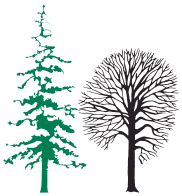




Silva Slovenica

Studia Forestalia Slovenica

142



Zbornik prispevkov znanstvenega srečanja

GOZD IN LES

Monitoring v gozdarstvu, lesarstvu in papirništvu



www.gozdis.si

www.bf.uni-lj.si

Oblikovanje: akademik Hozo Dževad, Ljubljanska grafična šola



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

630*57(082)(0.034.2)

ZNANSTVENO srečanje Gozd in les (2015 ; Ljubljana)
Monitoring v gozdarstvu, lesarstvu in papirništvu [Elektronski vir] : zbornik povzetkov znanstvenega srečanja Gozd in les, Ljubljana, 19. maj 2015 / glavna urednika Hojka Kraigher, Miha Humar.
- El. knjiga. - Ljubljana : Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica, 2015. - (Studia Forestalia Slovenica, ISSN 0353-6025 ; 142)

Način dostopa (URL): <http://eprints.gozdis.si/id/eprint/1257>

ISBN 978-961-6425-91-9 (pdf)
1. Gl. stv. nasl. 2. Kraigher, Hojka
279589632



Uvodnik

Gozd in Les: Monitoring v gozdarstvu, lesarstvu in papirništvu

Sredi maja bomo raziskovalne organizacije s področja gozdarstva, lesarstva in papirništva organizirale že šesto 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 skupaj izdala 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 ne-ujavljenim raziskovalcem na začetku raziskovalne poti, za prikaz svojih rezultatov domači strokovni javnosti.

Letošnje srečanje je namenjeno predstavitvi aktivnosti, raznolikosti in pomena monitoringa različnih parametrov v gozdarstvu, lesarstvu in papirništvu. Monitoringi so specifična oblika znanstveno-raziskovalnega dela, katerega pomen izrazito narašča s trajanjem in obsegom. Osnovna značilnost vseh monitoringov je spremljanje sprememb v času; zato so prvi neposredni rezultat monitoringov praviloma velike baze podatkov, katerih analize nam omogočajo spoznavanje procesov v obravnavanem sistemu, modeliranje sprememb in odzivov sistemov v različnih pogojih v okolju. Znanstveno-raziskovalni preboj predstavlja razvoj metodologij in sistemov, ki pogosto vključujejo inovativne rešitve, ter preskok v spoznavanju principov delovanja in odzivov obravnavanih sistemov na vplive v okolju.

Kratkotrajni monitoringi imajo praviloma bistveno manjšo vrednost, saj le dolgotrajni monitoringi omogočajo, da lahko ocenimo, kaj se dogaja z okoljem, rastjo dreves, staranjem in razgradnjo lesa. Dolgotrajni monitoringi so odlika raziskovalnih organizacij s tradicijo. Pričujoč dogodek je dokaz, da imata obe vodilni organizaciji s področja gozdarstva in lesarstva, Gozdarski inštitut Slovenije in Biotehniška fakulteta Univerza v Ljubljani, že dolgo tradicijo spremljanja dogajanja z gozdom in lesom. Predvsem dolgotrajne raziskave omogočajo, da na področju znanosti ločimo raziskovalne organizacije s tradicijo od tistih, katerih namen je le pobrati nekaj projektnih ur in izkoristiti politično podporo, katere je deležno posamezno področje.

Eden od glavnih izzivov, povezanih z monitoringi, je financiranje. Večina projektov in tudi programov je relativno kratkotrajnega značaja, prioritete raziskovalnih področij se hitro menjajo, zato raziskovalci težko umestimo monitoringe v okvir pogojev, ki so jih vzpostavili financerji znanstveno-raziskovalnega dela v Sloveniji. Menimo, da bi bilo smiselno dolgotrajne monitoringe z večletno tradicijo umestiti v sistemski okvir financiranja znanosti in tako okrepiti ugled slovenske znanosti v svetu.

MONITORING AND RESEARCH IN FOREST ECOSYSTEMS: HISTORY, CURRENT STATUS, UPDATES AND PROSPECTS FOR EXPANDING TO ECOSYSTEMS SERVICES AND THE WOOD CHAIN

dr. Giorgio Matteucci^{1*}, Bruno De Cinti^{2}**

¹National Research Council of Italy, Inst. of Agroenvironmental and Forest Biology (CNR – IBAF) and Inst. for Agriculture and Forestry Systems in the Mediterranean (CNR-ISAFOM), Italy

²National Research Council of Italy, Inst. of Agroenvironmental and Forest Biology (CNR – IBAF), Italy

Forests have been a “study and observation” object by humans for centuries. In this long story, the way in which humans approached forests started to change significantly in the 18th and 19th centuries, when the need for a long-term management view aimed at achieving permanent and sustainable production started to become clearer. In that period, some forest management theories and approaches were tested and formalized, especially in France, Germany, Austria, and Switzerland.

In the second half of the 19th century, a more systematic assessment of forest resources began. At the beginning (1850 -1920), the focus was on ensuring forest production in Europe, and basic forest inventories, early growth and yield plots and thinning experiments were undertaken. Attention was also given to stand regeneration and development. The focus remained similar until the middle of the 20th century, with a refinement of methods and design, and with increasing accuracy of assessment due to some technological improvements.

In the 1960s and 1970s, growing environmental concerns pressed for increasing knowledge of forest ecosystem functioning and protection: the International Biological Programme assessed net primary production on a large scale, UNESCO started to develop the Man and the Biosphere programme (MAB), aimed at establishing a scientific basis for the improvement of relationships between people and their environments, while forests started to be studied also through experiments at the scale of the watershed (e.g. Hubbard Brook in the USA).

The monitoring of the health status of forests started under the pressure of understanding the “forest degradation and dieback” in the 1980s and early 1990s, following large-scale dieback in Central Europe (Waldsterben) and North America. The European scheme for monitoring the effect of pollution on forests (ICP Forests, ICP Integrated Monitoring) started in those years, concurrently with some of the still running ecosystem scale studies and experiments. Large-scale monitoring schemes started to develop common protocols to ensure comparability of the data collected in the many participating countries.

In the last part of the 20th century and the beginning of the 21st, the overarching challenge is global change effects on forest ecosystems: impact studies started with manipulation and open-top-chamber experiments, while the development of the eddy covariance technique made possible measurements of ecosystem scale fluxes of carbon and other gases. Flux networks in different regions came together to form FluxNet, now at more than 400 sites around the world. In the last two decades of the 20th century, monitoring and research on (forest) ecosystems on the ground was paralleled by the development of remote sensing and modelling approaches that opened the way in scaling up in spatial (remote sensing) and temporal (modelling) scales. Since the 1990s, global long-term ecological research and monitoring programmes have expanded rapidly, reflecting the increased appreciation and need for long-term approaches in assessing and resolving complex environmental issues. An example is the International Long Term Ecological Research (ILTER) network.

*giorgio.matteucci@cnr.it **bruno.decinti@ibaf.cnr.it

The challenge for the future is to expand the focus of monitoring to more than the status and trends of forest ecosystem processes. As an example, “Level III” research/monitoring sites measuring process-related parameters are needed to provide information on the effects of the driving forces on forest ecosystem dynamics and functioning (e.g. C and N cycles).

The long history of monitoring has greatly improved our understanding of the functioning and long-term trends of forest ecosystems. In the last few years, however, the maintenance of the monitoring sites and networks has been challenged due to the reduction

of funding support from a European framework. In this respect, the integration of monitoring networks in large-scale European infrastructure may provide a renovated objective for the future of forest monitoring schemes.

Another important issue for the future of monitoring is to expand the aims to the assessment of “ecosystem services” provided and granted by forests. Some examples are under development, trying to assess how forest management can address multiple purposes: wood production, biodiversity protection, landscape connectivity, and ecological corridors.

STANJE MREŽE URADNIH IN NEFORMALNIH POTI V URBANEM GOZDU NA OBMOČJU MESTNE OBČINE LJUBLJANA

Formal and informal forest trail network in urban forest within the City of Ljubljana

dr. Andrej Verlič^{1*}, doc. dr. Janez Pirnat^{2**}

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

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

Ključne besede: urbani gozd, rekreacija v gozdu, rekreacijska funkcija, gozd s posebnim namenom

Keywords: urban forest, forest recreation, recreation function, forest with special purpose

Izvleček

Rekreacija je med najbolj prepoznanimi rabami urbanih gozdov. Opazovanja in objave kažejo na rast povpraševanja po tej vlogi urbanih gozdov, ki lahko ugodno vpliva na zdravje in dobro počutje obiskovalcev, a na drugi strani pušča bolj ali manj trajne posledice v obliki t. i. okoljskih vplivov rekreacije na gozdnem ekosistemu. Še več, obiskovalci te posledice opazijo, in imajo lahko negativni učinek na kakovost njihove rekreacijske izkušnje. Zato je koristno uvesti dopolnilne aktivnosti za spremljanje teh dejavnikov in jih priključiti standardnemu naboru parametrov za spremljanje stanja predvsem urbanih gozdov. V članku je predstavljena metoda popisa celotne mreže cest, poti in stez za preverjanje ponudbe in povpraševanja po tej rekreacijski infrastrukturi v dveh območjih krajinskega parka Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib ter smiselne smernice za upravljavce urbanega gozda.

Abstract

Recreation is one of the most visible uses of urban forests. Observations and publications show a growth in demand for this ecosystem service, which can have a positive impact on the health and well-being of visitors, but on the other hand recreational activities also leaves a more or less permanent impact, on the forest ecosystem. Furthermore, visitors notice these impacts, which can have a negative effect on the quality of their recreational experience. It is therefore useful to introduce additional activities to monitor these factors and include them in the standard set of parameters for monitoring mainly urban forests. This paper describes

a method of inventory for the entire network of roads, formal trails and informal (social) paths to examine the supply of and demand for recreational infrastructure in two parts of the landscape park Tivoli, Rožnik and Šišenski hrib, with recommendations for urban forest managers.

Uvod

Trajno zagotavljanje funkcij in vlog gozdov (Zakon o gozdovih, 1993) oziroma ekosistemskih storitev in dobrin (De Groot in sod. 2002) gozdov v mestih (v nadaljevanju 'urbani gozd') je odvisno tudi od učinkovitega gospodarjenja z njimi. To pa zahteva poznavanje stanja in razumevanje razvoja teh gozdov. V urbaniziranih okoljih je nabor dejavnikov, ki intenzivno vplivajo na delovanje gozdnega ekosistema, pestrejši kot v gozdovih izven naseljenih območij. Dolgoročno spremljanje stanja urbanih gozdov je zato pomembno za njihovo upravljanje. Poleg parametrov, ki se spremljajo na primer pri nacionalnih gozdnih inventurah (Kovač in sod. 2014), je za upravljanje urbanih gozdov zelo pomembno spremljanje obiska (Arnberger in sod. 2010; Wolf in sod. 2012), predvsem potreb obiskovalcev (Arnberger in Eder 2011; Karjalainen in Tyrväinen 2002; Stewart 1992) ter vpliva obiskovalcev na gozdni ekosistem.

Rast urbane populacije v Evropski skupnosti (EUROSTAT, 2013) ter promocija rekreacije v naravi za boljše zdravje in dobro počutje populacije (Godbey 2009) vplivata tudi na povečan obisk urbanih gozdov in pojavljanjem novih oblik rekreacije (Arnberger 2006; EUROSTAT, 2013; Smrekar in sod. 2011). Sodeč po

*andrej.verlic@gozdis.si ** janez.pirnat@bf.uni-lj.si

preteklih raziskavah v nekaterih urbanih gozdovih slovenskih mest, je najpogostejša oblika rekreacije hoja po (uradnih) poteh (Lesnik in sod. 1993; Smrekar in sod. 2011; Verlič in Pirnat 2010). Okoljski psihologi opredeljujejo koridorje poti kot poseben okoljski kontekst za obiskovalce, znotraj katerega slednji lahko stremijo k povrnitvi dobrega počutja (Hartig in sod. 1991; Kaplan in Kaplan 1989), ob tem pa se srečujejo tudi z okoljskimi vplivi rekreacijske rabe in jih zaznavajo (Dorwart in sod. 2009; Moore in sod. 2012). Tako lahko s premišljeno in strokovno načrtovano izvedbo poti, z vzdrževanjem mreže poti in z rednim spremljanjem njihovega stanja pomagamo vzdrževati trajno delovanje gozdnega ekosistema v mestih na eni strani in hkrati zagotavljati osnovne pogoje za kakovostno rekreacijsko izkušnjo obiskovalcev na drugi strani (Cahill in sod. 2008; Lynn in Brown 2003; Monz in sod. 2010).

