drevesne vrste (njihov predviden delež v lesni zalogi je lahko do 100 %), npr. bukev, jelka, graden;
- 2) spremljevalne drevesne vrste (njihov predviden delež je do 30 %), npr. smreka, gorski javor;
- 3) manjšinske drevesne vrste (predviden delež do 10 %, brez izrazito pionirskih vrst, ki se z večjim deležem lahko pojavljajo predvsem v zgodnjih sukcesijskih fazah), npr. divja češnja, ostrolistni javor, veliki jesen, gorski brest in druge, tudi posamezne tujerodne vrste, npr. duglazija.

2. Genetska pestrost izbranih provenienc gozdnega drevja:

Analizo genetske pestrosti med geografsko perifernimi in centralnimi populacijami smreke je pokazala, da so si geografsko periferne populacije med seboj bolj različne kot tiste iz centralnih leg. Po drugi strani pa je povprečna genetska pestrost med perifernimi in centralnimi populacijami podobna, kar pomeni, da z vidika genetske pestrosti nabiranje semena v geografsko perifernih populacijah smreke enakovredno nabiranju semena v sestojih v centru smrekovega areala. Pri

bukvi pa se je pokazalo, da je bukev iz Slovenije genetsko bolj podobna bukvi iz držav severno od Slovenije kot pa bukvi iz držav južno od Slovenije, kar pomeni, da bi z uvozom gozdnega reprodukcijskega materiala iz BIH in Srbije vnesli v Slovenijo nove genetske linije. Primerjalna analiza genetske pestrosti odraslih dreves šestih provenienc bukve (Abitanti, Kamenski hrib, Osankarica, Poklarija, Rajhenavski Rog, Turje iz petih provenienčnih območij (pohorskega, predalpskega, preddinarskega, dinarskega in submediteranskega) ni odkrila značilnih razlik v genetski pestrosti izračunani na podlagi števila alelov ne heterozigotnosti. Genetska pestrost je v vseh populacijah visoka, relativno nizko povprečno število učinkovitih alelov v primerjavi z vsemi aleli pa nakazuje na dejstvo, da so v vseh populacijah prisotni redki aleli (Slika 1). Analiza kaže na dobro ohranjenost genetske pestrosti v sonaravno gospodarjenih sestojih v primerjavi s pragozdnim ostankom Rajhenavski Rog.



Slika 2.1: Genetska pestrost šestih provenienc bukve. Prikazane so povprečne vrednosti in standardne napake. Leva Y os: število alelov (Na) in število učinkovitih alelov (Ne), desna Y os: heterozigotnost (uHe).

3. Priprava smernic za pridobivanje, dodelavo in shranjevanje GRM ter za postopke kalitve

Aktivnost je razdeljena na dva dela:

- pripravo smernic za pridobivanje, dodelavo in shranjevanje semena, ter za postopke kalitve
- pripravo prenovljene izdaje Semenarskega praktikuma (Kraigher 2000) s praktičnimi napotki za pridobivanje in uporabo GRM v slovenskih gozdovih, ter predstavitev zakonodaje s tega področja.

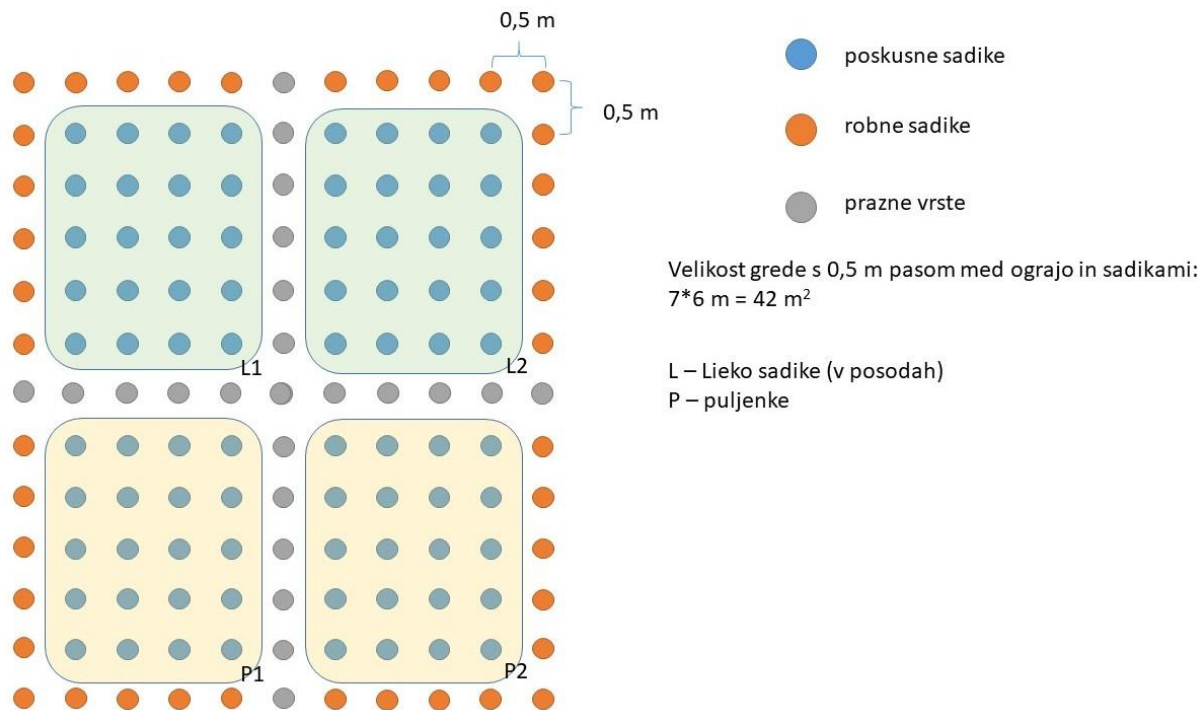
V okviru te aktivnosti poteka pregled literature in dobrih praks, tudi v okviru skupnih delavnic z gojitelji iz ZGS, semenarji in drevesničarji, ki so sovpadale z organizacijo delavnic v okviru projekta LIFE GENMON. Delavnica na temo gozdnega semenarstva je bila organizirana novembra 2018 v Poljčanah, na temo vzgoje sadik pa decembra v Matenji vasi.

Semenarski praktikum je razdeljen na splošni botanični del, na predstavitev posameznih vrst in postopkov pri pridobivanju, dodelavi in shranjevanju semena, ter postopkov kalitve in vzgoje sadik, ter na del o področni zakonodaji v RS.

4. Primerjava tehnik vzgoje, sadnje in manipulacije sadik gozdnega drevja

Sanacija velikih površin gozdov, poškodovanih v različnih ujmah, v pogojih slabih pogojev za naravno pomlajevanje zahteva sadnjo. V Sloveniji trenutno vzgajamo samo klasične sadike z golimi koreninami, kjer pa je problem dolgotrajnejša vzgoja (praviloma več kot 2 leti), kar omejuje zmožnost hitrega odziva drevesničarjev na močno povečano povpraševanje za sadnjo po ujmah. Situacija se rešuje z gozdnimi puljenkami, ki so pred sadnjo praviloma eno leto dovzgajane v drevesnicah. V zadnjem času se uvažajo tudi kontejnerske sadike, vzgojene iz slovenskega semena v avstrijskih drevesnicah.

Za namene preizkusa uspešnosti sadnje puljenk in kontejnerskih sadik sta bila v okviru projekta vzpostavljena dva sadilna poskusa: z jelko na Rdečem bregu (Pohorje) in z bukvijo pri Šentjerneju na Dolenjskem. Na obeh lokacijah smo sadike posadili v različno osvetljeni gredi (prisojna in osojna lega). Puljenke so bile nabrane v bližnjih sestojih, niso pa bile dovzgajane eno leto v drevesnici ampak posajene nekaj dni po nabiranju na lokacijo. Do sajenja so bile shranjene v hladilnici in zjutraj pred sadnjo namočene v blatni vodo.



Slika 6: Shema poskusne grede sadilnega pokusa z jelko in bukvijo v okviru CRP projekta

Sadilni poskus z jelko je bil osnovan na zemljišču lovske družine Podvelka, Rdeči breg na Pohorju. Navkljub skrbnemu sajenju in enakih razmerah, v katerih so rastle sadike, je bila v letu 2017 opazna razlika v preživetju puljenk in kontejnerskih sadik jelke. Preživetje puljenk je bilo okrog 60%, med tem ko so kontejnerske sadike preživele skoraj vse (na prisojni legi je bilo preživetje 95%). Na osojni ploskvi je konec leta 2018 (po drugem letu rasti v poskusu) preživel 85 % puljenk

in 95 % kontejnerskih sadik. Na prisojni legi je do konca leta 2018 preživel 95 % puljenk in vse kontejnerske sadike.

V sadilnem poskusu bukve po prvem letu v preživetju puljenk in kontejnerskih sadik bukve v letu 2017 na osojni legi ni bilo razlik. Preživele so vse sadike. Prisojno lego je poleti 2017 močno prizadela izredna suša, tako da so se vse sadike kljub zalivanju do srede poletja posušile. Spomladi 2018 smo zato gredo ponovno obnovili s puljenkami in kontejnerskimi sadikami bukve. V letu 2018/2019 preživetje ocenjujemo ob rednem vzorčenju sadik, ki je bilo zaradi razmer na terenu in zmožnostih shranjevanja sadik v prostorih Gozdarskega inštituta predstavljeno na konec zime 2019.

Delež nemikoriziranih korenin pri testnih osebkih pred samo sadnjo je bil pri kontejnerskih sadikah (< 5%), pri puljenkah jih nismo opazili.

Tabela 1: Seznam tipov ektomikorize na kontejnerskih sadikah in na puljenkah jelke ali bukve. Seznam vsebuje vse tipe ektomikorize, ki smo jih ločili na sadikah do konca prvega leta vzorčenja.

Sadike jelka	Puljenke jelka	Sadike bukev	Puljenke bukev
Amphinema byssoides	Amanita pantherina	Helvella crispa	Byssocorticium atrovirens
Amphinema sp.	Amphinema byssoides	Hymenoscyphus ericae	Cenococcum geophilum
Cenococcum geophilum	Amphinema sp.	Laccaria proxima	Cortinarius casimiri
JP2 (JP1-5/3); Russula sp.	Boletus pruinatus	Sphaerosporella brunnea	Cortinarius intempestivus
Laccaria sp. 1 (J-K-1-5/1)	Cenococcum geophilum	Tuber sp. 2	Helotiales sp. 1
Laccaria sp. 2 (J-K-1-14/1)	Helotiaceae sp. 1	Tuber sp. 3 (aurin734)	Helotiales sp. 2
Russula sp. J17	Helotiales sp. 1	Unknown BK7	Humaria hemisphaerica
Unknown J15 (Lactarius)	Inocybe petiginosa		Inocybe sp. 1
Unknown JK1 (J-K-O-1/1)	Laccaria laccata		Lactarius blennius
Unknown JK2 (J-K-O-2/2)	Laccaria sp. 1		Lactarius rubrocinctus
Unknown JK3 (J-K-O-5/1)	Pseudotomentella mucidala		Piloderma croceum
Unknown JK4 (J-K-O-7/1)	Pseudotomentella sp.		Russula acrifolia
Unknown JK5 (J-K-1-2/1)	Russula foetens		Russula olivacea
Unknown JK6 (Tomentella)	Russula ochroleuca cf.		Russula sp. cf. acrifolia
Unknown JK7	Russula sp. J17		Sebacina sp. 1
Unknown JK8	Russula sp. J18		Tomentella sp. 1
Unknown sp. J12 (J-O-10/3) Laccaria laccata	Sebacina sp. 2		Tomentella sp. 2
Unknown sp. J7 (J-O-5/4)	Tomentella sp. 3		Tomentella sp. 3 (B-O-8/6)
Unknown sp. J8 (J-O-6/5) Amanita pantherina	Tomentella sp. 4		Tricholoma sulphureum
Unknown sp. JP1 (?Laccaria)	Tomentella sp. 5		Tuber sp. 1 (GB-2)
Unknown sp. JP2 (Russula sp.)	Tomentella sp. 6		Unknown sp. 7 (B-O-9/3)
Unknown sp. JP3	Tomentella sublilacina		
Unknown sp. JP4 (Russula sp.)	Tylospora asterosperma		
Unknown sp. JP5	Unknown J14		
Unknown sp. JP6 (cf. J1 Inocybe)	Unknown J15 (Lactarius)		
Unknown sp. JP7	Unknown J16		
Unknown sp. JP8	Unknown J19		
Unknown sp. JP9 (Russula sp.)	Unknown J20		
Xerocomus sp. (?) (J-O-1/4) - Xerocomus pruinatus	Unknown J21 (Russula)		
	Unknown J22 (Russula)		
	Wilcoxina sp. 1		
	Xerocomus pruinatus		
	Xerocomus sp.		