Grajena in vzdrževana infrastruktura, med katero sodijo tudi uradne rekreacijske poti, ima omejeno nosilno kapaciteto (Manning 2001), kar lahko pomeni težavo pri zadovoljevanju potreb naraščajočega števila uporabnikov (Smrekar 2011). Uradne poti prav tako ne zadovoljijo potreb vseh obiskovalcev, ker po njih na primer ni možno dostopati do predela gozda, ki bi ga nekateri želeli obiskati, ali pa uporabnikom ne ustreza izkušnja oziroma način obiska, ki ga uradna pot omogoča (Manning 2011). Obiskovalci zato uradne poti zapuščajo, jih preobremenijo, ali pa se le izogibajo neurejenim delom poti. Posledice se kažejo v obliki okoljskih vplivov rekreacije na poteh, kot so razširitve poti, izpostavljene korenine, vzporedne poti in spontano ustvarjanje neformalnih stez (Kissling in sod. 2009; Leung in Marion 1999a; Marion in sod. 2011; Monz in sod. 2010; Wimpey in Marion 2010).

Steze sicer omogočajo obiskovalcem intimnejšo rekreacijsko izkušnjo z gozdom ali krajšo pot do železne lokacije (Verlič in sod. 2015), toda takšne poti in njihova uporaba imajo tudi negativne vplive na gozdni ekosistem (Monz in sod. 2010; Taylor in Knight 2003), kot so zbitost in druge poškodbe tal (Liddle 1997) in poškodovanost vegetacije (Amrein in sod. 2005; Monz in sod. 2010), vpliv na živalski svet (Cole in Landres 1995; Leung in Marion 1999b; Liddle 1997) in drugo.

Vidni okoljski vplivi rekreacije, kot so na primer erozija, smetenje, vandalizem, izpostavljene korenine in blato na poteh pa imajo lahko tudi povraten – negativen – učinek na doživljajsko izkušnjo obiskovalca (Golob 2006), zato ta išče nove možnosti za zadovoljitev svojih potreb.

Steze imajo lahko dodaten negativen vpliv tudi na varnost in kakovost rekreacijske izkušnje nekaterih obiskovalcev (Verlič in sod. 2015). Lahko jih zavede-

jo, zaradi česar se obiskovalci lahko izgubijo oziroma se nenamerno podaljša čas njihovega obiska. Za nekatere obiskovalce je to lahko neprijetno. Steze tudi niso del vzdrževalne sheme, zato na njih kakovost in varnost rekreacije ne moreta biti zagotovljeni do te mere, kot jo lahko vzdrževalci zagotavljajo na uradnih poteh.

Nadzor nad stanjem koridorjev uradnih poti omogoča upravljavcem sprotno prilagajanje odprtosti poti in preusmerjanje obiskovalcev. Slednje lahko upravljavec preusmeri zaradi sanacije poškodovanih poti ali zagotavljanja miru določeni živalski vrsti ali pa se jih, glede na preference do določenega videza gozda, preusmeri v sestoje, katerih zgradba se večini obiskovalcev zdi bolj privlačna (Kaplan in Kaplan 1989).

Nekaj raziskav je pokazalo, da so lahko med dejanskimi okoljskimi vplivi rekreacije in tistimi, ki jih zaznajo obiskovalci, znatne razlike (Arnberger in Haider 2007; Merikle in sod. 2001; Moore in sod. 2012; Verlič in sod. 2015). Preden upravljavci urbanih gozdov izvedejo ukrepe na terenu, bi morali preveriti, ali obiskovalci okoljske vplive zaznavajo v povezavi z dejanskim stanjem v naravi ali pa je zaznava posledica nekaterih norm in vrednot (Donnelly in sod. 2000; Heywood in Murdock 2002; Vaske in sod. 1986).

V Sloveniji je bil v raziskavah rekreacije v urbanih gozdovih v preteklosti poudarek predvsem na dinamiki in obliki obiska ter številu obiskovalcev (Anko 1993; Lesnik in sod. 1993; Verlič in Pirnat 2010; Smrekar in sod. 2011), v naši raziskavi pa smo z metodo popisa celotne mreže cest, poti in stez preverili ponudbo rekreacijske infrastrukture v obliki uradnih poti in povpraševanje po tej rekreacijski infrastrukturi v obliki mreže neformalnih stez in drugih negativnih posledic rekreacijske rabe.

1. Material in metode

1.1. Območje raziskave

Raziskava je potekala v zelo obiskanem zavarovanem območju gozda znotraj krajinskega parka Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib, ki je bilo leta 1984 razglašeno za naravni spomenik (Odlok o razglasitvi Tivolija..., 1984) in sprejme skoraj dva milijona obiskov letno (Smrekar in sod. 2011).

1.1.1 Metoda snemanja celotne mreže poti

Za snemanje poti je bila izbrana metodologija, ki vključuje kombinacijo podatkov daljinskega zaznavanja in analognih meritev z merilnim kolesom in metrom ter analizo v GIS okolju po vzoru raziskav vpliva rekreacije v nacionalnih parkih v Združenih državah Amerike (Cole 1986; Leung in Marion 1999b; Manning 2001; Marion in sod. 2006; Marion in sod. 2011; Monz in sod. 2010).

Za snemanje poti so bili izbrani dnevi, ko so razmere na terenu dovoljevale korektno izvedbo dela: brez snežne podlage, brez dežja, brez blata na poteh in pred popolno olistanostjo drevja.

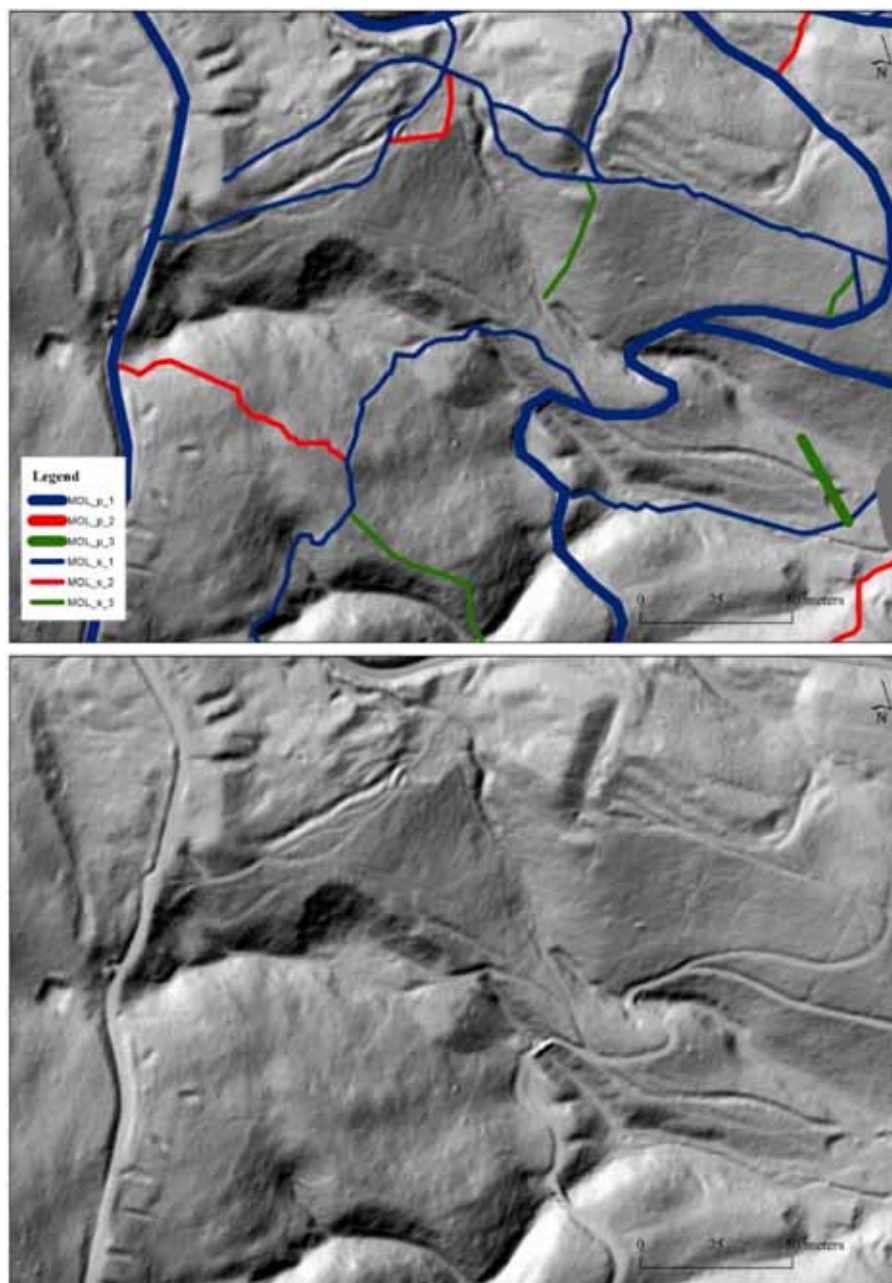
Poti so bile posnete s sprejemnikom LEICA one 10 GNSS. Sprejemnik je bil v stalni povezavi z bazno postajo za post-procesiranje podatkov o lokaciji v realnem času. Na ta način je bila dosežena 40-centimetrska natančnost lokacije. Pomočnik je pot meril z analognim merilnim kolesom – ta razdalja je služila preverjanju dolžin poti, posnetih z GNSS-sprejemnikom, v kasnejši fazi obdelave podatkov v programskem okolju ArcMAP 10.1. Posneti in izmerjeni parametri so se sproti vpisovali v terenski zapisnik in v GNSS-sprejemnik.

Ceste, poti in steze smo razvrstili v naslednje tipe in kategorije:

- tip C, kategorija 1: asfaltirana cesta,
- tip C, kategorija 2: makadamska cesta,
- tip P, kategorija 1: uradna pot, večinoma z zaščitno plastjo (posuta s peskom),
- tip P, kategorija 2: uradna pot, večinoma brez zaščitne plasti,
- tip P, kategorija 3: uradna pot, večinoma neutrjena (vlaka, trim steza),
- tip S, kategorija 1: (neformalna) steza, močno uhojena, večinoma brez vegetacije,
- tip S, kategorija 2: (neformalna) steza, uhojena, mestoma na njej še raste vegetacija,
- tip S, kategorija 3: (neformalna) steza, slabo uhojena, večinoma porasla z vegetacijo.

Surove podatke smo obdelali v programskem okolju ArcMAP 10.1. Posnete poti so bile popravljene glede na vzporedne meritve z analognim kolesom in podlago digitalnega modela terena (Slika 1).

Slika 1: Popravljene posnete poti glede na vzporedne meritve z analognim kolesom in podlago digitalnega modela višin; zgoraj – popravljene poti in steze; spodaj – digitalni model višin (Verlič 2015)



Rezultati

Povprečna skupna dolžina vseh tipov in kategorij poti na obeh območjih je bila 380 m/ha, površina pa dobrih 550 m²/ha. Na vzhodnem območju, kjer prevladujejo gozdovi v lasti Mestne občine Ljubljana

(v nadaljevanju MOL-ov del), je bila mreža vseh tipov in kategorij poti gostejša, in sicer 394 m/ha (598 m²/ha), v primerjavi s severnim območjem, kjer prevladujejo zasebni gozdovi, 361 m/ha oziroma 488 m²/ha (v nadaljevanju zasebni del).