Pestrost tipov ektomikorize je bila nekajkrat višja pri puljenkah bukve (2-7 tipov ektomikorize) in puljenkah jelke (3-9 tipov ektomikorize), kot pri kontejnerskih sadikah. Tako na bukvi, kot na jelki v lončkih smo našli 1-3 različne tipe ektomikorize. Delež vitalnih ektomikoriznih korenin se med vrstami in vzgojnimi metodami ni značilno razlikoval. V letu 2018 smo vzorčili (spomladi vzorčenje

po enem letu rasti na eksperimentalnih ploskvah) reprezentativno število sadik in analizirali mikorizo z uporabo istih metod, kot pri izhodiščnih sadikah. Pri analizi vitalnosti ektomikorize preliminarni rezultati (podrobna statistična analiza je v času poročanja še v teku) kažejo, da se pri sadikah bukve in jelke iz lončkov število opaženih tipov ektomikorize (vrstna pestrost) ni bistveno spremenilo, medtem ko je delež vitalne ektomikorize povečal. Pri puljenkah obeh vrst smo po enoletni izpostavljenosti na raziskovalnih ploskvah opazili predvsem zmanjšanja števila tipov ektomikorize.

Preliminarna analiza ostalih parametrov sadik je pokazala značilne razlike med puljenkami in kontejnerskimi sadikami. Pri tem je potrebno omeniti, da sta bili obe vrsti sadik velikosti, ki se običajno uporabljajo za sajenje.

Analiza starosti pri bukvi je pokazala homogenost, razen ene puljenke so bile vse sadike stare 1 leto. Med premeri koreninskega vratu razlik nismo odkrili. Kontejnerske sadike bukve so bile povprečno višje in težje od puljenk. Po ene letu rasti v sadilnem poskusu so kontejnerske sadike na osojni legi, izražale izredno veliko rast in razvoj nadzemnih in podzemnih delov, medtem ko je bila rast puljenk majhna oziroma minimalna.

Analiza starosti pri jelki je pokazala velike razlike, kontejnerske sadike so bile stare 5 let, med tem pa ko je bil razpon starosti puljenk med 4 in 21 let. Značilnih razlik med puljenkami in kontejnerskimi sadikami med premeri koreninskega vratu nismo odkrili. Kontejnerske sadike jelke so bile povprečno nižje in težje od puljenk. Razlika v starosti je verjetno glavni razlog za večje višine puljenk in težje koreninskih sistemov. Kontejnerske sadike jelke so v drugem letu dosegale velike prirastke, opazne na nadzemnih delih in koreninskem sistemu, medtem ko je bila rast pri puljenkah minimalna.

5. Razvoj prilagojenih ukrepov nege in naravne obnove za izbrane gozdne tipe in drevesne vrste

Analizirali smo učinke umetne obnove sestojev ogroženih evropsko pomembnih gozdnih habitatnih tipov s črnim topolom, belo vrbo, črno jelšo in hrastom dobom, ki so bili ob reki Muri osnovani jeseni 2015 in spomladi 2016. Meritve rasti in razvoja smo izvajali jeseni 2018 na vzorčnih ploskvah 20 m x 20 m. Prvi rezultati analiz nakazujejo na večjo stopinjo preživetja in hitrejšo rast črnega topola v primerjavi z belo vrbo na primarnih aluvialnih rastiščih, hkrati pa ob večji ranljivosti bele vrbe poudarjajo tudi njeno izrazito regeneracijsko sposobnost tudi ob močnih poškodbah po divjadi že v prvih letih rasti v nasadih. Umetna obnova sestojev s hrastom dobom lokalne provenience ustrezne genetske pestrosti je na rastišču, ki ga uvrščamo v gospodarski razred dobovja na območju s poznimi posebami zahtevna in vključuje tudi ukrepe za vzpostavitev normalne razrasti. Preživetje sadik doba vzgojne oblike (3+0) po prvem letu rasti v nasadu z gostoto 10.000 sadik / ha je 70 %, po treh letih pa 53 %. Zaradi pozne spomladanske pozebe v letu 2017 ima 93% mladih dreves doba poškodovano krošnjo. Na pozebo odpornejši osebki (18) so v dvoletnem ocenjevalnem obdobju (2017-2018) v povprečju prirastli 35 cm v višino in 0,7 cm v debelino.

Za razvoj prilagojenih ukrepov za obnovo gozdov so pomembne tudi javno dostopne baze podatkov in programska skripta za ovrednotenje. Na osnovi večletnih preučevanj variabilnosti fenotipskih znakov v mednarodnih poskusih z bukvijo v širšem območju njene naravne razširjenosti in Sloveniji smo sodelovali pri vzpostavitvi mednarodne znanstvene baze podatkov za trajnostno gospodarjenje z bukvijo v Evropi. Baza zajema večletne zaporedne meritve testnih dreves v genetskih poskusih, vključno s slovenskimi proveniencami, geografske koordinate matičnih sestojev, koordinate poskusnih objektov, metapodatke ter novo razvite kode oz. R-

skripte za analize (<https://doi.org/10.1038/sdata.2018.149>, doi: 10.1038/sdata.2018.149). Nadaljnje analize mednarodnih baz podatkov o rasti in razvoju provenienc gozdnih drevesnih vrst bodo omogočile širše razumevanje prilagoditvenih procesov za aklimatizacijo gozdov na podnebne spremembe okolja.

Na izbranih poskusnih objektih smo analizirali uspešnost umetne obnove s saditvijo različnih drevesnih vrst. Na poskusnem objektu pri Divači, na katerem je bilo leta 2012 v nasadih črnega bora (*Pinus nigra*), ki so v obnovi, na šestih raziskovalnih ploskvah posajenih šest različnih drevesnih vrst, smo preučevali preživetje, prirastek in kakovost sadik po šestih letih od osnovanja poskusa. Analiza je pokazala, da je bil ob upoštevanju rastiščnih razmer uspeh preživetja sadik presenetljivo visok, saj je skupno preživel kar 70 % posajenih sadik. Glede na vse merjene parametre se je do zdaj kot najuspešnejša pokazala divja češnja (*Prunus avium*), najmanj pa navadna bukev (*Fagus sylvatica*). Kakovost rastišča je najbolj vplivala na uspeh pri gorskem javorju (*Acer pseudoplatanus*), saj je imel največjo razliko v deležu preživetja med dobrim in slabšim rastiščem. Rezultati bodo uporabljeni za priporočila o nadaljnjih korakih pri premenah nasadov črnega bora na Krasu.

6. Razvoj sistemske podpore gozdnemu semenarstvu

Organizirali smo posvet Problemi sistemske obnove gozdov (novembra 2016), objavili prispevke v tematski številki Gozdarskega vestnika, se vključili v strokovne komisije ministrstva, v razpravo ob pripravi osnutka resolucije Naša hrana, naravni viri in podeželje, in problematiko gozdnega semenarstva in drevesničarstva predstavljali na posvetovanjih in v različnih medijih (npr. EKO DEŽELA, v reviji GOZD IN LES). Nadejamo se tudi aktivne vključitve v pripravo strokovnih osnov za morebitne spremembe področne zakonodaje.

Literatura:

BRUS, Robert, KUTNAR, Lado. 2017. Drevesne vrste za obnovo gozdov po naravnih motnjah v Sloveniji = Tree species for forest regeneration following natural disturbances in Slovenia. *Gozdarski vestnik* 75 (4): 204-212.

KRAIGHER, Hojka, KRANJC, Andrej, TORELLI, Niko, ZUPANČIČ, Mitja. 2017. Povzetek in zaključki znanstvenega srečanja Gozd in les : sistemski problemi obnove gozdov. *Gozdarski vestnik* 75 (4): 224-225.

ROBSON, T. Matthew, BENITO GARZÓN, Marta, BOŽIČ, Gregor, KRAIGHER, Hojka, et al. 2018. Phenotypic trait variation measured on European genetic trials of *Fagus sylvatica* L. *Scientific data* 5: 1-7

WESTERGREN, Marjana, BOŽIČ, Gregor, KRAIGHER, Hojka. 2017. Trendi v gozdnem semenarstvu in drevesničarstvu v Sloveniji = Trends in forest seed and seedling production in Slovenia. *Gozdarski vestnik* 75 (4): 184-191.

WESTERGREN, Marjana, BOŽIČ, Gregor, KRAIGHER, Hojka. 2018. Genetic diversity of core vs. peripheral Norway spruce native populations at a local scale in Slovenia. *IForest* 11: 104-110.

Zahvala

Raziskava poteka v okviru CRP projekta V4-1616, ki ga financirata Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije ter Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

Predstavitev projekta CRP V4-1819 Presoja uspešnosti obnove gozdov s sadnjo in setvijo v Sloveniji

Gregor BOŽIČ¹, Nikica OGRIS², Peter ŽELEZNIK¹, Andreja KAVČIČ², Barbara PIŠKUR²,
Marjana WESTERGREN¹, Maarten de GROOT², Hojka KRAIGHER¹

¹ Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno fiziologijo in genetiko, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

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

E-naslov: gregor.bozic@gozdis.si

POUDARKI

- Obnova gozdov s sadnjo in setvijo je pomemben gozdno gojitveni ukrep.
- Izbira reprezentativnih objektov s specifično problematiko.
- Rezultati analiz in kritična presoja vseh faz obnove gozdov s sadnjo in setvijo v večletnem obdobju prispeva k pripravi sistemskih rešitev za povečanje uspešnosti in usmerjanje redne in velikopovršinske obnove gozdov v spreminjajočih se razmerah okolja.
- Določitev in prepoznavanje najpomembnejših škodljivih organizmov, ki v drevesnicah in gozdovih povzročajo poškodbe sadik in sejank in ukrepi za preprečevanje oz. zmanjšanje škode na rastlinah.
- Priprava strokovnih osnov za potencialne predloge sprememb in dopolnitev priročnikov za gozdnogospodarsko načrtovanje (GGN), v delu, ki se nanaša na oceno kakovosti mladja in obnovo gozdov.

HIGHLIGHTS

- Forest regeneration with planting and sowing is an important silvicultural practice.
- Selection of sites with specific problems as study areas.
- Analyses and critical assessment of all phases of forest establishment with planting and sowing will contribute to preparation of system solutions for increasing efficiency of such regeneration and provide guidance.
- Identification of the most important harmful organisms causing injury to seeds and seedlings in nurseries and forests as well as preventive measures.
- Preparation of background professional documents for potential amendments of forest management planning manuals, in parts related to the assessment of the quality of forest regeneration.

Obnova gozda s sadnjo ali setvijo je v kratkoročni perspektivi med vsemi gozdnogojitvenimi ukrepi daleč najdražji ukrep, kar omejuje njeno izvajanje, odločitve o taki obnovi gozda pa morajo biti temeljito premišljene. Zaradi dolge življenjske dobe in reproduktivne biologije gozdnega drevja lahko odločitve v času obnove gozdov, ki jih sprejmemo danes, kasneje »popravimo« le ob znatnih finančnih in delovnih vložkih. Neuspešna ali neprimerna obnova, npr. obnova z vrstno ali provenienčno rastišču neustreznim gozdnim reprodukcijskim materialom (GRM), lahko privede

tudi do porušitve gozdnih sestojev in sprememb v njihovi dolgoročni stabilnosti in rasti. V tej perspektivi obnova gozda ni več najdražji ukrep!

Razvoj željenih lastnosti dreves je odvisen od provenience, rastišča in gozdnogojitvenih ukrepanj v razvoju sestoja. Za doseganje vzdržnosti in stabilnosti gozdov stremimo k naravni in kombinirani obnovi. Umetna obnova s sadnjo in setvijo se kot gojitveni ukrep izvaja predvsem na površinah, kjer ni semenskih dreves, kjer je bila po sečnji naravna obnova neuspešna, zlasti pa pri velikopovršinskih sanacijah gozdov, poškodovanih v naravnih ujmah, premenah spremenjenih gozdov za izboljšanje habitatnega stanja gozdov z vnosom avtohtonih drevesnih vrst, pri obnovi nižinskih gozdov z listavci, kakor tudi pri osnovanju varovalnih gozdov.

Za umetno obnovo gozdov so potrebna večja začetna vlaganja (nabava sadik ustreznih provenienc, priprava tal, sadnja, označitev, zaščita pred divjadjo, kot npr. premazi, ograde, tulci, spolnitvena sadnja pri večjem izpadu posajenih sadik zaradi presaditvenega šoka, heterogenosti rastišč, pozeb, poškodb, suše, bolezni in škodljivcev) z večjimi stroški obnove in nege v primerjavi z naravno obnovo sestojev.