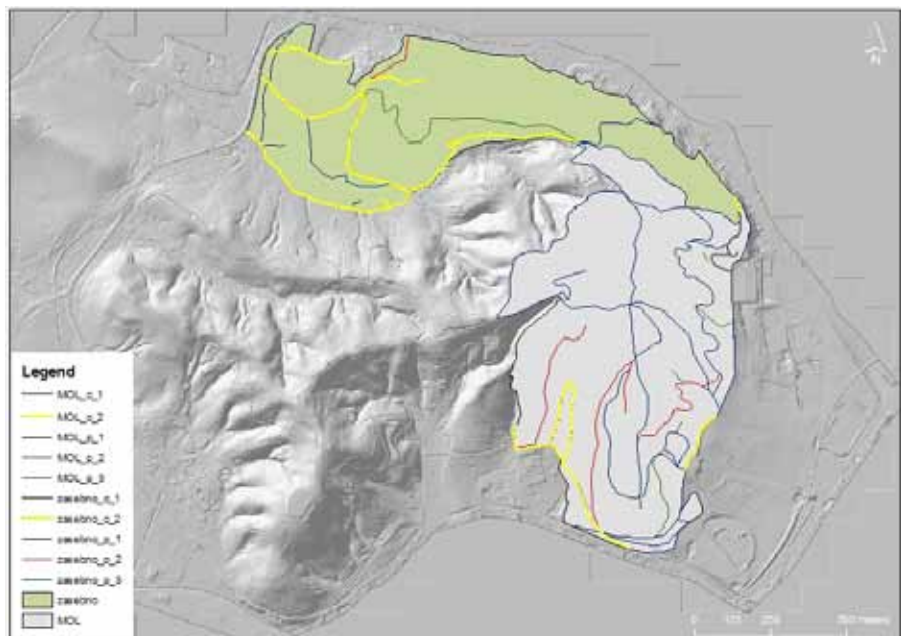
Preglednica 1: Dolžine, povprečni nakloni, širine in površine vseh tipov in kategorij poti (za razlago posameznih tipov in kategorij poti glej poglavje 2.1.3 Metoda snemanja poti) (Verlič 2015)

	Dolžina (m)	Povprečni naklon (%)	Povprečna širina (m)	Površina (m ²)
MOL_c_1	491	14,5	3,0	1472,4
MOL_c_2	1388	7,2	3,0	4164,1
MOL_p_1	8487	7,6	2,5	21218,3
MOL_p_2	1915	9,5	2,0	3829,0
MOL_p_3	613	11,5	1,8	1103,7
MOL_s_1	10295	19,2	0,8	8236,1
MOL_s_2	3623	22,8	0,5	1811,3
MOL_s_3	900	23,9	0,3	270,1
zasebno_c_1	429	8,1	3,0	1287,3
zasebno_c_2	2859	5,1	3,0	8576,0
zasebno_p_1	1415	6,1	2,5	3538,6
zasebno_p_2	241	9,2	2,0	481,8
zasebno_p_3	967	9,7	1,8	1740,5
zasebno_s_1	8961	16,1	0,8	7169,0
zasebno_s_2	2700	16,8	0,5	1350,2
zasebno_s_3	377	20,4	0,3	113,2

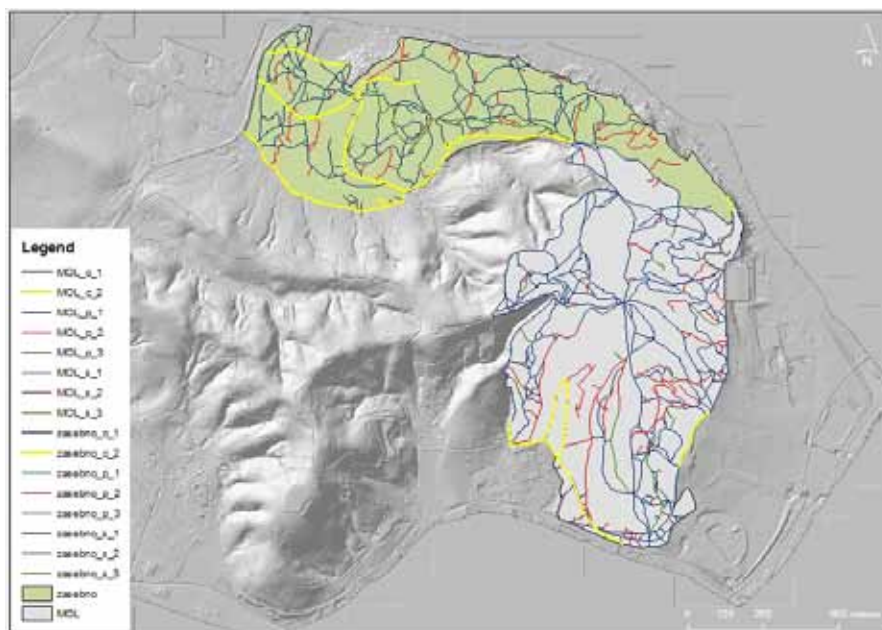
Povpraševanje po rekreacijski infrastrukturi v obliki poti je na podlagi posnetih neformalnih stez na zasebnem delu večje – steze predstavljajo 67 % vseh tipov in kategorij poti, v primerjavi z MOL-ovim delom, kjer je delež stez 53-odstoten.

Območij francoskih šanc (topovski okopi iz 19. stoletja (Korošec, 1991)), ki so na podrobnem modelu reliefa vidne kot podkve na vrhovih grebenov, v mrežo poti nismo vključili.

Slika 2. Prikaz uradnih poti in cest znotraj obravnavanih območij (Verlič 2015)



Slika 3: Prikaz neformalnih stez, uradnih poti in cest znotraj obravnavanih območij (za razlago posameznih tipov in kategorij poti glej poglavje 2.1.3 Metoda snemanja poti) (Verlič 2015)



Gostota cest in poti na vzhodnem delu je bila 183 m/ha (451 m²/ha), na severnem pa 119 m/ha (314 m²/ha), kar nakazuje na manjšo ponudbo uradnih tipov poti na območju, kjer prevladujejo zasebni lastniki gozda (Slika 2).

Na zgornji sliki (Slika 3) je razvidna očitno povečana gostota mreže poti na račun neformalnih stez v primerjavi z mrežo poti na prejšnji sliki (Slika 2). Primerjava deležev uradnih in neformalnih poti dodatno kaže na manjšo ponudbo glede na povpraševanje na severnem območju raziskave.

Analiza deležev posameznih tipov in kategorij poti glede na njihovo ocenjeno površino je pokazala, da na MOL-ovem delu prevladujejo urejene uradne poti, na zasebnem delu pa makadamske ceste. Na obeh območjih glede na delež ocenjenih površin sledijo dobro uhojene neformalne steze, njihov delež pa je večji na zasebnem območju.

Razprava

Zavarovana območja narave, kakršno je tudi območje krajinskega parka Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib, so pogosto podvržena vplivom intenzivne rekreacijske rabe. Večina rekreacije poteka »po tleh« – kot na primer hoja, tek, ježa konj, kolesarjenje in druge oblike. Te rabe povzročajo okoljske vplive tako na uradni infrastrukturi, kot so na primer uradne poti in ceste, kot izven nje, kadar na primer uradne poti obiskovalcem ne ustrezajo ali pa jih ne privedejo na njim želeni način (na primer dolžina in tip poti) do zadanega cilja. Neformalne poti se s tem lahko širijo v zavarovana območja in habitate ter jih ogrožajo, vplivajo na estetiko okolja in na doživljajske izkušnje obiskovalcev (Leung in sod. 2011; Marion in sod. 2006).

Prikazana je bila razlika med ponudbo in povpraševanjem po ustrezni logistični infrastrukturi (ceste,

poti) v dveh območjih krajinskega parka Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib, ki imata različni prevladujoči strukturi lastništva. Vzhodno območje je večinoma v lasti in upravljanju Mestne občine Ljubljana, severno pa je v večinski zasebni lasti.

Razvejena mreža neformalnih stez na severnem in vzhodnem območju parka nakazuje na bistveno večje potrebe po poteh v primerjavi z uradno infrastrukturo, ki je na voljo obiskovalcem. Skupna dolžina vseh tipov in kategorij poti se v primerjavi z uradno infrastrukturo poveča za 224 m/ha in predstavlja 59 % dolžine celotne mreže formalnih in neformalnih poti.

Ocena površine mreže poti je služila kot indikator razlike med okoljskim vplivom mreže formalnih poti v primerjavi z mrežo vseh tipov in kategorij poti (formalnih in neformalnih). Površina neformalnih stez je tako zavzemala skoraj tretjino (29 %) površine formalnih in neformalnih poti.

Delež neformalnih poti je bil manjši na vzhodnem delu, ki je v pretežni lasti Mestne občine Ljubljana, v primerjavi s severnim delom, kjer prevladuje zasebna oblika lastništva. Iz tega bi lahko sklepali, da več strokovno umeščenih in urejenih poti pomeni hkrati manjšo potrebo po iskanju bližnjic in izogibalnic – neformalnih poti. To drži le do neke mere, kar bo pojasnjeno v nadaljevanju.

Pri popisu najožjih stez je včasih težko ločiti med tistimi, ki jih uporabljajo zgolj prostoživeče živali, in tistimi, ki jih uporabljajo (tudi) obiskovalci (Marion in sod. 2006), zato lahko subjektivna ocena popisovalca vpliva na končno mrežo popisanih stez. Za območje urbanega gozda, ki je bilo predmet raziskave, so značilne tudi ozke steze, ki tečejo po mejah parcel, kar pa ni bilo posebej obravnavano.

Popis je bil del doktorske raziskave (Verlič 2015), kjer je bilo z anketo na priložnostnem vzorcu ugotovljeno, da večini študentov in upokojujencev ustrezajo ravno steze. Svoje preference so nekateri pojasnili s tem, da jim tak tip poti omogoča bolj intimno doživetje gozda, da je hoja po njih mehkejša in da se jim ni treba ozirati na morebitne avtomobile. Glede na tip vzorca ni možno sklepati na preference populacije uporabnikov območja, a je podatek dovolj za premislek o čezmernem širjenju mreže urejenih, širših poti, ki obiskovalcem nudijo drugačno doživljajsko izkušnjo.

Dolžnost upravljavcev zavarovanega območja je ohraniti njegove ekološke lastnosti in zato iskati kompromisne rešitve. Vpogled v dejansko mrežo in stanje formalnih in neformalnih poti je lahko osnova načrtovalskih ukrepov za ohranjanje habitatov ogroženih živalskih in rastlinskih vrst, varovanje gozdnih tal na občutljivih nklonih ali ohranjanje naravne zgradbe gozda, kjer je prisotna potencialna vegetacija (Hladnik in Pirnat 2011). Vsi ti tipi območij so lahko izločeni kot jedrne cone, kjer je hoja izven urejenih poti najstrožje prepovedana in ki se jih lahko prepusti tudi naravnemu razvoju, razen intervencij, potrebnih za ohranjanje zdravja rastlinskih in živalskih vrst na preostalem območju gozda. Jedrne cone opredeljujemo kot območje v določeni globini od roba gozda oziroma rekreacijske poti in vplivajo na t. i. robni učinek. Ta učinkuje kot posledica kombinacije biotskih in abiotskih dejavnikov, ki spreminjajo okoljske razmere na robu v primerjavi z notranjostjo gozdne zaplate (Hansen in DiCasteri 1992). Jedrne cone so veliko boljši napovedovalec kakovosti habitata kot samo površina gozda (Temple 1986). Iz tega razloga je pomembno spremljati t. i. ugodno stanje jedrnih con, tako z vidika izgube in fragmentacije, kot tudi vpliva motenj zaradi intenzivne rekreacije. Na manj občutljivih območjih pa lahko mreža neformalnih poti in informacije o lokacijah znotraj gozda, ki so za obiskovalce privlačni, služijo za dinamično upravljanje stez in poti. To pomeni, da lahko upravljavec sproti odpira in zapira steze in poti glede na njihovo stanje (na primer, če je potrebna sanacija poti zaradi posledic prevelike uporabe), v primeru sečnje ob poteh, občutljivega časa za zavarovane vrste idr. Na tak način je lahko območje razdeljeno na tri cone: (1) cona območij brez rekreacijske rabe, (2) cona dinamičnega upravljanja mreže stez in (3) cona upravljanja s koridorji ob formalni rekreacijski infrastrukturi.

Povzetek

Rezultati popisa mreže poti kažejo na možno veliko dodatno obremenitev gozdnega ekosistema znotraj dela krajinskega parka Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib zaradi razvejane mreže neformalnih poti oziroma stez.

Predvsem neformalne steze kažejo po eni strani izražene potrebe obiskovalcev, po drugi strani pa neupoštevanje prepovedi hoje izven urejenih poti.

Posledica je širjenje okoljskih vplivov rekreacije v ob-

močja parka, na katerih rekreacija ni predvidena. To so lahko območja, pomembna za ohranitev rastlinskih in živalskih vrst, območja tal, ki so bolj občutljiva za erozijo, ali območja zasebnih gozdov – kjer lahko kljub zakonsko določenemu prostemu dostopu v gozd (Zakon o gozdovih, 1993) zaradi velike intenzivnosti obiska in različnih oblik rekreacije prihaja do konflikta med lastniki, obiskovalci in upravljavci.

Metoda popisa (inventure) vseh poti in njihovega stanja je lahko dobra osnova za upravljavce za načrtovanje ukrepov in kontinuirano spremljanje stanja okoljskih vplivov rekreacije. Ponuja možnost natančne opredelitve con glede na režim upravljanja. Na tak način je lahko območje razdeljeno na tri jedrne cone: (1) cona območij brez rekreacijske rabe, (2) cona dinamičnega upravljanja mreže stez in (3) cona upravljanja s koridorji ob formalni rekreacijski infrastrukturi.

V kombinaciji z dopolnilnimi spremljanji, na primer obiska, preferenc oziroma percepcije obiskovalcev, stanja gozda in posameznih dreves, lahko upravljavci učinkovito načrtujejo in izvajajo ukrepe, ki so potrebni za trajnostno upravljanje urbanih gozdov za ohranjanje narave na eni strani ter kakovostno in varno rekreacijo za obiskovalce na drugi strani.

Summary

The trail and path network suggest a possible significant additional impact on the forest ecosystem within the regional park Tivoli, Rožnik and Šišenski hrib due to the extensive network of informal trails and paths. In particular, informal paths show the expressed needs of visitors on the one hand and failure to comply with the prohibition of off-road walking on the other hand.

The result is a proliferation of environmental impacts of recreation in the area of the park not provided for recreation. These may be areas important for the conservation of flora and fauna, areas that are more susceptible to soil erosion or areas of private forests - where despite the legally designated free access to the forest (Zakon o gozdovih, 1993) there could still be a conflict between owners, visitors and managers due to the high intensity of the visit and the various forms of recreation.

Method of inventory of all trails and paths and their status can be a good information for managers planning measures and continuous monitoring of the environmental impacts of recreation. It offers the possibility of a precise definition of zones in relation to the management regime. In this way, the area can be divided into three core zones: (1) areas without recreational use, (2) zone of the dynamic management of path network and (3) corridors of the formal recreational infrastructure.

In combination with complementary monitoring of visitors, preferences and perceptions of visitors, the state of forest and individual trees, managers can effectively plan and implement the measures that are needed for the sustainable management of urban forests for nature conservation on the one hand, and quality and safe recreation for visitors on the other hand.

Zahvala

Zahvaljujeva se podjetju Tisa d. o. o., ki je omogočilo in sofinanciralo delo in študij v okviru projekta Mladi raziskovalec iz gospodarstva – generacija 2010. Operacijo je delno financirala Evropska unija, in sicer iz Evropskega socialnega sklada. Mestna občina Ljubljana je omogočila uporabo lidarskih podatkov, ki so bili uporabljeni pri raziskavi. Zahvaljujeva se sodelavcem Gozdarskega inštituta Slovenije, ki so pomagali pri terenskem popisu poti. Zahvaljujeva se recenzentoma za korekten pregled in koristne komentarje.

Viri

- Amrein D., Rusterholz H. P., Baur B. 2005. Disturbance of suburban *Fagus* forests by recreational activities: effects on soil characteristics, above-ground vegetation and seed bank. *Applied Vegetation Science*, 8, 2: 175-182
- Anko B. 1993. Drevo, gozd in človek v mestnem okolju. V: Mestni in primestni gozd - naša skupna dobrina: zbornik republiškega posvetovanja v okviru tedna gozdov, Ljubljana, 27. maj 1993. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva Slovenije, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo
- Amberger A. 2006. Recreation use of urban forests: an inter-area comparison. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4, 3: 135-144
- Amberger A., Aikoh T., Eder R., Shoji Y., Mieno T. 2010. How many people should be in the urban forest? A comparison of trail preferences of Vienna and Sapporo forest visitor segments. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9, 3: 215-225
- Amberger A., Eder R. 2011. The influence of age on recreational trail preferences of urban green-space visitors: a discrete choice experiment with digitally calibrated images. *Journal of Environmental Planning and Management*, 54, 7: 891-908
- Amberger A., Haider W. 2007. A comparison of global and actual measures of perceived crowding of urban forest visitors. *Journal of Leisure Research*, 39, 4: 668-685
- Cahill K. L., Marion J. L., Lawson S. R. 2008. Exploring visitor acceptability for hardening trails to sustain visitation and minimise impacts. *Journal of Sustainable Tourism*, 16, 2: 232-245
- Cole D. N. 1986. Resource impacts caused by recreation. V: A literature review: the president's commission on Americans outdoors. Cole D. N. (ur.). (A literature review: the president's commission on Americans outdoors, Washington, Systems for Environmental Management: 1-12
- Cole D. N., Landres P. B. 1995. Indirect effects of recreation on wildlife. *Wildlife and recreationists. Coexistence through management and research*, 183-202
- De Groot R. S., Wilson M. A., Boumans R. M. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 3: 393-408
- Donnelly M. P., Vaske J. J., Whittaker D., Shelby B. 2000. Toward an understanding of norm prevalence: a comparative analysis of 20 years of research. *Environ Manage*, 25, 4: 403-414
- Dorwart C. E., Moore R. L., Leung Y.-F. 2009. Visitors' perceptions of a trail environment and effects on experiences: a model for nature-based recreation experiences. *Leisure Sciences*, 32, 1: 33-54
- EUROSTAT. 2013. Population projections. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/NavTree_prod/NodeInfoServices?lang=en&nodeld=223456 (8. 10. 2013)
- Godbey G. 2009. Outdoor recreation, health, and wellness: Understanding and Enhancing the Relationship. (ur.) Washington, Resources for the future: 46 str.
- Golob N. 2006. Vloga doživljajsko izkustvenega učenja pri doseganju naravoslovnih ciljev okoljske vzgoje na razredni stopnji: doktorska disertacija: (Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo). Ljubljana: 297 str.
- Hansen A. J., DiCasteri F. 1992. Landscape Boundaries: Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows. (*Ecological Studies*, 92). Hansen A. J. in sod. (ur.) 452 str.
- Hartig T., Mang M., Evans G. W. 1991. Restorative effects of natural environment experiences. *Environment and Behavior*, 23, 1: 3-26
- Heywood J. L., Murdock W. E. 2002. Social norms in outdoor recreation: searching for the behavior-condition link. *Leisure Sciences*, 24, 3-4: 283-295
- Hladnik D., Pirnat J. 2011. Urban forestry - linking naturalness and amenity: the case of Ljubljana, Slovenia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10, 2: 105-112
- Kaplan R., Kaplan S. 1989. The experience of nature: A psychological perspective. (ur.) ZDA, CUP Archive: 340 str.
- Karjalainen E., Tyrväinen L. 2002. Visualization in forest landscape preference research: a Finnish perspective. *Landscape and Urban Planning*, 59, 1: 13-28
- Kissling M., Hegetschweiler K. T., Rusterholz H.-P., Baur B. 2009. Short-term and long-term effects of human trampling on above-ground vegetation, soil density, soil organic matter and soil microbial processes in suburban beech forests. *Applied soil ecology*, 42, 3: 303-314
- Korošec B. 1991. Ljubljana skozi stoletja: mesto na načrtih, projektih in v stvarnosti. Ljubljana, Založba Mladinska knjiga: 235 str.
- Kovač M., Skudnik M., Japelj A., Planinšek Š., Vochl S. in sod. 2014. Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov: priročnik za terensko snemanje podatkov. Kovač M. (ur.) Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana, Založba Silva Slovenica: 228 str.
- Lesnik T., Žonta I., Pirnat J. 1993. Opredelitev mestnih in primestnih gozdov na primeru Ljubljane. V: Conference theme. Ljubljana, Slovenia, Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva Slovenije, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo:
- Leung Y.-F., Marion J. L. 1999a. Assessing trail conditions in protected areas: application of a problem-assessment method in Great Smoky Mountains National Park, USA. *Environmental Conservation*, 26, 04: 270-279
- Leung Y.-F., Marion J. L. 1999b. Recreation impacts and management in wilderness: a state-of-knowledge review. V: Conference theme. Missoula, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station:
- Leung Y. F., Newburger T., Jones M., Kuhn B., Woiderski B. 2011. Developing a monitoring protocol for visitor-created informal trails in Yosemite National Park, USA. *Environ Manage*, 47, 1: 93-106
- Little M. 1997. Recreation ecology: the ecological impact of outdoor recreation. (ur.) London, Chapman & Hall: 639 str.
- Lynn N. A., Brown R. D. 2003. Effects of recreational use impacts on hiking experiences in natural areas. *Landscape and Urban Planning*, 64, 1-2: 77-87
- Manning R. 2001. Visitor experience and resource protection: a framework for managing the carrying capacity of National Parks. *Journal of Park & Recreation Administration*, 19, 1: 93-108
- Manning R. E. 2011. Studies in outdoor recreation: search and research for satisfaction. (ur.) Corvallis, Oregon, Oregon State University Press: 448 str.
- Marion J. L., Leung Y.-F., Nepal S. K. 2006. Monitoring trail conditions: new methodological considerations. 2006. (ur.) 14 str.
- Marion J. L., Wimpey J., Park L. 2011. The science of trail surveys: recreation ecology provides new tools for managing wilderness trails. *Park Science*, 28, 3: 60-65
- Merikle P. M., Smilek D., Eastwood J. D. 2001. Perception without awareness: perspectives from cognitive psychology. *Cognition*, 79, 1: 115-134

- Monz C., Cole D., Leung Y.-F., Marion J. 2010. Sustaining visitor use in protected areas: future opportunities in recreation ecology research based on the USA experience. *Environ Manage*, 45, 3: 551-562
- Monz C. A., Marion J. L., Goonan K. A., Manning R. E., Wimpey J. in sod. 2010. Assessment and monitoring of recreation impacts and resource conditions on mountain summits: examples from the Northern Forest, USA. *Mountain Research and Development*, 30, 4: 332-343
- Moore R. L., Leung Y.-F., Matisoff C., Dorwart C., Parker A. 2012. Understanding users' perceptions of trail resource impacts and how they affect experiences: an integrated approach. *Landscape and Urban Planning*, 107, 4: 343-350
- Odlok o razglasitvi gozdov s posebnim namenom v Mestni občini Ljubljana. 2010. Uradni list RS, št. 60/2010
- Odlok o razglasitvi Tivolija, Rožnika in Šišenskega hriba za naravno znamenitost. 1984. Uradni list SRS, št. 21/1984
- Smrekar A. 2011. From environmental awareness in word to environmental awareness in deed: The case of Ljubljana. *Geografski Zbornik/Acta Geographica Slovenica*, 51, 2: 277-292
- Smrekar A., Erhartič B., Hribar Šmid M. 2011. Krajinski park Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib (Landscape park Tivoli, Rožnik, Šišenski hrib). (GEORITEM, Kladnik Drago P. D. (ur.) Ljubljana, Založba ZRC: 134 str.
- Stewart W. P. 1992. Influence of the onsite experience on recreation experience preference judgments. *Journal of Leisure Research*, 24, 2: 185-198
- Taylor A. R., Knight R. L. 2003. Wildlife responses to recreation and associated visitor perceptions. *Ecological Applications*, 13, 4: 951-963
- Temple S. A. 1986. Predicting impacts of habitat fragmentation on forest birds: a comparison of two models. V: *Wildlife 2000: Modeling Habitat Relationships of Terrestrial Vertebrates*. Verner J. in sod. (ur.). (Wildlife 2000: Modeling Habitat Relationships of Terrestrial Vertebrates, Madison, Wisconsin, Univ. of Wisconsin Press: 301-304
- Vaske J. J., Shelby B., Graefe A. R., Heberlein T. A. 1986. Backcountry encounter norms: theory, method and empirical evidence. *Journal of Leisure Research*, 18, 3: 137-153
- Verlič A. 2015. Dejavniki kakovosti in varnosti rekreacije v urbanem gozdu = Factors of quality and safety of recreation in the urban forest: doktorska disertacija = doctoral dissertation. (Univerza v Ljubljani). Ljubljana: 105 str.
- Verlič A., Arnberger A., Japelj A., Simončič P., Pirnat J. 2015. Perceptions of recreational trail impacts on an urban forest walk: a controlled field experiment. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14, 1: 89-98
- Verlič A., Pirnat J. 2010. Recreational role of a part of forests in the Municipality of Ljubljana. *Gozdarski vestnik*, 68, 5/6: 330-339
- Wimpey J. F., Marion J. L. 2010. The influence of use, environmental and managerial factors on the width of recreational trails. *Journal of Environmental Management*, 91, 10: 2028-2037
- Wolf I. D., Hagenloh G., Croft D. B. 2012. Visitor monitoring along roads and hiking trails: How to determine usage levels in tourist sites. *Tourism Management*, 33, 1: 16-28
- Zakon o gozdovih. 1993. Uradni list RS, št. 30/1993