Gozdove v Sloveniji so od leta 1995 prizadeli trije žledolomi, trije požari, trije vetrolomi in en snegolom večjih razsežnosti. Ujmam in vročini so se po letih 2003 in 2014 pridružile še večletne namnožitve podlubnikov (Predlog Strategije obnove gozdov 2016). Poškodovanih je bilo 2/3 gozdov. V takih razmerah naravna obnova degradiranih površin ne zadostuje, da bi v željenem časovnem okviru zagotovili funkcije, ki naj bi jih določen gozd opravljal. Temeljni problem nastane, kadar so vloženi stroški precej večji od učinka oz. ko sestoj, obnovljen z umetno obnovo v proizvodnem gozdu, ne dosega željenih gozdnogospodarskih lastnosti in / ali ne zagotavlja ustreznega števila in prostorske razporeditve potencialnih nosilcev sestojev za zagotavljanje stabilnosti gozda.

CRP projekt »Presoja uspešnosti obnove gozdov s sadnjo in setvijo v Sloveniji« pomembno prispeva k presoji učinkov dosedanje umetne obnove gozdov v Sloveniji. Namen projekta je priprava smernic za sistemske rešitve na področju načrtovanja obnove gozdov s sadnjo in setvijo s prilagoditvami za zagotavljanje sonaravnosti in dinamičnega ohranjanja prilagoditvene sposobnosti gozdov v novih, spreminjajočih se razmerah njihovega življenjskega okolja. To pomeni v času, ko se razmere za uspešno obnovo gozdov še dodatno zaostrejejo.

Cilji projekta so:

- oceniti uspešnost obnove gozdov s sadnjo in setvijo pri razvoju slovenskih gozdov v zadnjih 25 letih (delež v celotni obnovi, uspeh obnove glede na vložena sredstva in materiale, vpliv na doseganje gozdnogojitvenih ciljev),
- pripraviti metodologijo odločanja o obsegu obnove s sadnjo in setvijo v prihodnosti na ravni gozdnogospodarskih načrtov, ločeno na t. i. redno obnovo in obnovo gozdov po velikopovršinskih ujmah glede na ustreznost drevesnih vrst in vzgojno obliko sadik,
 - izdelati podrobne kriterije in postopke ocenjevanja kakovosti sadik,
 - primerjati fiziološko stanje sadik in sejank z osebki naravne obnove v gošči oziroma mladju na primerljivih rastiščih,
 - določiti najpomembnejše škodljive organizme, ki v gozdovih povzročajo poškodbe sadik in sejank ter pripraviti navodila za njihovo prepoznavanje,

- pripraviti katalog ukrepov za preprečevanje oz. zmanjšanje škod na sadikah zaradi škodljivih organizmov, presoditi o ustreznosti obstoječih ukrepov za zaščito sadik,
- pripraviti podrobna navodila ravnanja s sadikami v različnih fazah od drevesnice do sadnje, ter
- vzpostaviti sodelovanja med raziskovalci in laboratoriji za določitev nekaterih škodljivih organizmov sadik in sejank drevja (sodelujoče organizacije, predvsem NIB in KIS, bodo vključene s konzultacijami ali kot podizvajalci).

V okviru projekta bomo analizirali in kritično ovrednotili faze dosedanje obnove gozdov s sadnjo in setvijo na izbranih lokacijah v Sloveniji v zadnjih 25 letih. V pregled umetne obnove v površinskem in finančnem smislu bomo zajeli pripravo tal, uporabljen sadilni material ter njegov izvor (provenienca in dobavitelj GRM oz. drevesnica), vzgojno obliko, gostoto saditve (podatki ZGS). Podali bomo oceno preživetja sadik po posameznih reprezentativnih skupinah gozdnih rastišč v izbranih OE ZGS, ločeno za redno obnovo s sadnjo na površinah z velikostjo več kot 0,5 ha v zadnjih 10 letih, in sadnjo na območjih večjih naravnih ujm v zadnjih 25 letih. Pridobljeni rezultati raziskav bodo vključeni v pripravo smernic za načrtovanje umetne in kombinirane obnove gozdov s potrebnimi prilagoditvami v GGN.

V praksi je neuspeh sadnje pogosto definiran s slabšo kakovostjo sadik, zato projekt zajema tudi presojo dosedanjih uveljavljenih praks pri posameznih fazah priprave sadik v drevesnicah, pri transportu in sadnji. V projektu bomo določili tudi kriterije za ugotavljanje oziroma preverjanje kakovosti sadik po prevzemu iz drevesnic. Kriteriji in postopki ocenjevanja kakovosti sadik bodo oblikovani na način, da se jih bo lahko uporabljalo neposredno v gozdu, tik pred izvedbo same sadnje, kakor tudi pri kontroli fiziološke kakovosti sadik v laboratoriju. Primerjavo novih in standardnih metod ugotavljanja kakovosti in fiziološkega stanja sadik in mladja bomo izvajali v sadilnem poskusu, ki ga bomo osnovali s smreko in s hrastom. V ocene bomo zajeli analize koreninskih sistemov in mikoriziranosti testnih sadik, tršatost sadik, vodni potencial in rast sadik. Za strokovno javnost bomo izvedli demonstracijske prikaze določanja kakovosti sadik na terenu in v laboratoriju.

Med cilji projekta je tudi določiti najpomembnejše škodljive organizme, ki v gozdovih povzročajo poškodbe sadik in sejank, pripraviti navodila za prepoznavanje znakov in simptomov, ki omogočajo njihovo nedvoumno določitev na terenu in postopke določanja v Laboratoriju za varstvo gozdov na Gozdarskem inštitutu Slovenije (v nadaljevanju GIS) in laboratorijih na Kmetijskem inštitutu Slovenije (v nadaljevanju KIS) ter Nacionalnem inštitutu za biologijo (v nadaljevanju NIB). Vsi so s strani Uprave RS za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin (UVHVVR) pooblaščen za izvajanje nalog zdravstvenega varstva rastlin.

Sodelovanje med pooblaščenimi laboratoriji bo omogočilo redno sprejem vzorcev za določitev in redno testiranje prisotnosti nevarnih škodljivih organizmov v zemlji (nematode in fitoftore) in na sadikah gozdnega drevja (glive, bakterije, virusi, fitoplazme), ki jih vzgajajo v gozdnih drevesnicah. Narejen bo katalog ukrepov za preprečevanje oz. zmanjšanje škod na sadikah zaradi škodljivih organizmov, vključno z opisi in s slikovnim gradivom, podana bo tudi ocena o primernosti obstoječih ukrepov za zaščito sadik v gozdnih drevesnicah in gozdu v zvezi z novo zakonodajo s področja zdravstvenega varstva rastlin.

Pridobljena znanja in ukrepi za zmanjšanje poškodb sadik in sejank bodo vključeni v navodila in priporočila za lastnike gozdov, gozdne drevesnice in operativne delavce Javne gozdarske službe,

ki v gozdu skrbijo za sadnjo in izvajanje nege po sadnji. Poseben poudarek bo na organizaciji širše diskusije o morebitnih predlogih sprememb za gozdnogospodarsko načrtovanje in obnovo gozdov pomembnih pravilnikov in navodil za njihovo izdelavo, torej Pravilnika o gozdnogospodarskem načrtovanju, Pravilnika o varstvu gozdov in internega Priročnika za izdelavo GGN GGE ZGS, predvsem v delu, ki se nanaša na oceno kakovosti mladja in obnovo gozdov.

V CRP projektu »Presoja uspešnosti obnove gozdov s sadnjo in setvijo v Sloveniji« sodelujejo sodelavci Oddelka za gozdno fiziologijo in genetiko in Oddelka za varstvo gozdov GIS ter zunanji sodelavci: Zavod za gozdove Slovenije, semenarji, drevesničarji in raziskovalci KIS in NIB. Skupna vrednost projekta je 125.000 EUR. Laboratorijsko delo, ki vključuje visoke stroške potrošnega materiala, bomo izvajali v okviru komplementarnih raziskav, predvsem raziskovalnega programa P4-0107.

VIRI

- Predlog strategije obnove gozdov v Sloveniji. 2016. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije: 9 str. (neobjavljen predlog)

ZAHVALA

Raziskava poteka v okviru CRP projekta V4-1819, ki ga financira Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije, Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in dopolnjuje raziskovalni program P4-0107.

Vpliv klimatskih sprememb na nastajanje in zgradbo lesa bukve (*Fagus sylvatica* L.)

Peter PRISLAN¹, Jožica GRIČAR¹, Katarina ČUFAR², Martin DE LUIS³, Maks MERELA², Sergio ROSSI⁴

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

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

³ Department of Geography and Regional Planning, University of Zaragoza, 101, C/Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, Spain

⁴ Département des Sciences Fondamentales, Université du Québec à Chicoutimi, 555, boulevard de l'Université, Chicoutimi, QC G7H2B1, Canada

E-naslov: peter.prislan@gozdis.si

POUDARKI (HIGHLIGHTS)

- Kar 9 let (2008–2016) smo spremljali sezonsko nastajanje lesa pri bukvi na Panški reki in Menini planini.
- Raziskali smo vpliv lokalnih vremenskih razmer na zvezo med fenologijo nastajanja lesa in anatomijo lesa.
- S pomočjo PLS regresije smo raziskali razmerja med debelinsko rastjo in vremenom. Izdelan model smo uporabili za napovedovanje fenologije nastajanja lesa in letnih lesnih prirastkov.
- Zabeležili smo statistično značilne zveze med gostoto trahej in nekaterimi fenološkimi fazami nastajanja lesa. Značilne zveze med vremenskimi razmerami in značilnostmi trahej nismo potrdili.
- Rezultati raziskav napovedujejo, da se bo v naslednjih šestih desetletjih rastna sezona podaljšala za 20 dni.
- Na višje ležečem rastišču Menina planina bodo spremembe bolj izrazite; širina lesne branike naj bi se povečala za 83%, na Panški reki pa za 38%.
- Unique 9-year monitoring of xylem formation was performed for European beech from 2008 to 2016 in Slovenia. A database was established containing information on xylem formation phenology and xylem increments.
- We explored the influence of local weather conditions on relationships between wood formation patterns and vessel features.
- Climate-growth relationships by means of partial least squares regression were evaluated to predict xylem formation phenology and annual xylem increments
- Statistically significant correlations were found between vessel density and some xylem formation milestones. However, no significant linkage between weather conditions and conduit characteristics were observed.
- In the next six decades, growing season duration may increase by 20 days.
- On high and low elevation sites, xylem increments could increase by 83 % and 38 %, respectively.

UVOD

Scenarij klimatskih sprememb za Slovenijo napoveduje dvig povprečnih letnih temperatur za 2°C v naslednjih šest desetletjih ter spremembo sezonske porazdelitve padavin (Jacob in sod. 2014). Bukev (*Fagus sylvatica* L.) je v Sloveniji in Evropi razširjena drevesna vrsta, ki uspeva na rastiščih

z različnimi podnebnimi razmerami (Martinez del Castillo in sod. 2016). Zaradi razširjenosti, ugodnega vpliva na okolje in vsestranske uporabnosti lesa je bukev ekološko in ekonomsko pomembna evropska drevesna vrsta (Geßler in sod. 2007). Zaradi pogostejših ekstremnih vremenskih dogodkov, kot npr. vročih in suhih poletij (npr. Zimmermann in sod. 2015) in poznih pozeb v spomladanskem času (Menzel in sod. 2015), bi se navkljub ekološki toleranci lahko konkurenčna zmogljivost bukve v prihodnje spremenila, ne le na robu areala bukve ampak tudi na optimalnih rastiščih (Hacket-Pain in sod. 2016). Študije o vplivu spreminjajočih se podnebnih razmer na rast dreves so torej pomembne za: (I) razumevanje sprememb v sezonski dinamiki nastajanja lesa in posledično njegovi strukturi (kakovosti), (II) ovrednotenje sprememb porazdelitve drevesnih vrst (npr. ravnovesja med vrstami) (Vitasse in sod. 2011), (III) napovedovanje ekoloških in ekonomskih posledic teh sprememb v prihodnjih letih (Rossi in sod. 2014) in (IV) ustrezne prilagoditve strategij gospodarjenja z gozdovi na te spremembe (Vilà-Cabrera in sod. 2018). Namen pričujočega prispevka je predstaviti raziskave vpliva vremenskih razmer na sezonsko rast bukve v Sloveniji (Prislan in sod. 2013, 2018), na podlagi katerih smo izdelali model za napovedovanje fenologije nastajanja lesa in širine lesnih prirastkov glede na pričakovane scenarije klimatskih sprememb (Prislan in sod. 2019).

Za boljše razumevanje vpliva vremenskih razmer na nastajanje in zgradbo lesa smo raziskali dinamiko posameznih faz diferenciacije lesa in lastnosti trahej pri bukvi. Proučili smo razlike med osnovnimi značilnostmi trahej (tj. gostoto trahej, VD; povprečni premer trahej, MVD; povprečno površino trahej, MVA; in teoretično prevodno površino, TCA) v prvi in zadnji četrtini lesnih prirastkov. Na podlagi pridobljenih podatkov smo ovrednotili vpliv lokalnih vremenskih razmer (temperature in padavin) na razmerje med fenologijo nastajanja lesa in lastnostmi trahej. Postavili smo hipotezo, da razlike v vremenskih razmerah med rastišči vplivajo na sezonsko dinamiko nastajanja lesne branike, kar posledično vpliva na anatomsko zgradbo lesa (tj. lastnosti trahej).

V preteklih letih (med 2008 in 2016) smo vzpostavili edinstveno podatkovno bazo, ki zajema podatke o sezonskem nastajanju lesa pri bukvi z dveh rastišč v Sloveniji. Bazo smo uporabili za (I) identifikacijo okoljskih dejavnikov, ki vplivajo na debelinsko rast bukve ter (II) izdelavo statističnega modela, ki omogoča napovedovanje fenologije nastajanja lesa in širine lesnih prirastkov na podlagi scenarijev klimatskih sprememb za Slovenijo. Postavili smo hipotezo, da bodo zaradi globalnega segrevanja fenološke faze nastajanja lesa v spomladanskem času nastopile prej in se v jesenskem obdobju zaključile kasneje, zaradi česar bo rastna sezona daljša in posledično prirastki večji.

MATERIALI IN METODE

Raziskave smo opravili na dveh rastiščih v Sloveniji, ki se razlikujeta v nadmorski višini; na Panški reki (PAN, 400 m n.v.) in Menini planini (MEN, 1200 m n.v.). Podroben opis rastišč podajamo v prispevkih Prislan in sod. (2013 in 2019). Vremenske podatke za rastišče PAN smo pridobili z bližnje meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad, Agencije Republike Slovenije za okolje. Na rastišču MEN smo v letu 2008 namestili vremensko postajo, ki je v urnih intervalih beležila temperaturo zraka in padavine. Med leti 2008 in 2016 je povprečna temperatura na rastišču MEN znašala 7,2 °C, na PAN pa 11,8 °C. Povprečna letna količina padavin je okoli 20 % višja na rastišču MEN (1794 mm) kot na PAN (1425 mm).

Na vsakem rastišču smo izbrali po šest dominantnih, zdravih dreves bukve, s premerom na prsni višini okoli 50 cm in višino okoli 25 m (na PAN) in 20 m (na MEN). Ocenjena starost dreves na PAN in MEN je znašala 100 oz. 130 let. V devetih zaporednih rastnih sezonah (2008–2016) smo v tedenskih intervalih v prsni višini dreves odvzemali mikro-izvrtke s pomočjo orodja Trepkor. Vsako tretje letno smo na rastiščih izbrali nova drevesa, s čimer smo se izognili vplivu

prekomernih poškodb na deblu na časovno dinamiko debelinske rasti. Vsak izvrtek je vseboval floemsko tkivo, vaskularni kambij in vsaj dve najmlajši lesni braniki. Zbrane vzorce smo vklopili v parafin in jih s pomočjo rotacijskega mikrotoma narezali na 8-12 um debele razine ter jih obarvali z barviloma safranin in astra modro. Pripravljene histološke preparate smo analizirali s svetlobnim mikroskopom ter sistemom za analizo slike. Na odvzetih vzorcih smo izmerili širino lesnih prirastkov v vsaj treh radialnih nizih. Spremljali smo fenologijo nastajanja lesa in beležili dan v letu, ko smo opazili (i) začetek post-kambialne rasti (BE), (ii) začetek odlaganja celične stene (BW), (iii) prve zrele celice (BM), (iv) konec kambijeve produkcije (CE) in (v) konec odlaganja celične stene ter lignifikacije (CW). Omenjene fenološke faze smo določili po kriterijih opredeljenih v Prislán in sod. (2013). Dinamiko nastajanja lesa za vsako drevo smo analizirali s pomočjo Gompertzove funkcije (Rossi in sod. 2003). Za statistične analize smo uporabili paket CAVIAR (Rathgeber in sod. 2011) v programu R. Na podlagi Gompertzove funkcije smo izračunali stopnjo priraščanja ksilemske branike med rastro sezono ter dan v katerem je stopnja rasti maksimalna (TIP).

Za vrednotenje zveze med fenologijo nastajanja lesa, anatomsko strukturo (tj. lastnostmi trahej) in vremenskimi razmerami smo uporabili podatke pridobljene med leti 2008 in 2010. Poleg zgoraj omenjenih fenoloških podatkov nastajanja lesa smo popolnoma izoblikovanih branikah (v prvi in zadnji četrtini prirastkov) izmerili lastnosti trahej; povprečni premer trahej (MVD, μm), povprečno površino trahej (MVA, μm^2), teoretično prevodno površino (TCA) ter gostoto trahej v lesnem prirastku (VD, št. trahej / mm^2).

Celoto podatkovno bazo, ki je zajemala fenološke podatke ter širino lesnih prirastkov za obdobje med leti 2008 in 2016, smo uporabili za vrednotenje zvez med rastro in vremenskimi dejavniki s pomočjo PLS (Partial Least Squares) regresije (Prislán in sod. 2019). Izdelan model smo uporabili za napovedovanje fenologije nastajanja lesa in širine letnih prirastkov v prihodnje z ozirom na scenarije podnebnih sprememb. Napovedi temeljijo na zmerno konservativnem scenariju (RCP 4.5), ki predvideva znatno zmanjšanje emisij toplogrednih plinov v naslednjih šestih desetletjih (Jacob in sod. 2014).

REZULTATI IN RAZPRAVA

Zveza med fenologijo nastajanja lesa, anatomsko strukturo in vremenskimi razmerami

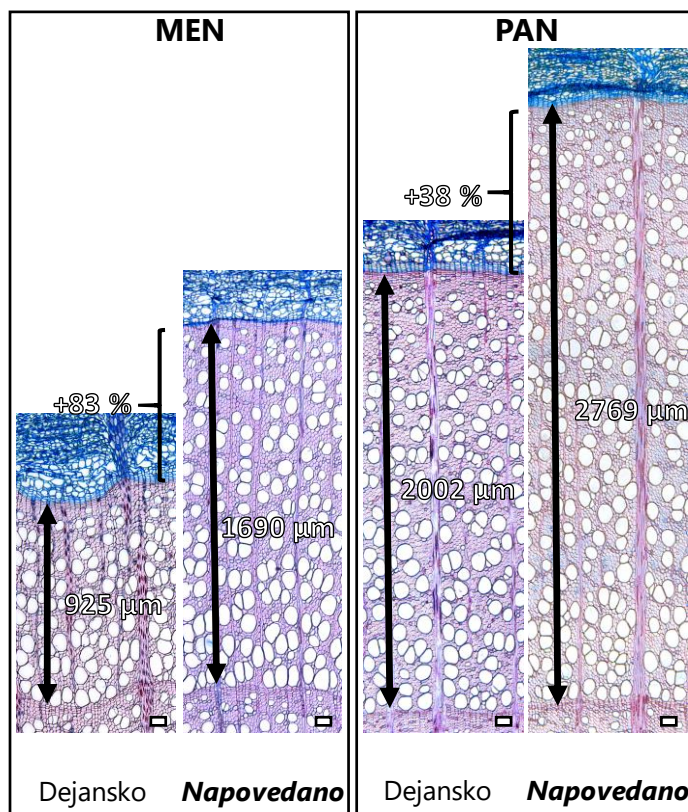
Čeprav so se začetek, trajanje in konec faz nastajanja lesa razlikovali med rastiščema, so bili časovni intervali med zaporednimi fazami ksilemske diferenciacije podobni. Opazili smo značilne razlike v vrednostih MVD, MVA in TCA med prvo in zadnjo četrtino lesnih prirastkov, ne glede na leto in rastišče. VD pa je bila odvisna predvsem od širine branik in se je značilno razlikovala med rastiščema; bila je približno 30% višja na MEN pri bukvah s 54% ožjo braniko kot na PAN. Ugotovili smo pozitivno korelacijo med začetkom post-kambialne rasti in VD v prvi četrtini lesnega prirastka, medtem ko je bila korelacija med zaključkom celične produkcije in VD v zadnji četrtini lesnih prirastkov negativna. To bi lahko pojasnili z razlikami v začetku kambijeve celične produkcije in razvojem listov med leti, kar vpliva na hormonsko regulacijo debelinske rasti dreves. Nismo opazili značilne povezave med variabilnostjo vremenskih razmer med leti in lastnostmi trahej. Tako lahko sklepamo, da padavine ne omejujejo debelinske rasti in celične diferenciacije pri bukvi na proučevanih rastiščih oz. na primerljivih rastiščih po Evropi.

Vpliv klimatskih sprememb na dolžino rastne sezone ter debelinski prirastek pri bukvi

Podatki časovne dinamike nastajanja lesa pri bukvi v obdobju 2008–2016 kažejo značilne razlike v fenologiji nastajanja lesa med rastišči in leti. Celična produkcija v kambiju se je na PAN v povprečju pričela sredi aprila in približno mesec kasneje na MEN. Konec rastne sezone je nastopil na začetku septembra na obeh rastiščih. Rastna sezona je na PAN trajala v povprečju 139 dni na

MEN pa 110 dni. Prirastki so bili zato na PAN ($1975 \pm 815 \mu\text{m}$) dvakrat večji kot na MEN ($958 \pm 412 \mu\text{m}$). PLS model je pokazal pozitivno korelacijo pomladanskih fenoloških faz s temperaturami v marcu, aprilu in maju. Jesenske fenološke faze so pokazale negativno korelacijo z avgustovskimi in septembrskimi temperaturami, medtem ko so visoke temperature na začetku koledarskega leta povzročile kasnejši zaključek rasti. Glede na upoštevan scenarij klimatskih sprememb pa naj bi spomladanske fenološke faze nastajanja lesa nastopile 2 dneva na desetletje prej, medtem ko naj bi jesenske fenološke faze nastopile 1,5 dneva na desetletje kasneje. V naslednjih šestih desetletjih naj bi se zato dolžina rastne sezone podaljšala za 20 dni, kar bi vodilo v 83% večje prirastke na MEN in 38% na PAN (Slika 1).

Model je tako predvidel daljšo rastno sezono in večje prirastke zaradi večjih temperatur, s čemer smo potrdili drugo hipotezo. Poleg tega rezultati kažejo, da bo imelo višanje minimalnih temperatur večji vpliv na fenologijo nastajanja lesa in debelinsko rast kot višanje maksimalnih temperatur. Predvidevamo lahko, da se bo se produkcija lesa bukve s segrevanjem ozračja v naslednjih šestih desetletjih povečala na rastiščih z obilo padavinami. Statistična evaluacija modela je pokazala visoko sposobnost za napovedovanje, kljub temu pa je potrebno upoštevati da zaradi klimatskih sprememb naraščata tudi pogostost in intenziteta ekstremnih vremenskih dogodkov (npr. pozne pozebe, vročinski valovi in dolgotrajnejše suše), kar bi lahko vplivalo na konkurenco med vrstami. Takšni dogodki pa bi povsem spremenili trenutno predvidene pozitivne trende pri bukvi.



Slika 1 Dejanska in napovedna povprečna širina branike pri bukvi na rastiščih PAN in MEN. V naslednjih šestih desetletjih naj bi se rastna sezona podaljšala za 20 dni, zaradi česar se bo širina branike na PAN povečala za 38% na MEN pa za 83%.