PINOSILVINI KOT DRAGOCENE BIOAKTIVNE SPOJINE V LESU BOROV

Pinosylvins as valuable bioactive compounds in the wood of pines

prof. dr. Primož Oven*, dr. Ida Poljanšek, dr. Viljem Vek

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

Ključne besede: bor, *Pinus*, ekstraktivi, stilbeni, pinosilvin, kromatografija

Keywords: pine, *Pinus*, extractives, stilbenes, pinosylvlin, chromatography

Uvod

Les je hierarhično urejen kompozit, ki ga gradijo spojine z veliko molekulsko maso kot so polisaharidi, celuloza in hemiceluloze ter lignin, ki je spojina fenolnega karakterja. Poleg teh gradnikov celičnih sten se v lesu nahajajo tudi snovi, ki nimajo strukturne vloge. To so praviloma spojine z majhno molekulsko maso, ki jih tradicionalno označujemo z izrazom ekstraktivi. Nekatere ekstraktibilne spojine imajo zelo pomembno funkcijo v primarnem metabolizmu, druge pa so proizvod sekundarnega metabolizma, ki se sproži zaradi starostnih procesov kot je ojedritev ali pa zaradi travmatskih dogodkov, kakršni sta na primer mehanska poškodba in glivna okužba drevesnih tkiv (Smith 2015, Vek in sod. 2014). Zelo pestro skupino sekundarnih metabolitov v lesu in drevesni skorji predstavljajo polifenoli. V lesu listavcev prevladujejo flavonoidi, v lesu iglavcev pa lignani in stilbeni (Willför in sod. 2003a, Willför in sod. 2003b), pri tem pa velja poudariti, da so nekatere spojine značilne samo za posamezen botanični rod. Tako se v lesu borov pojavljajo stilbeni pinosilvin, monometilni eter pinosilvina in priložnostno tudi dimetilni eter pinosilvina (Lindstedt 1951). Pinosilvin in njegovi derivati imajo zelo podobno molekulsko strukturo kot resveratrol, ki je bioaktivna spojina s širokim spektrom farmakoloških lastnosti, kot so antioksidativno in protivnetno delovanje, zaviranje rasti rakastih celic, zniževanje ravni holesterola in izboljšana občutljivost na inzulin (Rimando in Suh 2008). Ker se resveratrol nahaja v grozdnih jagodah, je prisoten v rdečem vinu, komercialno pa ga pridobivajo tudi iz japonskega dresnika. Preliminarne raziskave lastnosti pinosilvina in njegovih derivatov so razkrile, da bi utegnili tudi ti stilbeni posedovati podobne lastnosti kot resveratrol (Park in sod. 2012, Jancinova in sod. 2010). V okviru mednarodnega raziskovalnega projekta »Pinosylvins as novel bioactive agents for food application« (Koordinacija: University of Eastern Finland. Partnerji: Univerza v Ljubljani, Åbo Akademi University, University of Vigo, Latvian State Institut of Wood Chemistry) so potekale obširne razi-

skave, ki so bile usmerjene v analizo vsebnosti pinosilvinov v lesu borov, optimizacijo ekstrakcijskih in izolacijskih metod ter proučevanje bioaktivnosti izoliranih spojin in ekstraktov. Namen pričujočega prispevka je prikazati del rezultatov o izkoristku različnih ekstrakcijskih topil ter vsebnosti pinosilvinov v različnih tkivih debela rdečega (*Pinus sylvestris* L.) in črnega bora (*Pinus nigra* Arnold).

Material in metode

Pričujoča analiza pinosilvinov je zasnovana na treh drevesih rdečega bora, ki smo jih novembra 2011 posekali na Brdu pri Kranju, na nadmorski višini 470 m. Drevesa smo razžagali in odvzeli vzorce beljave, jedrovine ter baze mrtvih in živih vej, ki jih bomo v nadaljevanju imenovali mrtve in žive grče. Vzorce debelnih tkiv in grč bora smo posušili (40 °C, 48 ur) ter zmleli z drobilnikom Retsch SM 2000 ob uporabi suhega ledu (CO₂), pred ekstrakcijo pa smo zmlete vzorce liofilizacijsko posušili pri - 82 °C in 0,040 mbar. Za Soxhlet ekstrakcijo smo uporabili 2,5 g suhega lesa in ga ekstrahirali z 250 mL topila. Vzorce smo najprej ekstrahirali 4 h s cikloheksanom pri 110 °C, s čimer smo iz lesa odstranili lipofilne ekstraktive. Hidrofilne ekstraktive pa smo iz vzorcev grč ter debelnih tkiv ekstrahirali z mešanico acetona in vode (95:5, v/v) pri 110 °C in 4 h. Po končani ekstrakciji smo pridobljene ekstrakte ustrezno shranili v temne stekleničke ter odvzeli 10 mL ekstrakta za gravimetrično določitev celokupnih lipofilnih oziroma hidrofilnih ekstraktivov.

Kvalitativno in kvantitativno vrednotenje ekstraktov smo izvedli s tekočinsko kromatografijo visoke ločljivosti (Accela, modularni HPLC sistem, Thermo scientific). Iz ekstraktov smo odparili topilo in suhi ostanek redčili z metanolom. Tako pripravljene vzorce smo prefiltrirali v 1,5 mL temne viala ter filtrate nato direktno injicirali na zanko HPLC sistema. Ločba ekstraktivov je potekala na pentafluorofenilni koloni PFP, ki je bila polnjena z 2,6 µm »solid core« delci (Thermo Accucore). Kromatografska kolona in avtomatski vzorčevalnik sta bila termostatirana na 30 °C oziroma 4 °C. Za

*primoz.oven@bf.uni-lj.si

mobilno fazo smo uporabili vodo in metanol (»HPLC grade«) ob dodatku mravljinčne kisline. Ločbo spojin smo zagotovili z 10 min gradientom (od 5 % do 95 % MeOH) in pretokom 400 μ L/min, detekcija pa je potekala s PDA detektorjem pri 275 nm in merjenjem UV spektrov (od 200 nm do 400 nm). Kvalitativno analizo smo izvedli na osnovi primerjave retencijskih časov in UV spektrov ločenih spojin s kromatografskimi standardi pinosilvin ($\geq 97,0$ %, HPLC) in pinosilvin monometilni eter ($\geq 97,0$ %, HPLC) (Sigma-Aldrich, Co.). Za vse uporabljene standarde smo določili koncentracijsko območje, v katerem je kromatografska metoda linearna.

Rezultati in razprava

Gravimetrična analiza vsebnosti lipofilnih in vsebnosti hidrofilnih ekstraktivov v lesu rdečega bora kaže, da je vsebnost lipofilnih ekstraktivov tudi do trikrat večja od vsebnosti hidrofilne frakcije spojin (Slika 1). V proučevanih drevesih rdečega bora je bila vsebnost lipofilnih ekstraktivov največja v mrtvih in živih grčah. V jedrovini je bilo lipofilnih ekstraktivov sicer več kot v beljavi, vendar do trikrat manj kot v grčah. Tudi vsebnost hidrofilnih ekstraktivov je bila največja v grčah, v jedrovini in beljavi pa se ni bistveno razlikovala.

Kromatografska analiza ekstraktov, ki smo jih pridobili z manj polarnim cikloheksanom in bolj polarnim acetonom je razkrila, da je bila ekstrakcijska učinkovitost teh dveh topil različna za dva proučevana stilbena, pinosilvin (PS) in monometilni eter pinosilvina (PSMME). Kromatograma lipofilne in hidrofilne frakcije ekstraktov sta prikazana na slikah 2 in 3. Kromatogram cikloheksanskega ekstrakta (Slika 2) izkazuje očiten vrh, ki smo ga s pomočjo eksterne standarda in spektralne analize identificirali kot PSMME. V cikloheksanskem ekstraktu smo detektirali zelo majhne količine PS, ki pa se je v sistemu uporabljene mobilne faze eluiral pred PSMME (Slika 2). Izrazit vrh, ki sledi PSMME, pripada neidentificirani spojini.

HPLC kromatogram acetonskega ekstrakta mrtve grče (Slika 3) se bistveno razlikuje od kromatograma cikloheksanskega ekstrakta tega tkiva (Slika 2). S pomočjo eksternih standardov smo v acetonskem ekstraktu identificirali tri spojine, lignan notraheogenin (NTG), pinosilvin (PS) in pinosilvin monometilni eter (PSMME). S kromatografskim sistemom, ki smo ga uporabili v naši raziskavi, se je najprej eluiral najbolj polaren NTG, kot zadnji pa PSMME, ki ima delno nepolarni karakter. Prav zato je mogoče PSMME ekstrahirati v nepolarnem cikloheksanu kot tudi v bolj polarnem sistemu aceton/voda (Slika 3). PS je bolj polaren, zato se ga s cikloheksanom praviloma ekstrahira zelo malo (Slika 2).

S cikloheksanom smo uspeli predvsem iz grč ekstrahirati od 16 mg do skoraj 21 mg PSMME na gram suhega lesa, medtem ko je bilo detektiranega PS v

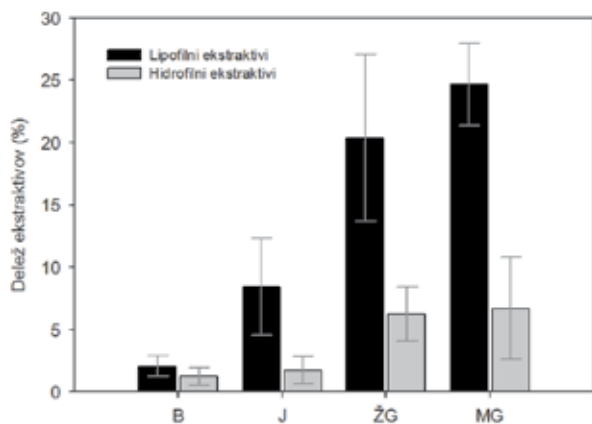
cikloheksanskem ekstraktu zelo malo (od 0,1 do 0,14 mg/g suhega lesa) (Slika 4). Največ PSMME smo s cikloheksanom ekstrahirali in s HPLC detektirali v živih grčah, najmanjše količine PSMME pa smo zabeležili v beljavi. V nasprotju s pričakovani smo v lipofilni ekstrakcijski frakciji jedrovine detektirali relativno malo PSMME (Slika 4).

Pri nadaljnji ekstrakciji istih vzorcev še z acetonom smo pridobili oba ciljna stilbena, PS in PSMME (Slika 5). Primerjava detektiranih količin kaže, da je bil aceton bolj učinkovit kot cikloheksan tako pri ekstrakciji PSMME kot tudi pri ekstrakciji PS (Slika 4 in 5). Tudi v hidrofilni ekstrakcijski frakciji smo največ PSMME detektirali v grčah, sledi jedrovina in nato beljava. Največ pinosilvina (PS) smo detektirali v acetonskem ekstraktu živih grč (7,8 mg/g), nekoliko manj v mrtvih grčah in jedrovini, v ekstraktu beljave pa smo zabeležili bistveno manj PS (0,6 mg/g) kot v ostalih tkivih (Slika 5).

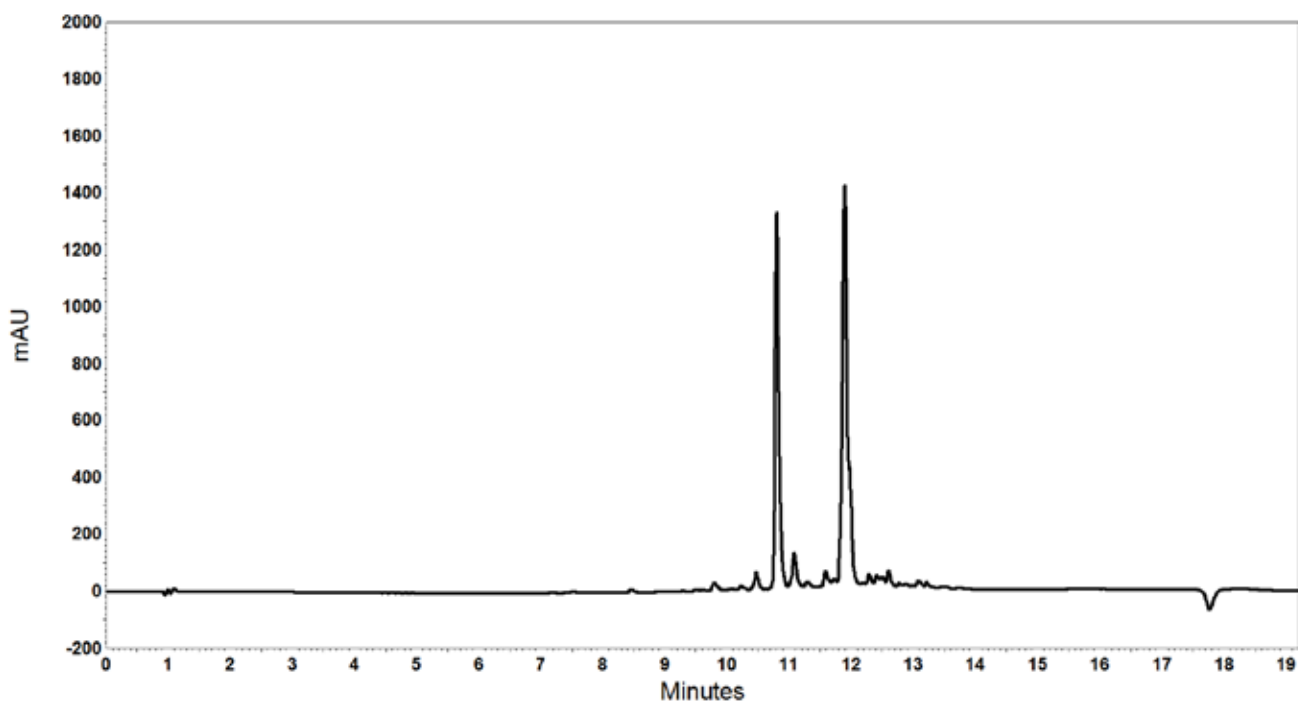
Naši rezultati kažejo, da je aceton primerno topilo za pridobivanje pinosilvina, če je ciljna spojina monometilni eter pinosilvina, pa je smiselno uporabiti zaporedno ekstrakcijo z obema topiloma, cikloheksanom in acetonom. Seveda omenjeni topili nista edina možna izbira za ekstrakcijo stilbenov. Kot primerno ekstrakcijsko topilo se je izkazala tudi vodna raztopina etanola, za ekstrakcijo PS pa tudi voda (Fang in sod. 2013). Naše ugotovitve potrjujejo izsledke o znatnih vsebnostih ekstraktivov v grčah listavcev in iglavcev (Willför in sod. 2004a, Willför in sod. 2004b), ki v predelavi lesa običajno predstavljajo nezaželeno tehnološko napako. V študiji o bioloških aktivnostih obeh stilbenov je dokazano, da je predvsem PS izredno učinkovit pri zaviranju rasti gram pozitivnih in gram negativnih bakterij (Plumed-Ferrer in sod. 2013), naše študije pa dokazujejo njegovo učinkovitost tudi pri zaviranju rasti gliv razkrojevalk lesa (neobjavljeno). Les borov je kakovosten vir pinosilvina, spojina pa ima velik potencial predvsem zaradi antibakterijskih in fungicidnih lastnosti.

Zahvala

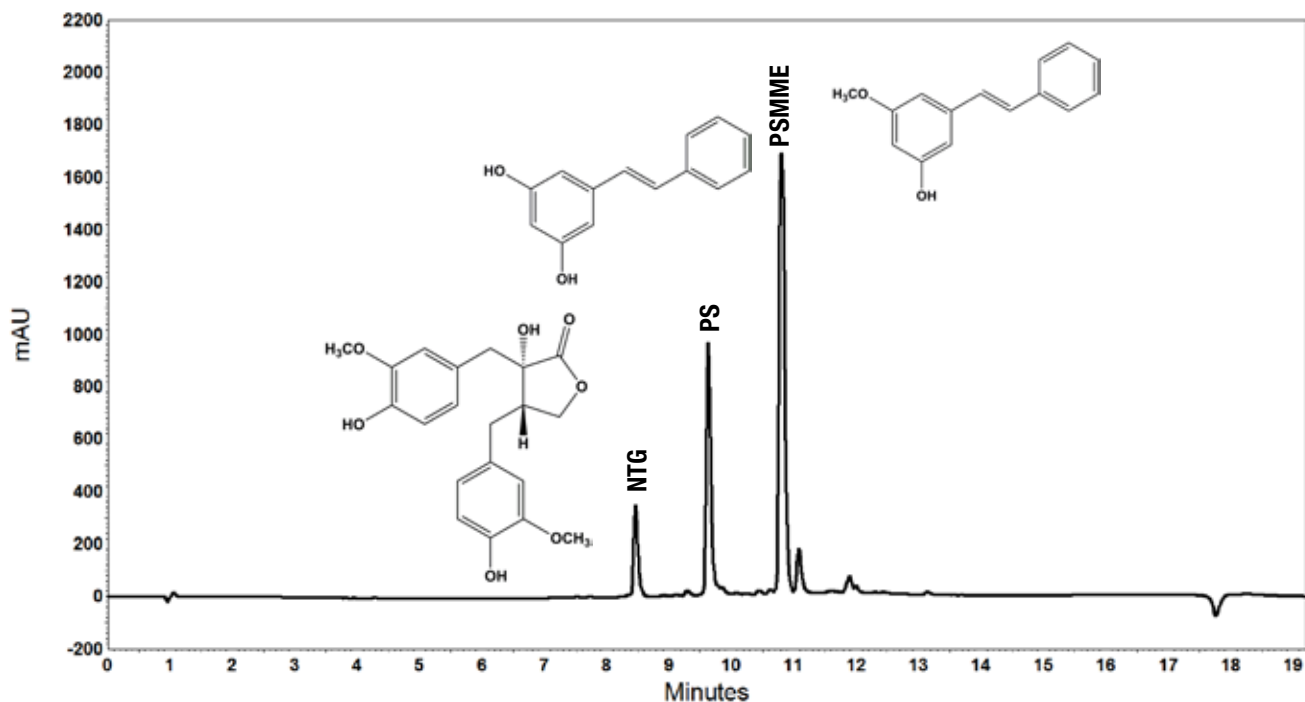
Raziskava je nastala v okviru mednarodnega projekta »Pinobio- Pinosilvins as novel bioactive agents for food application«, ki je potekal v okviru iniciative WoodWisdom Era-Net 2 v okviru 7. OP EU. Slovenski del projekta je financiralo Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport Republike Slovenije. Ob tej priložnosti se zahvaljujemo Kim Turk Križanec za pomoč pri vodenju in usmerjanju administrativnega dela projekta. Za tehnično pomoč pri organizaciji dela na terenu in poseku dreves se zahvaljujemo Protokolarnemu objektu Brdo pri Kranju in vodji tehnične službe mag. Franciju Jagodicu, takratnemu direktorju Zavoda za gozdove Slovenije Joštu Jakši in Janezu Logarju kot vodji Območne enote Kranj.



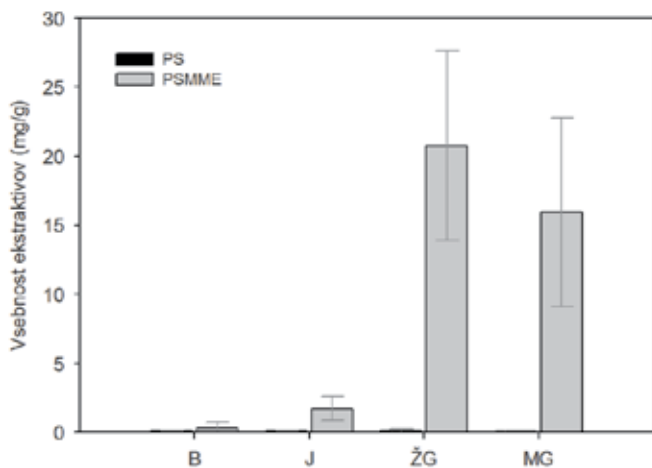
Slika 1: Vsebnost lipofilnih in hidrofilnih ekstraktivov v beljavi (B), jedrovini (J) ter mrtvih (MG) in živih (ŽG) grčah rdečega bora



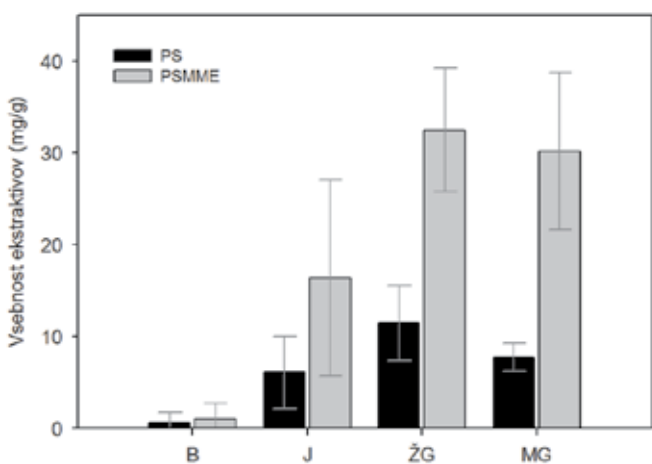
Slika 2: HPLC kromatogram cikloheksanskega ekstrakta mrtve grče rdečega bora



Slika 3: HPLC kromatogram acetonskega ekstrakta mrtve grče rdečega bora



Slika 4: Vsebnost pinosilvina (PS) in monometilnega etra pinosilvina (PSMME) v cikloheksanskem (Cy) ekstraktu beljave (B), jedrovine (J) ter mrtvih (MG) in živih (ŽG) grčah rdečega bora



Slika 5: Vsebnost pinosilvina (PS) in monometilnega etra pinosilvina (PSMME) v acetonskem ekstraktu beljave (B), jedrovine (J) ter mrtvih (MG) in živih (ŽG) grčah rdečega bora

M., von Wright A. 2013. The antimicrobial effects of wood-associated polyphenols on food pathogens and spoilage organisms. *International Journal of Food Microbiology*, 164, 1: 99-107

- Rimando A.M., Suh N. 2008. Biological/Chemopreventive Activity of Stilbenes and their Effect on Colon Cancer. *Planta Med.*, 74, 13: 1635-1643
- Smith K. 2015. Compartmentalization, Resource Allocation, and Wood Quality. *Curr Forestry Rep*, 1, 1: 8-15
- Vek V., Oven P., Ters T., Poljanšek I., Hinterstoisser B. 2014. Extractives of mechanically wounded wood and knots in beech. *Holzforchung*, 68, 5: 529-539
- Willför S., Hemming J., Reunanen M., Holmbom B. 2003a. Phenolic and lipophilic extractives in Scots pine knots and stemwood. *Holzforchung*, 57, 4: 359-372
- Willför S., Hemming J., Reunanen M., Eckerman C., Holmbom B. 2003b. Lignans and lipophilic extractives in Norway spruce knots and stemwood. *Holzforchung*, 57, 1: 27-36
- Willför S., Nisula L., Hemming J., Reunanen M., Holmbom B. 2004a. Bioactive phenolic substances in industrially important tree species. Part 2: Knots and stemwood of fir species. *Holzforchung*, 58, 6: 650-659
- Willför S., Reunanen M., Eklund P., Sjöholm R., Kronberg L., Fardim P., Pietarinen S., Holmbom B. 2004b. Oligolignans in Norway spruce and Scots pine knots and Norway spruce stemwood. *Holzforchung*, 58, 4: 345-354

Viri

- Fang W.W., Hemming J., Reunanen M., Eklund P., Pineiro E.C., Poljanšek I., Oven P., Willfor S. 2013. Evaluation of selective extraction methods for recovery of polyphenols from pine. *Holzforchung*, 67, 8: 843-851
- Jancinova V., Nosal R., Lojek A., Ciz M., Ambrozova G., Mihalova D., Bauerova K., Harmatha J., Perecko T. 2010. Formation of reactive oxygen and nitrogen species in the presence of pinosylvin - an analogue of resveratrol. *Neuroendocrinology Letters*, 31: 79-83
- Lindstedt G. 1951. Constituents of pine heartwood XXVI. A general discussion. *Acta Chemica Scandinavica*, 5: 129-138
- Park E.J., Park H.J., Chung H.J., Shin Y., Min H.Y., Hong J.Y., Kang Y.J., Ahn Y.H., Pyee J.H., Lee S.K. 2012. Antimetastatic activity of pinosylvin, a natural stilbenoid, is associated with the suppression of matrix metalloproteinases. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 23, 8: 946-952
- Plumed-Ferrer C., Vakevainen K., Komulainen H., Rautiainen M., Smeds A., Raitanen J.E., Eklund P., Willfor S., Alakomi H.L., Saarela

UPORABA LASERSKEGA SKENIRANJA ZA DETEKCIJO VRTAČ V GOZDNI KRAJINI IN NJIHOV VPLIV NA RAZNOLIKOST PRITALNE VEGETACIJE TER ZGRADBO GOZDOV

On the use of airborne laser scanning for the detection of sinkholes in the forest landscape and their impact on the diversity of the understory vegetation and forest structure

dr. Milan Kobal*

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

Ključne besede: geomorfologija, lidar, pritalna vegetacija, zgradba gozdov

Keywords: geomorphology, ALS, understory vegetation, forest structure

Uvod

Značilnost dinarskega krasa so tudi vrtače (Mihevc s sod. 2010), ki predstavljajo reliefne oblike, vbočene v smeri vseh azimutov in pomenijo primanjkljaj mase na površju. Že zgodnje morfometrične analize so pokazale, da med vrtačami obstajajo velike razlike, v glavnem odvisne od razvoja krasa in geneze vrtač (Basso s sod. 2013).