VIRI

- Geßler A, Keitel C, Kreuzwieser J, Matyssek R, Seiler W, Rennenberg H 2007. Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees Struct Funct* 21:1-11.
- Hacket-Pain AJ, Cavin L, Friend AD, Jump AS 2016. Consistent limitation of growth by high temperature and low precipitation from range core to southern edge of European beech indicates widespread vulnerability to changing climate. *Eur J For Res* 135:897-909.
- Jacob D, in sod. 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Change* 14:563-578.
- Martinez del Castillo E, Longares LA, Gričar J, Prislan P, Gil Pelegrín E, Čufar K, De Luis M 2016. Living on the edge: contrasted wood-formation dynamics in *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* under Mediterranean conditions. *Front Plant Sci* 7:370.
- Menzel A, Helm R, Zang C 2015. Patterns of late spring frost leaf damage and recovery in a European beech (*Fagus sylvatica* L.) stand in south-eastern Germany based on repeated digital photographs. *Front Plant Sci* 6.
- Prislan P, Čufar K, De Luis M, Gričar J 2018. Precipitation is not limiting for xylem formation dynamics and vessel development in European beech from two temperate forest sites. *Tree Physiol* 38:186–197.
- Prislan P, Gričar J, Čufar K, de Luis M, Merela M, Rossi S 2019. Growing season and radial growth predicted for *Fagus sylvatica* under climate change. *Climatic Change*.
- Prislan P, Gričar J, de Luis M, Smith KT, Čufar K 2013. Phenological variation in xylem and phloem formation in *Fagus sylvatica* from two contrasting sites. *Agr Forest Meteorol* 180:142-151.
- Rossi S, Girard M-J, Morin H 2014. Lengthening of the duration of xylogenesis engenders disproportionate increases in xylem production. *Global Change Biol* 20:2261-2271.
- Vilà-Cabrera A, Coll L, Martínez-Vilalta J, Retana J 2018. Forest management for adaptation to climate change in the Mediterranean basin: A synthesis of evidence. *Forest Ecol Manag* 407:16-22.
- Vitasse Y, François C, Delpierre N, Dufrêne E, Kremer A, Chuine I, Delzon S 2011. Assessing the effects of climate change on the phenology of European temperate trees. *Agr Forest Meteorol* 151:969-980.

ZAHVALA

Študija je bila financirana s strani Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS): program za usposabljanje mladih raziskovalcev (Peter Prislan), projekta Z4-7318 in V4-1419 ter programa P4-0015 in P4-0107. Sodelovanje z raziskovalci iz univerze Université du Québec à Chicoutimi je bilo omogočeno s strani Fonds de recherche du Québec – Nature et Technologies (FRQNT) preko kratkotrajne raziskovalne štipendije (P. Prislan).

Zaznavanje notranjih strukturnih anomalij v stoječih bukovih (*Fagus sylvatica* L.) ter smrekovih drevesih (*Picea Abies* Mill.) s hitrostjo in dušenjem ultrazvoka

Luka KRAJNC¹, Aleš KADUNC², Aleš STRAŽE¹

¹ Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

² Gozdno gospodarstvo Bled, Ljubljanska cesta 19, 4260 Bled, Slovenija

E-naslov: luka.krajnc@icloud.com

POUDARKI (HIGHLIGHTS)

- **Hitrosti ultrazvoka se razlikujejo glede na smer in vertikalno pozicijo meritve v stoječih drevesih. / Ultrasound velocity in standing trees differs with measuring direction and the height of measurement.**
- **Hitrost ultrazvoka je uporabna za zaznavanje notranjih strukturnih anomalij v stoječih drevesih bukve in smreke. / Ultrasound velocity can be a useful predictor of internal defects in standing trees of Norway spruce and European beech.**
- **Dušenje ultrazvoka za napoved anomalij je relativno dobra alternativa meritvam hitrosti, saj je proces merjenja značilno hitrejši ob podobni natančnosti napovedi. / Ultrasound damping can be used for prediction of presence of internal defects in standing trees with a similar accuracy to ultrasound velocity, while the measuring process is significantly faster.**

UVOD

Učinkovito gospodarjenje z gozdovi zahteva dobro poznavanje razvoja in zakonitosti pojavljanja notranjih anomalij v stoječih drevesih, saj lahko negativno vplivajo tako na zdravje gozda kot kvaliteto lesa. Nadaljnji razvoj metod zaznavanja notranjih anomalij v stoječih drevesih je tako ključnega pomena, saj bi zanesljivo zaznavanje omogočilo nadaljnji razvoj gospodarjenja z gozdovi.

Obstaja več metodologij ovrednotenja notranjih anomalij v stoječih drevesih, od katerih so tiste na podlagi preleta mehanskih impulzov ter zvoka relativno pogosto uporabljene (Wang in sod. 2007). Običajno se izmeri čas prehoda zvočnega signala med dvema točkama, nato pa se ob znani razdalji med točkama meritve izračuna hitrost signala pri prehodu skozi les. Nižje hitrosti so dokazano povezane z različnimi stopnjami razkroja. Kljub relativni razvitosti metode je ta dokaj nepraktična. Za izračun hitrosti je namreč nujno potrebno meriti še razdalje med merilnimi točkami, pri tem pa na interpretacijo rezultatov pomembno vplivajo tudi anizotropne zgradbene lastnosti lesa. Proces merjenja razdalj na stoječih drevesih v primerjavi s samo meritvijo časa prehoda zahteva dodaten čas, kot tudi primerno opremo, še posebej ob meritvah v več različnih smereh. Nadaljnji razvoj te metodologije, z možnostmi poenostavitve meritev, je mogoč z uporabo atenuacije in dušenja mehanskih vibracij, zvočnih ali ultrazvočnih, za zaznavanje notranjih anomalij v stoječih drevesih. Pretekle raziskave so potrdile uporabo atenuacije ultrazvoka za zaznavanje reakcijskega lesa (Brancheriau et al. 2012b, Saadat-Nia et al. 2011) ter napreduječih bakterijskih okužb v drevesih (Leininger et al. 2001).

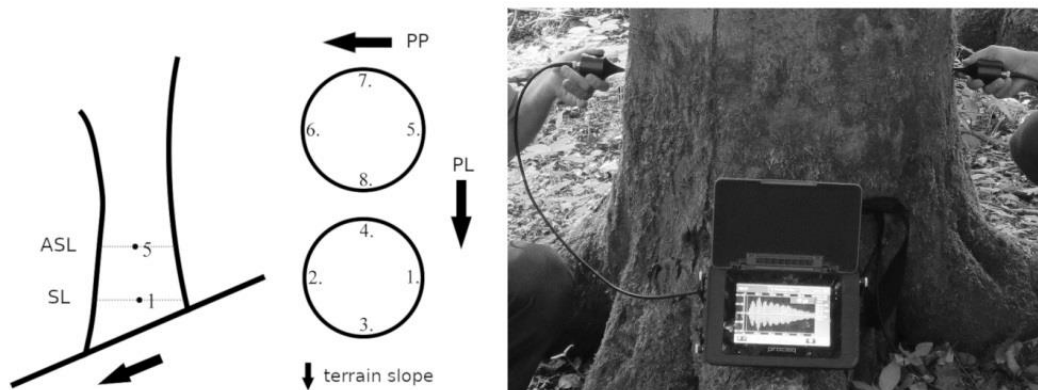
Pričujoča študija je raziskala potencial uporabe hitrosti ultrazvoka ter dušenja za zaznavanje notranjih strukturnih anomalij v stoječih bukovih in smrekovih drevesih. Meritve so bile opravljene v različnih prečnih smereh debel (tako radialnih kot tangencialnih) ter na dveh različnih višinah. Uporabnost hitrosti ultrazvoka za napovedovanje prisotnosti anomalij je bila primerjana z

uporabnostjo dušenja, saj bi s tem precej zmanjšali čas meritev in povečali uporabnost metodologije v praksi.

MATERIAL IN METODE

Vzorčili smo 68 bukovih dreves (*Fagus sylvatica* L.) ter 87 smrekovih dreves (*Picea abies* Mill.) z dveh ločenih rastišč. Rastišče bukve smo izbrali na področju Snežnika (n.v. 877 m), rastišče smreke pa na Pohorju (n.v. 800 m do 1150 m), z naklonom pobočij med 20° in 34°. Srednji premer bukovih dreves je znašal 32,1 cm (var. razmik od 10 cm do 63 cm; st.dev. = 14,8 cm), ter 23,5 cm pri smrekovih drevesih (var. razmik od 13 cm do 53 cm; st.dev. = 6,9 cm) (Krajnc in sod. 2019).

Na posamičnem drevesu smo v dveh horizontalnih ravninah, na višini panja (SL) ter 0,5 m nad panjem (ASL), prečno na debla v radialni (1-2, 3-4, 5-6, 7-8) ter v tangencialni smeri (1-3 = -45°; 1-4 = +45°; kot predstavlja odklon od prečne ravnine drevesa v smeri pobočja) določali hitrost preleta ultrazvoka ter dušenje ultrazvočnega signala (Sl. 1).



Slika 1 Smeri merjenja preleta ultrazvoka pri stoječih bukovih in smrekovih drevesih (1. ravnina – nivo panja (SL): 1-2, 3-4, 1-3, 1-4; 2. ravnina – 0,5 m nad nivojem panja (ASL): 5-6, 7-8).

Figure 1 Measuring directions of ultrasound propagation in standing trees of spruce and beech (1st plane – stump level (SL): 1-2, 3-4, 1-3, 1-4; 2nd plane – 0.5 m above stump level (ASL): 5-6, 7-8).

Drevesa smo po meritvah posekali, na nivoju panja pa smo vizualno določili prisotnost notranjih strukturnih anomalij. Prisotnost rdečega srca pri bukvi in rjave trohnobe smo zabeležili v primeru, ko je velikost anomalije preseгла valovno dolžino ultrazvočnega signala v prečni smeri dreves. Slednjo smo določili iz ocenjene maksimalne hitrosti 2000 m/s, in pri nominalni frekvenci ultrazvoka ($f = 54$ kHz) znaša 37 mm.

Za prisotnost rdečega srca pri bukvi smo privzeli klasifikacijo ter pojavnost metamorfoz te anomalije (Sachsse 1991, Trenčiansky in sod. 2016). Drevesa brez prisotnega rdečega srca ter tista s prisotnim zdravim rdečim srcem smo grupirali v prvo skupino (0 - kontrola), preostala pa v drugo skupino (1 – rdeče srce). Enak princip smo uporabili tudi pri razvrščanju smrek. Zdrava smrekova drevesa brez kakršnihkoli začetnih znakov razkroja v njihovi notranjosti na nivoju panja smo uvrstili v prvo skupino (0 – kontrola). V drugo skupino smrekovih dreves (1 – rjava trohnoba) smo uvrstili vsa drevesa, kjer smo zaznali že začetne spremembe v barvi in konsistentnosti lesnega tkiva v notranjosti dreves na nivoju panja, skladno z metodologijo sorodnih raziskav (Axmon in sod. 2002, Wagener in Davidson 1954) (Sl. 2).



Slika 2 Tipičen izgled prečnega prereza panjev bukve (a) in smreke (b) iz kontrolne skupine (zgoraj) ter s prisotnostjo rdečega srca (c) in rjave trohnobe (d) (spodaj).

Figure 2 An example of beech (a) and spruce (b) cross-sections of sound trees, and of trees with internal structural defects – red heartwood of beech (c) and butt rot of spruce (d).

Z ultrazvočno napravo PunditLab PL-200 (Proceq, Schwarzenbach, Švica) smo pri frekvenci 54 kHz med merilnimi točkami (Slika 1) določali čas (t_i) preleta 80 ms dolgih ultrazvočnih (UZ) pulzov, po določitvi razdalj (s_i) pa nato izračunavali ultrazvočno hitrost ($v_i = s_i/t_i$). Postprocesiranje ultrazvočnih signalov smo izvedli s programsko opremo R-software (R Core Team, 2017). Analizirali smo 30 točk pojemajočega dela posameznega signala, prilagodili eksponentni regresijski model (En. 1) ter določili koeficient dušenja δ ultrazvoka (En. 2).

$$y(t) = \beta \times e^{-\alpha t} \quad (1)$$

$$\delta = \frac{\alpha}{\pi * f} \quad (2)$$

REZULTATI IN RAZPRAVA

Hitrost ultrazvoka

V radialni smeri kontrolnih bukovih dreves brez prisotnega rdečega srca je znašala povprečna hitrost ultrazvoka 1653,5 m/s, kar je 21,5% več kot v kontrolni skupini smrekovih dreves (1361,3 m/s). Ob prisotnosti notranjih strukturnih anomalij smo pri bukvi zabeležili za 10,5% nižjo povprečno hitrost (1479,3 m/s), pri smreki pa 13,9% zmanjšanje (1172 m/s). Večje razlike v

hitrosti ultrazvoka med skupinama smo pri obeh drevesnih vrstah zabeležili na nivoju panja dreves (Pregl. 1; Krajnc in sod. 2019).

Preglednica 1 Hitrost ultrazvoka (povprečje, CV % - koeficient variacije) v posamezni radialni smeri (PP – prečno na pobočje, PL – vzdolž pobočja) in tangencialni smeri dreves (-45°, +45°) v dveh ravninah (SL – nivo panja, ASL – 0,5 m nad panjem) pri kontrolni skupini (0) ter pri skupini z notranjimi anomalijami (1; Mann-Whitney U test, *p < 0,05; ** p < 0,01).

Table 1 Ultrasound velocity (mean value, coef. of variation) in relation to the direction (PP, PL – perpendicular and parallel to the slope site; -45°, +45° - tangential direction) and to the height level of normal (0) and defective (1) beech and spruce trees (Mann-Whitney U test, *p < 0.05, ** p < 0.01).