Morfometrične analize vrtač temeljijo na podatkih topografskih kart (npr. Gutiérrez-Santolalla s sod. 2005), digitalni model reliefa DMR pa se je kot osnova za izločanje in analizo vrtač pojavil pred kratkim (npr. Ortar 2011). Večinoma so takšni DMR izdelani z uporabo fotogrametričnih metod, slabost takšnega DMR pa je njegova pomanjkljiva točnost in premajhna ločljivost, zlasti v območjih gozdov. Zaradi tega so (bile) dovolj točne le drage in zamudne terenske meritve, na katerih je bila pozneje izvedena morfometrična analiza vrtač.

Zlasti v gozdovih vrtače predstavljajo poseben habitatni tip in pomembno vplivajo na lokalno biotsko raznovrstnost (Bátori s sod. 2011). Zaradi značilne mikroklimatske vrtač (važnejše in hladnejše razmere na dnu vrtač) se lokalno spremeni rastlinska vrstna sestava (Özkan s sod. 2010; Surina 2014). Posledično lahko vrtače delujejo kot refugiji za gorske rastlinske vrste (Bátori s sod. 2012). V skrajno spremenjenih mikroklimatskih razmerah pa lahko v vrtačah pride do rastlinskega obrata (Martinčič 1977). Poleg vegetacije se na območju vrtač znatno razlikujejo tudi talne raz-

mere, zlasti globina tal, izraženost talnih horizontov in vsebnost organske snovi (Kobal 2011). Prav tako se med vrtačami in ostalim delom površja razlikuje tudi zgradba gozdov in rast drevja (Kobal s sod. 2014).

Metode Dela

Lasersko skeniranje

Podatki laserskega skeniranja Snežnika (površina 5.212,2 ha, podatki ponudnika: Eurocopter EC 120B, skener Riegl LM5600, horizontalna natančnost 10 cm, vertikalna natančnost 3 cm, odtis žarka 30 cm) izhajajo iz oktobra 2009. Gostota točk je 30 točk/m². Za klasifikacijo točk na talne in ostale smo uporabili algoritem, ki ga je razvil Axelsson (2000). Na ta način smo uspešno odstranili ne-talne točke, ne da bi pri tem izgubili topografske podrobnosti reliefa. Iz točk reliefa smo izdelali DMR z osnovno velikostjo celice 1 × 1 m.

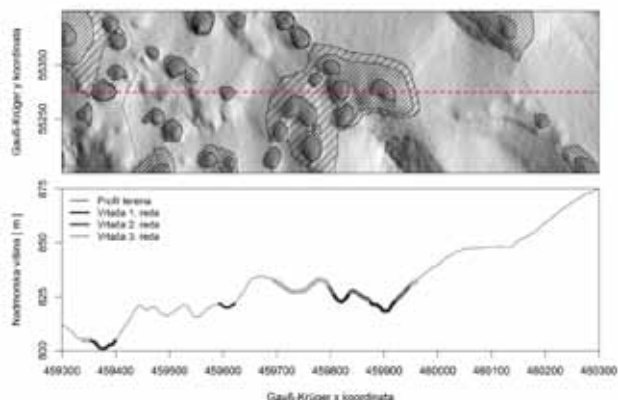
Izločanje vrtač

Vrtače smo izločili z uporabo dveh algoritmov; prvi temelji na simulaciji toka vode na površini, drugi pa na topografskem indeksu površja TIP. S prvim pristopom lahko razmejimo le vrtače, drugi pristop pa omogoča zvezno prostorsko razmejevanje večjega števila reliefnih oblik. V našem primeru smo se odločili za tri: (i) grebeni, (ii) pobočja in (iii) vrtače.

*milan.kobal@bf.uni-lj.si

Simulacija toka vode na površini in razmejevanje vrtač

Algoritem sta v Sloveniji opisala Obu in Podobnikar (2013) v tujini Doctor in Young (2013). Vključuje štiri korake: (i) računanje porečij vrtač, (ii) omejevanje vrtač, (iii) omejevanje vrtač višjega reda ter (iv) izločanje nekraških vrtač. Porečja vrtač pomenijo zaledje za zlivanje vode v dna (zlivno območje), računanje pa temelji na sloju dna kotanj in na sloju smeri odtoka, kjer ima vsaka celica podatek, v katero sosednjo celico se steka. Vrtače se nato omeji z višino iztoka, ki jo definira višina najnižje robne celice vrtače – kot vrtača so določene tiste celice porečja, ki imajo nižjo ali enako nadmorsko višino, kot je nadmorska višina iztoka. Pogosto se zgodi, da se manjše vrtače (nižjega reda) pojavljajo znotraj večjih vrtač (višjega reda), zato je potrebno tudi za vrtače višjega izračunati dna in porečja. To storimo tako, da že identificirane vrtače na DMR navidezno zapolnimo z vodo in ponovimo postopek omejevanja vrtač. Kot vrtače smo v naši raziskavi obravnavali le tiste, ki imajo premer večji od 10 metrov in globino večjo od 2 metra (Habič 1986). Primer izločanja je prikazan na sliki 1.



Slika 1: Izsek iz DMR z vrisanimi redovi vrtač. Rdeča črta prikazuje mesto vzdolžnega profila, ki je prikazan na spodnji sliki. Označeni so redovi vrtač

Izračun lastnosti vrtač

Sloj vrtač smo najprej iz rastrske oblike pretvorili v vektorske poligone in zanje izračunali osnovne značilnosti: (i) širino, (ii) dolžino, (iii) površino ter (iv) globino. Dodatno smo izračunali še podolgovatost vrtač (razmerje med dolžino in širino) ter simetričnost (razmerje med površino vrtače ter površino kroga z enakim obsegom).

Topografski indeks površja in razmejevanje reliefnih oblik

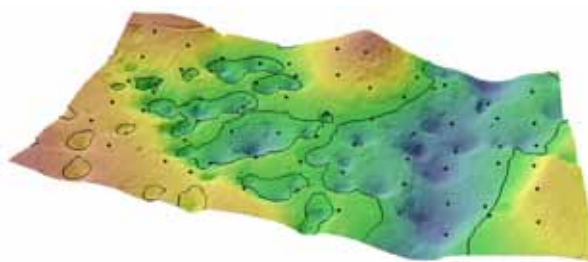
V prvem koraku smo izračunali TIP, kjer za vsako celico v DMR izračunamo razliko v nadmorski višini opazovane celice in povprečno višino sosednjih celic znotraj lokalnega okna. Ko je povprečna nadmorska višina sosednjih celic višja, potem je vrednost TIP negativna ($TIP < 0$), ko so nadmorske višine sosednjih

celic in opazovane celice podobne, je vrednost TIP okoli 0 ($TIP \approx 0$). Ko je povprečna nadmorska višina sosednjih celic nižja, je vrednost TIP pozitivna ($TIP > 0$). V drugem koraku izračunamo standardni odklon nadmorske višine znotraj plavajočega lokalnega okna in določimo tri možne reliefne oblike. Velikost okna smo določili pri najvišji razliki med višinskimi krivuljami za jelko med tremi reliefnimi oblikami; ta znaša 113 m. Kriteriji za klasifikacijo so naslednji (Weiss 2001):

- GREBEN: $TIP > 0.5 \times SD$
- POBOČJE: $-0.5 \times SD < TIP < 0.5 \times SD$
- VRTAČA: $TIP \leq -0.5 \times SD$

Terenski zajem, priprava in analiza podatkov Popis vegetacije

Na raziskovalnem objektu (oddelek 34, GGE Leskova dolina, *Omphalodo-Fagetum*) smo na vzorčni mreži (50 x 50 m, 65 ploskev, površina 200 m²) popisali vegetacijo (grmovno, zeliščno in mahovno plast). Poleg primerjave števila vrst smo izračunali še Shannonov in Simpsonov indeks vrstne pestrosti. 3D pogled na raziskovani objekt je prikazan na sliki 2.



Slika 2: 3D pogled na raziskovalni objekt z vrisanimi lokacijami raziskovalnih ploskev in najvišjim redom vrtač

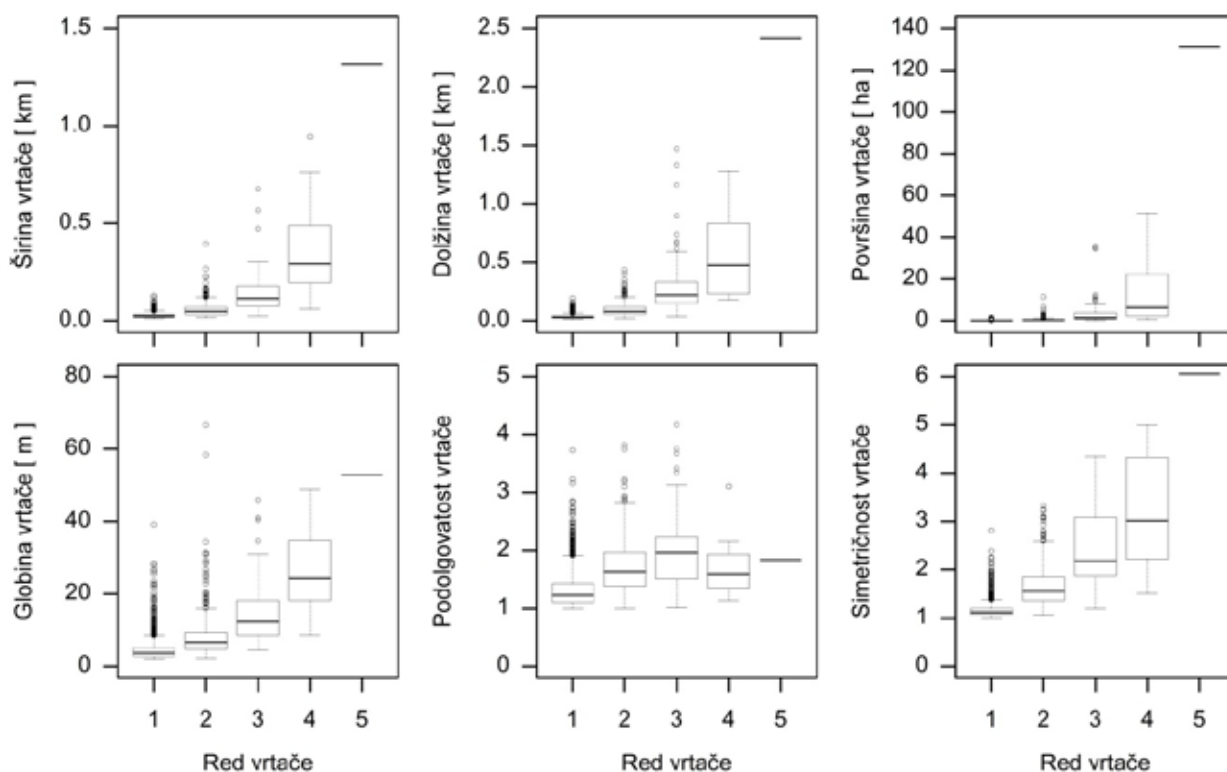
Izračun števila dreves, lesne zaloge in zgornje višine na ploskvi

Na istih ploskvah, ampak velikosti 500 m², smo zmerili (drevesna vrsta ter prsni premer – DBH) vsa merska drevesa ($DBH \geq 10$ cm). Volumen dreves smo izračunali z uporabo prirejenih dvovhodnih deblovnic (Puhek 2003). Zgornjo višino za jelko smo izračunali kot aritmetično sredino jelk izmed petih najdebelejših dreves na ploskvi (Zingg 1994).

REZULTATI IN RAZPRAVA

Lastnosti vrtač

Kljub temu, da analizirano območje predstavlja le manjši del celotnega območja Dinaridov, lahko na podlagi analize zaznanih in analiziranih 2660 vrtač potrdimo številne razlike glede oblike in velikosti vrtač. Večina vrtač (2095) je prvega reda (gostota 40,2 km⁻²), sledi 473 vrtač drugega reda (gostota 9,1 km⁻²). Vrtač tretjega reda je 79 (gostota 1,5 km⁻²), četrtega



Slika 3: Primerjava širine, dolžine, površine, globine, podolgovatosti in simetričnosti vrtač glede na red

reda pa 12 (gostota 0,25 km⁻²). Vrtača petega reda je ena sama (gostota 0,02 km⁻²). Znotraj površine 1 km² se pojavlja do 165,1 vrtač prvega reda. Širina zaznanih vrtač znaša od 10 m (1. red) do 1317 m (5. red). Najnižja dolžina vrtače 1. reda je 11 m, širina najširše vrtače 5. reda pa je 2418 m. Frekvenčna porazdelitev površine vrtač je padajoča, giblje se med 108 m² do 131 ha. Najvišjo globino ima vrtača 2. reda in znaša 67 m. Največjo podolgovatost 4,2 ima vrtača 3. reda, povprečna podolgovatost pa je 1,4. Povprečna simetričnost vrtač je 1,3, doseže pa do vrednosti 6. Značilnosti vrtač po redovih so prikazane na sliki 3, primer porazdelitve vrtač znotraj analiziranega območja pa je prikazan na sliki 5.