Smer / Direction	Anomalije / Internal defects	Hitrost / Velocity (ms ⁻¹) (CV %)			
		Bukev / European beech		Smreka / Norway spruce	
		SL	ASL	SL	ASL
PP	0	1690 (5)	1640 (10)	1450 (15)	1390 (15)
	1	1560 (10)**	1500 (15)*	1170 (30)**	1150 (25)*
PL	0	1620 (10)	1670 (5)	1320 (20)	1290 (20)
	1	1320 (20)*	1520 (15)*	1140 (30)*	1230 (15)
(-45°)	0	1550 (5)		1230 (15)*	
	1	1510 (5)		1040 (25)*	
(+45°)	0	1510 (10)		1120 (20)	
	1	1430 (5)*		1040 (30)	

V tangencialni smeri smo pri obeh drevesnih vrstah že v kontrolni skupini zabeležili nižje hitrosti v primerjavi z radialno smerjo (-7,8% pri bukvi ter -15% pri smreki). Pri bukvi se tudi ob prisotnosti rdečega srca tangencialna hitrost ultrazvoka ni bistveno zmanjšala (le za 3,4%) glede na kontrolno skupino, značilno le na zgornji strani dreves glede na pobočje (+45°). Pri smrekah z rjavo trohnobo je bil tudi padec tangencialne hitrosti ultrazvoka značilnejši (-15,0%) glede na kontrolno skupino, večji pa na spodnji strani dreves glede na pobočje (-45°; -15.2%).

Dušenje ultrazvočnega signala

Povprečno dušenje ultrazvoka v radialni smeri kontrolnih dreves je bilo večje pri bukvi ($\delta = 21,1 \cdot 10^{-3}$) kot pri smreki ($\delta = 17,2 \cdot 10^{-3}$). Pri bukovih drevesih z rdečim srcem se je povprečno dušenje ultrazvoka v radialni smeri značilno zmanjšalo ($\delta = 20,1 \cdot 10^{-3}$), pri smrekovini z rjavo trohnobo je povprečje ostalo nespremenjeno ($\delta = 17,2 \cdot 10^{-3}$), razlikovalo pa se je po višini dreves (Pregl. 2; Krajnc in sod. 2019).

Dušenje ultrazvoka v radialni smeri dreves se je najbolj povečalo pri bukvah s prisotnim rdečim srcem 0,5 m nad panjem dreves (ASL). Pri smrekah z rjavo trohnobo smo v isti smeri povečanje dušenja ultrazvoka zabeležili le na nivoju panja dreves (SL). Ta obratno sorazmerni odziv dušenja ultrazvoka glede na spremembo njegove hitrosti je bil delno pričakovan, saj študije omenjajo tudi obratno sorazmerno zvezo hitrosti in atenuacije ultrazvoka pri ultrazvočni tomografiji (Brancheriau in sod. 2012a).

Preglednica 2 Povprečno dušenje (δ) ultrazvoka v radialni smeri bukovih in smrekovih dreves na nivoju panja (SL) ter 0,5 m nad panjem (ASL) (CV% – koef. variacije); * - Značilna razlika povprečij pri $p < 0,05^*$ in pri $p < 0,01^{**}$.

Table 2 Mean damping (δ) of ultrasound transmitted in radial direction of beech and spruce trees at stump level (SL) and above stump level (ASL) (CV% – coef. of variation); * - Significance of difference between means at 0.05^* and 0.01^{**} .

Smer / Direction	Anomalije / Internal defect	Dušenje / Damping δ ($\times 10^{-3}$) / (CV%)			
		Bukev / European beech		Smreka / Norway spruce	
		SL	ASL	SL	ASL
SPP	0	21,4 (30)	20,8 (30)	17,2 (65)	19,9 (45)
	1	19,1 (35)	20,9 (45)	17,6 (65)*	17,4 (65)
SPL	0	20,4 (35)	21,8 (35)	12,8 (85)	18,9 (55)
	1	18,4 (25)	22,1 (35)*	15,2 (75)**	18,9 (50)

Napovedovanje prisotnosti notranjih strukturnih anomalij, t.j. rdečega srca pri bukvi in rjave trohnobe pri smreki, s hitrostjo in dušenjem ultrazvoka smo preverili še s statističnim modelom. Preverili smo binarni logistični regresijski model ter za obe testirani spremenljivki dobili značilno zanesljivost napovedovanja (Pregl. 3; Krajnc in sod. 2019).

Preglednica 3 Primerjava modelne zanesljivosti napovedovanja notranjih strukturnih anomalij v stoječih bukovih in smrekovih drevesih z določanjem radialne hitrosti preleta ter dušenja ultrazvoka.

Table 3 Comparison of prediction models for the detection of internal structural defects in standing trees of European beech and Norway spruce based on the determination of velocity and damping of ultrasound in radial direction.

Vrsta / Species	Model	dAIC	Natančnost napovedi / Prediction accuracy	Občutljivost / Sensitivity	Specifičnost / Specificity
<i>Bukev / Beech</i>	Hitrost ultrazvoka / Ultrasound velocity	1	0,72	0,77	0,63
	Dušenje ultrazvoka / Ultrasound damping	0	0,76	0,80	0,68
<i>Smreka / Spruce</i>	Hitrost ultrazvoka / Ultrasound velocity	0	0,83	0,83	0,70
	Dušenje ultrazvoka / Ultrasound damping	17	0,82	0,82	1

V vseh primerih je bila občutljivost statističnega modela večja kot njegova specifičnost. To nakazuje na uporabnost tega modela, zlasti pri identifikaciji dreves s prisotnimi notranjimi strukturnimi anomalijami.

ZAKLJUČKI

V študiji smo potrdili uporabnost enostavne smerne 2-točkovne ultrazvočne merilne tehnike za zaznavanje rdečega srca in rjave trohnobe, posamično v notranjosti stoječih bukovih in smrekovih dreves. Ob prisotnosti strukturnih anomalij v drevesih obeh vrst smo določili nižjo hitrost preleta ultrazvoka ter obratno-sorazmerno višje dušenje signalov. Za detektiranje proučevanih notranjih strukturnih anomalij obeh vrst priporočamo merjenje dušenja ultrazvoka. Slednji način ne zahteva poznavanja razdalj med oddajno in sprejemno ultrazvočno sondo ter zgradbenih karakteristik lesa. Metoda ima potencial za optimizacijo gospodarjenja in sečnje v gozdovih.

VIRI

- Axmon, J., Hansson, M., Sörnmo, L. (2002) Modal analysis of living spruce using a combined prony and DFT multichannel method for detection of internal decay. *Mech Syst Signal Process* 16:561-584
- Brancheriau L., Saadatnia M., Gallet P., Lasaygues P. (2012a) Application of ultrasound tomography to characterize the mechanical state of standing trees (*Picea abies*). *J. Phys. Conf. Ser.* 353: 1-13
- Brancheriau, L., Saadatnia, M., Gallet, P., Lasaygues, P., Pourtahmasi, K., Kaftandjan, V. (2012b) Ultrasonic Imaging of Reaction Wood in Standing Trees. In: *Acoustical Imaging*. Nowicki, A. Springer, Berlin. 399-411.
- Krajnc L., Kadunc A., Straže A. 2019. The use of ultrasound velocity and damping for the detection of internal structural defects in standing trees of European beech and Norway spruce. *Holzforschung* (<https://doi.org/10.1515/hf-2018-0245>)
- Leininger, T.D., Schmoldt, D.L., Tainter, F.H. (2001) Using Ultrasound to Detect Defects in Trees: Current Knowledge and Future Needs. in *The first international precision forestry cooperative symposium*. Seattle: USDA Forest Service.
- Sachsse, H. (1991) Kerntypen der Rotbuche [Heartwood Types of Common Beech]. *Forstarchiv* 62:238-242
- Saadat-Nia, M.A., Brancheriau, L., Gallet, P., Enayati, A.A., Pourtahmasi, K., Honarvar, F. (2011) Ultrasonic Wave parameter changes during propagation through poplar and spruce reaction wood. *BioResources* 6:1172-1185.
- Trenčiansky, M., Lieskovský, M., Merganič, J., Šulek, R. (2016) Analysis and evaluation of the impact of stand age on the occurrence and metamorphosis of red heartwood. *iForest* 10:605-610.
- Wagener, W.W., Davidson, R.W. (1954) Heart rots in living trees. *Bot Rev* 20:61-134.
- Wang, X., Carter, P., Ross, R.J., Brashaw, B.K. (2007) Acoustic assessment of wood quality of raw materials - a path to increased profitability. *Forest Prod J* 57:6-14.

ZAHVALA

Študija je bila podprta s strani Raziskovalnega programa P4-0015, financiranega s strani ARRS, ter s strani Pahernikove ustanove.

Ali je les črnega bora (*Pinus nigra*) primeren za uporabo na prostem?

Samo GRBEC¹, Davor KRŽIŠNIK¹, Boštjan LESAR¹, Miha HUMAR¹

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-naslov: samo.grbec@bf.uni-lj.si

POUDARKI

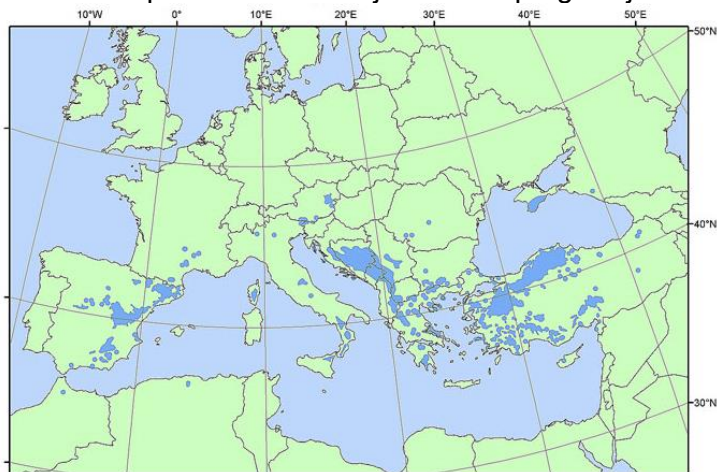
- Naravna odpornost jedrovine črnega bora je med 4 in 3 razredom odpornosti.
- Beljava črnega bora je dobro permeabilna in se dobro impregnira
- Med vakuumsko tlačnim postopkom, biocidni proizvodi ne prodirajo v jedrovino
- Les črnega bora ni primeren za uporabo v višjih razredih uporabe.

HIGHLIGHTS

- Hardwood of black pine, can be classified as moderately durable (3) and slightly durable (4).
- Sapwood of black pine is very permeable and can be treated with wood preservatives
- Heartwood of black pine is not permeable, and can not be treated even with vacuum-pressure based procedures.
- Wood of black pine, is not suitable to be used in higher use classes

UVOD

Črni bor je do 35 m visoko drevo, debeline do 100 cm, gostote okoli 475 kg/m³. Jedrovina je rdečkasto rjava, beljava rumenkasta. Odpornost lesa je uvrščena med 3 in 4 razred odpornosti (CEN, 2016). Najpogosteje se uporablja v energetske namene. Zaradi velike vsebnosti smole, les ni najbolj primeren za konstrukcijski les. Visoka vsebnost smole je omejujoč dejavnik tudi pri predelavi v celulozo. Črni bor je fragmentirano razširjen v Evropi in Mali Aziji. V Sloveniji ga najdemo na strmih pobočjih na Bovškem, v zahodnih Karavankah, ob Kolpi, Trnovskem gozdu ... (Anonymous, 2019). Čeprav je areal črnega bora majhen in pogojen z specifičnim rastiščem, bi lahko les črnega bora v nekaterih primerih služil kot tehnični les, npr. kot vinogradniško kolje, ker pojavnost vrste često sovпада z vinogradniškimi območji. V primeru intenzivnejšega segrevanja, bi se areal črnega bora lahko razširil tudi na nova območja, zato je smiselno razmišljati o novih uporabah. Les na prostem v največji meri ogrožajo lesne glive, ki lahko relativno hitro povzročijo propad lesa. Namen prispevka je določiti, ali je odpornost lesa primerna za zunanjo uporabo in ali lahko odpornost lesa izboljšamo z impregnacijo z biocidnimi proizvodi.



Slika 1: Razširjenost črnega bora (Euforgen, 2019)

MATERIALI IN METODE

Vzorci dimenzij 1,0 cm × 1,5 cm × 3 cm smo izdelali iz beljave in jedrovine črnega bora (*Pinus nigra*). Del vzorcev smo impregnirali z biocidnim proizvodom Silvanolin (Silvaprodukt, Slovenija), v skladu s postopkom polnih celic. Koncentracija bakra v Silvanolinu je bila 0,5 %. Za primerjavo smo uporabili še smrekovino (*Picea abies*). Hranilna gojišča za glive smo pripravili v Petrijevkah. Kot hranilni medij smo uporabili krompirjev glukozni agar (PDA- DIFCO). V vsak kozarec smo vlili po 15 mL sterilnega hranilnega gojišča. Ko so se kozarci ohladili smo hranilno gojišče inokulirali z izbranimi vrstami gliv. Petrijevke smo inkubirali v klimatizirani komori s konstantno temperaturo 25 °C in vlažnostjo zraka 85 %. Vzorce smo sterilizirali v avtoklavu (25 min; 120 °C; 1,5 bar). Nato smo jih v sterilnih pogojih vstavili v kozarce, in jih nato za 12 tednov izpostavili glivam razkrojevalkam lesa kot zahteva modificiran standard EN 113 (CEN, 2006) in sicer: *Fibroporia vaillantii*, *Rhodonía placenta*, *Gloeophyllum trabeum* in *Trametes versicolor*. Po izpostavitvi glivam smo vzorce očistili, posušili v sušilniku (103±2 °C) in jim izračunali spremembo mase. Glivam smo izpostavili po pet vzporednih vzorcev.

Vzporednim vzorcem smo določili impregnabilnost. V ta namen smo uporabili vzorce preseka 5 × 5 cm. Vzorce smo impregnirali v skladu s postopkom polnih celic in spreminjali pogoje impregnacije. Impregnacija je potekala v vakuumsko tlačni komori Kambič. Del vzorcev smo pred impregnacijo sušili v vakuumu (z namenom odstraniti smole), del smo jih vrezali. Impregnirane vzorce smo prežagali in na preseku določili navzem.

REZULTATI IN RAZPRAVA

Izguba mase vzorcev nakazuje, da so bile glive vitalne in so lahko razkrajale les. Ne-impregnirana beljava bora je v vseh primerih izgubila višji odstotek mase, kot smrekovina (Preglednica 1). Ta podatek nakazuje, da je beljava črnega bora bolj dovzetna za glivni razkroj, kot smrekov les. Najvišjo izgubo mase je povzročila tramovka (*G. trabeum*). Ostale glive so povzročile primerljivo izgubo mase ne-impregnirane smrekovine in beljave borovine. Najvišjo izgubo mase jedrovine črnega bora je povzročila gliva *F. vaillantii* (24 %). Izguba mase jedrovine je celo višja, od izgube mase beljave in smrekovine. Ta podatek nakazuje, da je uvrstitev jedrovine bora v 3 oziroma 4 razred odpornosti precenjena. V skladu s prikazanimi podatki (Preglednica 1), bi tudi jedrovino lahko uvrstili med na razkroj zelo dovzetne vrste (5 razred)(CEN 2016). Uporaba tako slabo odpornega lesa v višjih razredih uporabe ni smiselna.

Preglednica 1: Izguba mase impregniranih in ne-impregniranih vzorcev črnega bora (Pinus nigra).

Les	Impregnacija	Lesna gliva / Izguba mase			
		<i>G. trabeum</i>	<i>R. placenta</i>	<i>F. vaillantii</i>	<i>T. versicolor</i>
Beljava črni bor	Ne	25,4 %	19,8 %	21,7 %	23,2 %
	Silvanolin	6,5 %	5,1 %	5,4 %	6,9 %
Jedrovina črni bor	Ne	14,6 %	10,2 %	24,0 %	11,9 %
	Silvanolin	14,7 %	4,6 %	4,9 %	6,4 %
Smreka	Ne	22,4 %	12,5 %	20,0 %	20,8 %

Če želimo slabo odporen les uporabiti v tretjem (na prostem, ne v stiku s tlemi), ali četrtem razredu uporabe (les v stiku z zemljo), ga moramo zaščititi. Za uporabo na prostem, moramo dočeti ustrezno penetracijo in retencijo biocidnega proizvoda. V EU je na prostem dovoljeno uporabljati le biocidne proizvode na osnovi bakrovih učinkovin, ki smo jih vključili tudi v našo raziskavo (Humar, 2008). Zaradi slabe penetracije, biocidni proizvodi na osnovi bakra, niso dobro prodrli v les črnega bora (Slika 2). To se odraža tudi v učinkovitosti. Glive s lahko razkrajale les zaščitene z

bakrovimi pripravki. Nekoliko odpornejša je bila impregnirana beljava, pri jedrovini pa z impregnacijo nismo dosegli ustreznega učinka. Izguba mase impregniranega lesa bi ne smela presežati 3 %. Del izgube mase impregniranega lesa lahko pripišemo tudi smoli, ki je med sušenjem izhlapela ali iztekla iz lesa. Po drugi strani, pa ravno smola v največji meri preprečuje impregnacijo lesa črnega bora. Z namenom izločiti iz lesa smolo že pred impregnacijo, smo del vzorcev črnega bora sušili v komori s podtlakom, del vzorcev pa smo vrezali, da bi s tem izboljšali penetracijo. Učinek obeh postopkov na penetracijo in retencijo je bil zanemarljiv (Slika 2).



Slika 2: Penetracija biocidnega proizvoda v les (1- neobdelan les, 2 – les sušen v komori s podtlakom, 3 – vrezan les.

Na podlagi predstavljenih rezultatov lahko povzamemo, da les črnega bora ni primeren za zunanjo uporabo. Les se slabo impregnira, zato z impregnacijo ne izboljšamo odpornosti do mere, ki bi omogočila uporabo v stiku z zemljo. Zaradi visoke vsebnosti smole, les tudi ni primeren za termično modifikacijo. Zaradi visoke vsebnosti ekstraktivov, je les zanimiv za biorafinerijske namene.

VIRI

- Anonymous, 2019. <http://eprints.gozdis.si/1245/1/Borovja-ALL-reduce.pdf> (10.5.2019)
 Euforgen, 2019. <http://www.euforgen.org/species/pinus-nigra/> (10.5.2019)
 CEN, 2016. EN 350 - Durability of wood and wood-based products - Testing and classification of the resistance to biological agents, the permeability to water and the performance of wood and wood-based materials. CEN (European Committee for Standardization), Bruselj.
 CEN, 2006. EN 113 - Wood preservatives - Test method for determining the protective effectiveness against wood-destroying basidiomycetes. Determination of toxic values. European Committee for Standardisation, Bruselj
 Humar M. 2008. Zaščita lesa - kam gremo? V: Gradnja z lesom. Kuzman M.K. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 102–107.

ZAHVALA

Prispevek je rezultat več med seboj povezanih projektov, ki jih je sofinancirala Agencija za raziskovalno dejavnost RS: L4-7547 – Obnašanje lesa in lignoceluloznih kompozitov v zunanjih razmerah, 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). Del raziskav je potekal tudi v okviru projekta FORESDA (Forest-Based, Cross-Sectoral Value Chains Fostering Innovation And Competitiveness In The Danube Region) in projektov Razvoj verig vrednosti v okviru razpisov Strategije pametne specializacije; TIGR4smart (C3330-16-529003) in Woolf.

Sprememba barve bukovine in borovine po impregnaciji z ekstraktivi navadne robinije

Blaž VIVOD¹, Viljem VEK¹, Primož OVEN¹, Ida POLJANŠEK¹

¹ Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Univerza v Ljubljani, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-naslov: primoz.oven@bf.uni-lj.si

Uvod:

Les velja za obnovljiv in uporaben material, poleg tega pa predstavlja naraven vir dragocenih spojin. Mednje sodijo ekstraktivi, lignin, hemiceluloze in nanoceluloza (Holmbom, 2011). Ekstraktivi vplivajo na številne lastnosti lesa, pomemben je njihov doprinos k naravni odpornosti lesa. Navadna robinija (*Robinia pseudoacacia* L.) je tujerodna in invazivna drevesna vrsta. Za les robinije je značilna visoka naravna odpornost, le-to pa literatura pojasnjuje s prisotnostjo in kemijskim karakterjem ekstraktivov v lesu (Magel in sod. 1994).

Najpomembnejša funkcija ekstraktivov pa je mehanska in kemična zaščita lesnih tkiv pred vdorom mikroorganizmov, gliv in insektov. Tipično mehansko zaščitno plast oz. hidrofobno bariero lahko tvorijo smolne komponente in voski, medtem ko bolj polarni fenoli (lignani, flavonoidi, stilbeni) izkazujejo biocidne lastnosti in so zelo toksični za številne organizme. (Fengel in Wegener, 1984).

Ekstraktivi lesa so lahko antioksidanti in fugitoksične oziroma antimikrobne komponente, zato izkazujejo aplikativni potencial v formulacijah biocidnih pripravkov (Vek in sod. 2017). V pričujoči študiji smo raziskali vpliv globinske impregnacije z ekstraktom robinije na barvo lesa rdečega bora in bukve.

Cilj raziskave:

- Ekstrahirati les robinije,
- pripraviti zaščitni pripravek s hidrofilnimi ekstraktivi robinije za impregnacijo,
- impregnirati bukovino in borovino s hidrofilnimi ekstraktivi robinije ter
- določiti vpliv globinske impregnacije na barvo lesa po sistemu CIE – L*, a*, b*.

Materiali in metode:

Material, ki je bil vključen v raziskavo je bil pridobljen v primestnem gozdu Panovec pri Novi gorici (Vek in sod. 2017). V namen raziskovalnega dela so bila posekana drevesa navadne robinije (*Robinia pseudoacacia* L.). Iz vsakega drevesa smo odvzeli več debelnih kolutov. Iz kolutov smo nato v mizarski delavnici Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete izžagali posamezne kategorije lesnih tkiv. Razžagane vzorce smo posušili v sušilniku ter jih dezintegrirali z laboratorijskim mlinom (Retsch SM 2000).

Vzorci lesa robinije smo ekstrahirali v Soxhlet aparatu. Ustrezne pogoje in čas ekstrakcije smo določili s predhodnim preliminarnimi analizami. Uporabili smo polarno topilo, mešanico acetona in vode v razmerju 9:1 (v/v). Ekstrakcijo smo izvedli tako, da smo v celulozni tulec za tehtali absolutno suh vzorec pomlete robinije (velikosti delcev 1 mm). Ekstrakcija je potekala 6 ur pri temperaturi 130°C (Vek in sod. 2019).

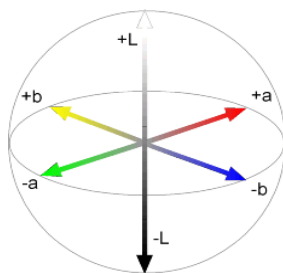
Za pripravo testnega pripravka smo uporabili suh ekstrakt robinije, ki je bil predhodno pridobljen z evaporiranjem in s sušenjem v liofilizatorju ($T = -85^{\circ}\text{C}$, $p = 0,045$ mbar). Pripravili smo 1 % (w/v) vodni pripravek na osnovi ekstraktivov jedrovine robinije (Vek in sod. 2017, Vivod 2018).

V raziskavo smo vključili beljavo bora (*Pinus sylvestris*) in bukve (*F. sylvatica*). Količke borovine in bukovine (dim. 1,5 cm (w) × 1,0 cm (h) × 4 cm (l)) smo globinsko impregnirali z ekstraktivi robinije v tlačno/vakuumski komori (Vek in sod. 2017, Vivod 2018).

Barvo površine količkov smo pred in po impregnaciji posneli z optičnim čitalcem HP Scanjet G4050 ter jo nato analizirali s programom Corel Draw 8. Barvo smo numerično ovrednotili po sistemu CIE – L^* , a^* , b^* (Humar in Thaler 2017, Vivod 2018).

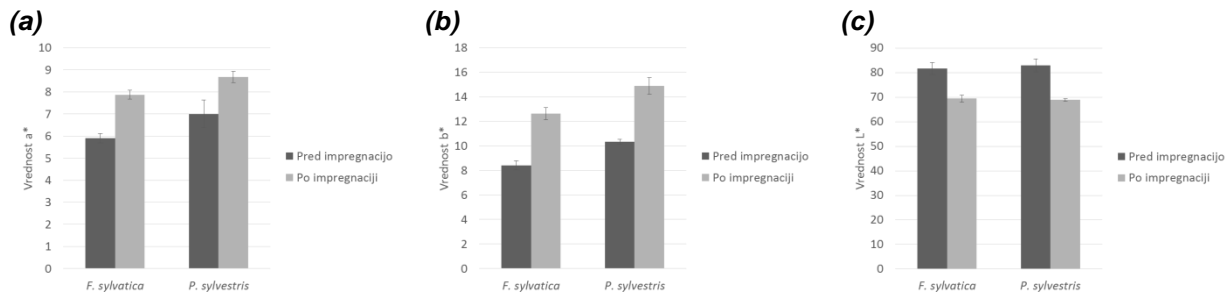
Rezultati:

Metoda za določanje barve temelji na standardizirani svetlobi in standardiziranem opazovalcu. Vsaka od barv je definirana s točko v prostoru, ki jo opišemo z vrednostmi na koordinatnih oseh a^* , b^* in L^* (Slika 1).



Slika 1: CIE Lab barvni prostor (CIE LAB, 2019)

Ugotovili smo, da se barva bukovine in borovine po impregnaciji z ekstraktivi robinije spremeni. Povprečna vrednost L^* je bila za impregniran les manjša, kot pri kontrolnih vzorcih, kar pomeni potemnitev količkov (Slika 2c). Iz Slike 2a je razvidno, da vrednost a^* narašča, kar kaže na to, da je les po impregnaciji pridobil rdečkast odtenek. Po impregnaciji se je povečala tudi vrednost b^* , kar se kaže v rumenkastem videzu lesa (Slika 2c).



Slika 2: Vrednost a^* (a), b^* (b) in L^* (c) za barvo površine lesa rdečega bora (*P. sylvestris*) ter bukve (*F. sylvatica*) pred in po globinski impregnaciji z ekstraktivi jedrovine robinije (*R. pseudoacacia*).

Če primerjamo naše rezultate z rezultati študije barvnih sprememb lesa po termični modifikaciji (Veg s sod., 2009), ugotovimo, da so barvne spremembe lesa po impregnaciji z ekstraktivi robinije bistveno manjše (Slika 2). V primerjavi npr. s termično modifikacijo, impregnacija lesa z naravnimi

fungicidi v manjši meri vpliva na vizualne lastnosti lesa. Ekstraktivi lesa izkazujejo aplikativni potencial na področju razvoja okolju prijaznih biocidnih pripravkov.

Zahvala

Zahvala Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in UIA (*Urban Innovative Actions*, projekt Applause, UIA02-228) za finančno pomoč. Prispevek smo pripravili v okviru raziskovalnih dejavnosti programske skupine P4-0015. Zahvaljujemo se ge. Heleni Zorn in g. Milošu Merviču iz Zavoda za Gozdove Slovenije (Krajevna enota Tolmin) za pomoč pri organizaciji in izvedbi poseka dreves.

Viri:

- Biorefining of forest resources, 2011. R. Alén, ed (Helsinki: Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy), 381
- Fengel D., Wegener G. 1989 Wood: chemistry, ultrastructure, reactions. Walter de Gruyter, Berlin, New York: 613
- Hawley L.F., Fleck L.C., Richard, C.A. 1924. The relation between natural durability and chemical composition in wood. *Ind. Eng. Chem.*, 16: 699-706
- Humar M., Thaler N. 2017. Performance of copper treated utility poles and posts used in service for several years. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 116: 219–226
- Magel, E., Jayallemand, C., Ziegler, H., 1994. Formation of heartwood substances in the stemwood of *Robinia pseudoacacia* L. II. Distribution of nonstructural carbohydrates and wood extractives across the trunk. *Trees-Struct. Funct.* 8, 165-171.
- Oven P., Vek V., Poljanšek I. 2011. Flavonoidi lesa in drevesne skorje. *Les*, 63: 412–417
- SIST EN 113. Wood preservatives - Test method for determining the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes - Determination of the toxic values. 2002
- Veg, T., 2009. Termična modifikacija različnih vrst lesa: diplomsko delo-visokošolski strokovni študij. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
- Vek, V., 2017. Formulations of extractives and nanocellulose for protection of wood and wood-based composites. Final project report, Javni razpis Spodbujanje zaposlovanja mladih doktorjev znanosti v letu 2015. Slovenian Research Agency, Ljubljana.
- Vek, V., Poljanšek, I., Oven, P., 2019. Efficiency of three conventional methods for extraction of dihydrorobinetin and robinetin from wood of black locust. Article submitted to a peer-reviewed journal.
- Vivod, B., 2018. Fungicidne lastnosti hidrofилnih ekstraktov lesa navadne robinije (*Robinia pseudoacacia* L.). Magistrsko delo (Magistrski študij – 2. stopnja)/M. Sc. Thesis (Master Study Programmes). Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Ljubljana.

Lepila na osnovi tanina kot alternativna možnost rabe skorje domačih iglavcev

Jaša SARAŽIN¹, Milan ŠERNEK¹

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, Ljubljana
E-naslov: jasa.sarazin@bf.uni-lj.si

POUDARKI

- **Sintetična lepila za les na osnovi formaldehida so okoljsko obremenjujoča in zdravju škodljiva**
- **Lepila na osnovi tanina so okolju prijazna alternativa sintetičnim lepilom**
- **V Sloveniji lahko primerne tanine pridobimo iz skorje večine iglavcev**
- **Skorja iglavcev, ki se v enem letu posekajo v Sloveniji, vsebuje približno 15 tisoč ton tanina**
- **Iz tega tanina bi bilo mogoče izdelati 230 tisoč m³ bio-lesnih plošč**

HIGHLIGHTS

- **Synthetic wood adhesives on formaldehyde basis are environmentally hazardous**
- **Tannin based adhesives are an environmentally-friendly alternative to synthetic adhesives**
- **In Slovenia, suitable tannins can be obtained from the bark of all predominant conifers species**
- **The bark of conifers, harvested in Slovenia in one year, contain 15 thousand tons of tannin**
- **230 thousand m³ of (bio)wood panels can be produced from this tannin**

UVOD

Letno se na svetu proizvede 400 milijonov m³ lesnih plošč (FAO, 2018), ki vsebujejo približno 20 milijonov ton lepil. 90 % teh lepil predstavljajo sintetična lepila, ki so narejena večinoma na osnovi formaldehida, ki lahko predstavlja tudi do 50 % lepilne smole. Ta derivat metanola je močno toksičen, kancerogen in mutagen ter se iz lesnih plošč sprošča v bivalno okolje. Zato je težnja po zamenjavi takih lepil, z okoljsko prijaznejšimi alternativami, zelo velika.

Tanini in lignini so v naravi najširše prisotne surovine, ki bi lahko zadostile tem potrebam. Za celulozo in hemicelulozo se uvrščajo na tretje in četrto mesto najpogosteje zastopanih komponent v svetovni biomasi (Hernes in Hedges, 2000). Lignini so namreč ključni gradniki lesa pri vseh olesenelih rastlinah, tanini pa se v različnih deležih nahajajo v skorji, lesu in listju dreves. Zaradi svojega polifenolnega značaja predstavljajo oboji primeren material za uporabo v lepilih za les. S tanini so zaradi njihove velike reaktivnosti že uspeli izdelati lepilne mešanice, ki so bile uspešne v komercialni uporabi in so vsebovale do 94 % tanina v lepilni smoli. Lignini potrebujejo nekoliko več energije za potek reakcije in so primernejši le kot dodatek drugim lepilom, pogosto pa je za njihovo aktivacijo potrebna njihova kemična modifikacija (Pizzi, 2016; Pizzi in sod., 1997; Mansouri in sod., 2011). Z bio-lepili na osnovi teh dveh komponent se ukvarjamo v okviru evropskega projekta WooBAdh.

V tem prispevku bomo poskušali predstaviti potencial skorje domačih iglavcev, ki se letno posekajo v slovenskih gozdovih, za proizvodnjo bio-lesnih plošč iz že večkrat komercialno preizkušenega tanin-heksamin lepila (Pizzi in sod., 1997).

DOSTOPNOST KONDENZIRAJOČIH TANINOV V SLOVENIJI

Med domačimi drevesnimi vrstami so s tanini najbolj bogati hrasti (*Quercus sp.*) in kostanj (*Castanea sativa*), ki vsebujejo hidrolizirajoči tanin. Slovensko podjetje Tanin Sevnica d.d. je svetovno znano po njihovi pridelavi za namene strojenja kož, živalske prehrane ter na področju enologije, kjer se ti tanini odlično obnesejo. Za izdelavo lepil pa so bistveno primernejši kondenzirajoči tanini, ki se nahajajo v skorji vseh pomembnejših evropskih iglavcev: smreke (*Picea abies*), bora (*Pinus sp.*), jelke (*Abies alba*), macesna (*Larix decidua*) in duglazije (*Pseudotsuga menziesii*) in predstavljajo približno osmino njene suhe teže (med 5 – 25 %) (Fengel in Wegener, 1989 in Bertaud in sod., 2012).

V povprečju (2008-2017) je bilo v slovenskih gozdovih posekanih 4537 tisoč m³ lesa, od tega 2680 tisoč m³ iglavcev (SURS in ZGS, 2018). Skorja iglavcev v povprečju predstavlja približno 10 % skupnega volumna drevesa (Liepinš J. in Liepinš K., 2015). Upoštevajoč še povprečno gostoto absolutno suhega lesa in skorje iglavcev, ki je približno 0,45 t/m³, lahko zaključimo, da je bilo v povprečnem letnem poseku približno 15 tisoč ton kondenzirajočih taninov.

IZDELAVA BIO-LESNIH PLOŠČ

Iz omenjenih 15 tisoč t tanina ter do 7 % utrjevalca (heksamin), bi bilo možno proizvesti približno 16 tisoč t bio-lepila. Lesne plošče vsebujejo okvirno okoli 10 % lepila. Tako bi lahko z dobljenim lepilom izdelali 160 tisoč ton bio-lesnih plošč, kar ob srednji gostoti lesnih plošč (0,7 t/m³) nanese približno 230 tisoč m³ bio-lesnih plošč. Take lesne plošče so okolju prijazne ter tudi po koncu uporabe okoljsko neoporečne.

DISKUSIJA

V prispevku je predstavljen izračun o potencialu skorje domačih iglavcev za proizvodnjo lesnih bio-lepil. Na več mestih po svetu industrijski obrati pridobivajo tanin za izdelavo lepil (Pizzi in sod. 2016), v Evropi pa takega obrata še ni. Tako glavna uporaba drevesne skorje na našem območju ostaja pridobivanje toplotne energije. Glede na to, da poznamo številne druge čistejšje vire energije od biomase, je take perspektivne surovine bolj smiselno predelati v produkte z višjo dodano vrednostjo, kar lepila za les vsekakor so. Večina domačih iglavcev se zdaj olupijo v tujini, kamor zadnja 4 leta izvozimo več kot polovico posekane hlodovine iglavcev (SURS in ZGS, 2018). S tem ko izvažamo skorjo, izvažamo tudi dragocen vir spojin, ki omogočajo izdelavo produktov z visoko dodano vrednostjo. Za zaključek pa bi veljalo poudariti še to, da je uporaba v lepilih le eden od segmentov, kjer lahko uporabimo ekstrakte iz skorje iglavcev (Gričar, 2011).

VIRI

Bertaud F., Tapin-Lingua S., Pizzi A., Navarrete P., Petit-Conil M. 2012. Development of green adhesives for fibreboard manufacturing, using tannins and lignin from pulp mill residues. *Cellulose Chem. Technol.*, 46 (7-8): 449-455.

FAO. 2018. *FAO Yearbook of Forest Products 2016*. Rim, FAO statistics: 243 str.

Fengel D. in Wegener G. 1989. *Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Walter de Gruyter, Berlin, New York. 613 str.

Gričar J. 2011. *Kemijska zgradba skorje in njena uporaba*. *Les* 63 (1-2): 8-17

Hernes P.J. in Hedges J.I. 2000. Determination of Condensed Tannin Monomers in Environmental Samples by Capillary Gas Chromatography of Acid Depolymerization Extracts. *Analytical Chemistry*, 72: 5115-5124.

Liepinš J. in Liepinš K. 2015. Evaluation of bark volume of four tree species in Latvia. *Research for rural development 2015*, (2): 22-28.

Mansouri H.R., Navarrete P., Pizzi A., Tapin-Lingua S., Benjelloun-Mlayah B.,..., Rigolet S. 2011. Synthetic-resin-free wood panel adhesives from mixed low molecular mass lignin and tannin. *Eur. J. Wood Prod.*, 96: 221-229.

Pizzi A. 2016. Wood products and green chemistry. *Annals of Forest Science*, 73: 185-203.

Pizzi A., Stracke P., Trosa A. 1997. Industrial tannin/hexamine low-emission exterior particleboards. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 55: 168.

SURS in ZGS, 2018. Podatki o kmetijstvu, gozdarstvu in ribištvu za obdobje 2008-2017

ZAHVALA

Raziskava je nastala v okviru projekta WooBAdh (Environmentally-friendly bioadhesives from renewable resources), ki je del programa ERA CoBioTech. Izsledke slovenskega dela je financiralo Ministrstvo Republike Slovenije za izobraževanje, znanost in šport. Zahvala gre tudi tujim projektnim partnerjem iz Španije (koordinator projekta), Francije in Nemčije.