Šušteršič (1994) poroča, da na območju klasičnega krasa (na meji med severovzhodno Slovenijo in Italijo), prevladujejo krožne oblike vrtač, kar lahko v našem primeru potrdimo le za vrtače prvega reda. Simetričnost vrtač prvega in drugega reda je primerljiva s simetričnostjo vrtač na Floridi (Seale s sod. 2008) in v Španiji (Galve s sod. 2009). Pri tem moramo opozoriti na razliko v metodi za odkrivanje vrtač, zato neposredna primerjava z ostalimi objavljenimi študijami ni popolnoma korektna.

Predstavljen je primer kartiranja vrtač in izračuna njihovih lastnosti na podlagi DMR visoke ločljivosti (1×1 m), ki izhaja iz podatkov laserskega skeniranja. V nasprotju s tradicionalnimi metodami preučevanja vrtač je ta metoda cenejša, hitrejša in zanesljivejša. Pomembna značilnost tega pristopa je tudi popolna avtomatizacija procesa izločanja, ki ne vključuje nobene subjektivnosti. Določiti je treba le minimalno glo-

bino ter širino vrtače, da jo obravnavamo kot vrtačo in ne kot napako v lidarskem DMR. Ko bodo na voljo lidarski podatki za celotno območje Slovenije, bi bilo smiselno opraviti takšno analizo za celotno območje krasa in izvesti kartiranje vrtač v Sloveniji. Pri tem se seveda zastavlja vprašanje (ne)zadostne kvalitete filtriranja vplivov vegetacije in izdelava DMR. V času analize (pa tudi pisanja prispevka), podatki laserskega skeniranja za obravnavano območje še niso bili na voljo, sicer bi analizo ponovili na DMR, ki izhaja iz vse-slovenskega laserskega skeniranja. Zdi pa se, da bo razlika kar znatna!

Vpliv vrtač na gozd

Primerjava pritalne vegetacije v vrtačah in izven vrtač

V raziskavi vegetacije smo identificirali 128 vrst semenk, 17 praprotnic in 27 mahov ter lišajev. Ploskve, ki se nehajo znotraj vrtač, imajo višje število vseh rastlinskih vrst (t-test = -2,19; p < 0,05) in tudi število semenk (t-test = -2,19; p < 0,05). Statistično značilne razlike med popisnimi ploskvami so tudi v primeru izračunanih vrednosti Simpsonovega (t-test = -2,66; p < 0,05) in Shannonovega (t-test = -2,92; p < 0,05) indeksa vrstne pestrosti. Podatki so podrobneje predstavljene v preglednici 1. Do podobnih zaključkov so prišli tudi v preteklih študijah, kjer so pokazali, da vrtače delujejo kot refugiji za ledenodobne relikte, gorske vrste in vrste, ki potrebujejo talno in zračno vlago (Bátori s sod. 2012).

Primerjava zgradbe gozdov glede na reliefne oblike

Po podatkih analize, ki izhaja iz razmejevanja relief-

Preglednica 1: Primerjava števila rastlinskih vrst ter rastlinske vrstne pestrosti (\pm 95 % interval zaupanja) za 65 raziskovalnih ploskev znotraj ($n = 30$) in zunaj ($n = 35$) vrtač

Preučevan znak	V vrtači		Izven vrtače		Skupaj
	Povprečje	Skupaj	Povprečje	Skupaj	
Število mahovnih vrst	8,6 \pm 0,9 ^a	26	9,0 \pm 0,9 ^a	24	27
Število praproti	5,3 \pm 1,0 ^a	17	4,8 \pm 0,8 ^a	13	17
Število semenk	29,8 \pm 2,3 ^a	94	26,6 \pm 1,8 ^b	88	115
Število vseh rastlinskih vrst	43,7 \pm 2,1 ^a	137	40,4 \pm 2,1 ^b	125	159
Simpsonov indeks vrstne pestrosti	0,89 \pm 0,02 ^a		0,85 \pm 0,02 ^b		
Shannonov indeks vrstne pestrosti	3,00 \pm 0,13 ^a		2,72 \pm 0,14 ^b		

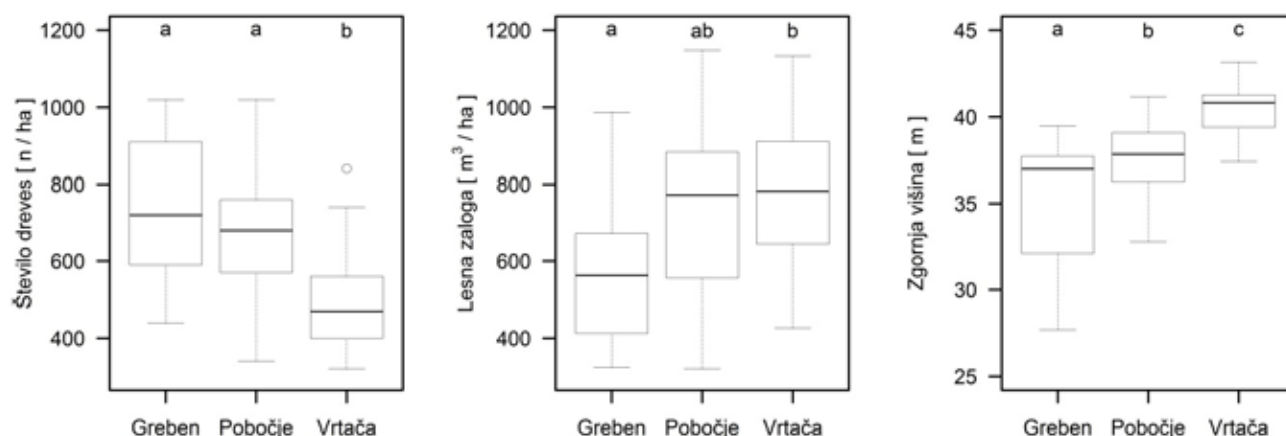
nih oblik na podlagi TIP, na raziskovalnem objektu po površini prevladujejo pobočja (62 % površine), sledijo vrtače (22 % površine), delež grebenov po površini pa je 16 %. Število vzorčnih ploskev v vrtačah je 18, na pobočjih 36 in na grebenih 11. Povprečno število dreves je statistično značilno ($p < 0,05$) nižje v vrtačah ($N_{\text{vrt}} = 509 \pm 69,3$), med grebeni ($N_{\text{greb}} = 674 \pm 51,3$) in pobočji ($N_{\text{pob}} = 740 \pm 114,1$) ni statistično značilnih razlik (Slika 4). Povprečna lesna zaloga na grebenih ($LZ_{\text{greb}} = 585,7 \pm 129,8 \text{ m}^3/\text{ha}$) je statistično značilno nižja ($p < 0,05$) od lesne zaloge v vrtačah ($LZ_{\text{vrt}} = 776,7 \pm 87,3 \text{ m}^3/\text{ha}$). Lesna zaloga na pobočjih ($LZ_{\text{pob}} = 723,7 \pm 68 \text{ m}^3/\text{ha}$) se od ostalih reliefnih kategorij ne razlikuje (Slika 4). Zgornja višina se razlikuje med vsemi tremi rastiščnimi enotami (Slika 4); na grebenih ($H_{\text{dom.greb}} = 35,2 \pm 2,3 \text{ m}$) je statistično značilno nižja ($p < 0,05$) od zgornje višine na pobočjih ($H_{\text{dom.pob}} = 37,6 \pm 0,7 \text{ m}$) le-ta pa je statistično značilno nižja ($p < 0,05$) od zgornje višine v vrtačah ($H_{\text{dom.vrt}} = 40,5 \pm 0,7 \text{ m}$). Značilnosti zgradbe gozdov so prikazane na sliki 4.

Razvidno je, da poleg učinka vrtač, ki se odraža na pritalni vegetaciji, lahko zaznamo tudi (posreden in neposreden) vpliv vrtač na zgradbo gozdov. Razlike v številu dreves in lesni zalogi se med reliefnimi oblikami razlikujejo, kljub temu, da se v obeh znakih

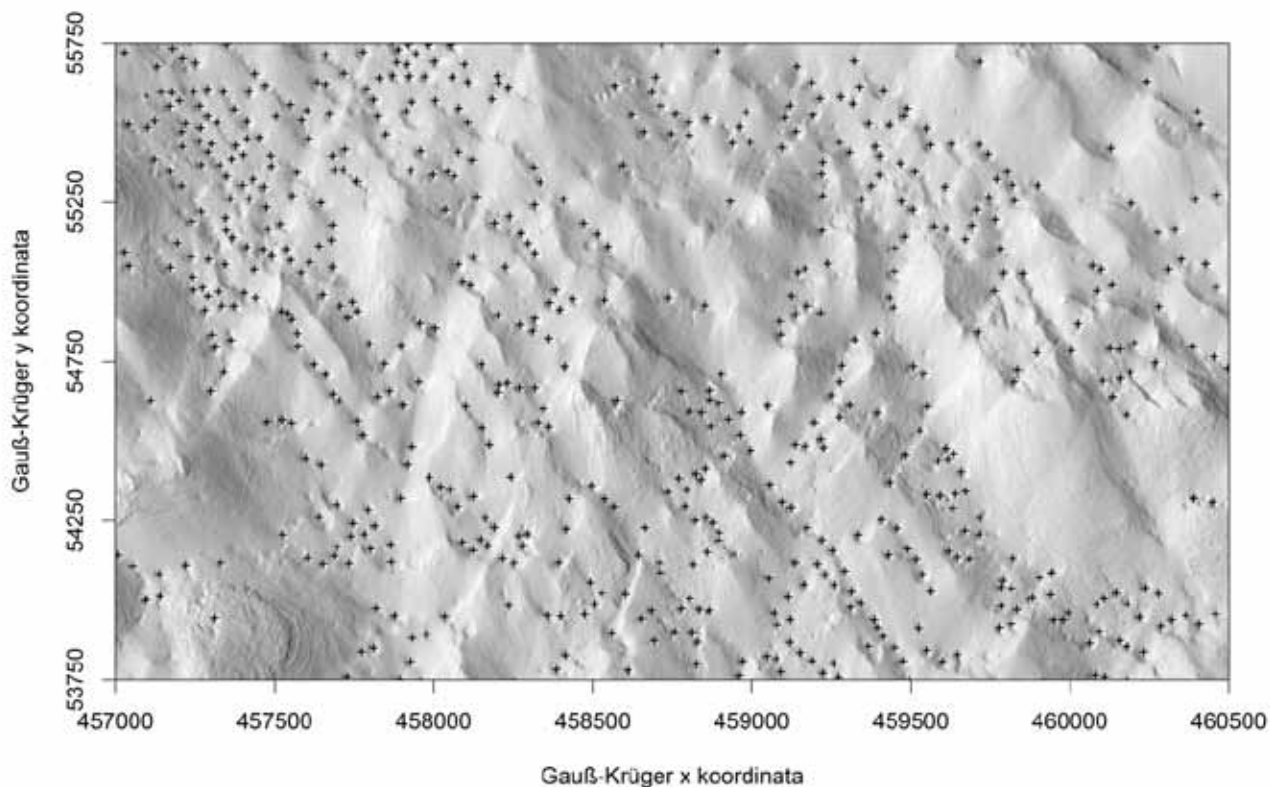
(lahko) močno odraža gospodarjenje z gozdom. Do podobnih ugotovitev je za število dreves in lesno zalogo prišla tudi Habič (1989), ki je v svoji diplomski nalogi analizirala tako gostoto dreves kot celice lesne mase. Manj pa se gospodarjenje z gozdovi odraža v primeru zgornje višine sestoja, ki je posreden kazalnik produkcijske sposobnosti rastišča (Kotar 2005). Na dnu vrtač prevladujejo globlja tla z večjo zadrževalno kapaciteto tal za vodo (Kobal 2011), zato je tudi priraščanje dreves hitrejše, zlasti v višino. Posledično torej velja, da so drevesa enakih premerov na boljših rastiščih višja, imajo večji volumen in s tem višjo tarifo (Kušar 2006). Vsekakor bi bilo smiselno podobno raziskavo opraviti v pragozdovih.

Summary

Sinkholes are depressions in terrain that represent a unique feature of karst landscapes and were the first type of karst landform that were subjected to morphometric analysis. Studies indicate that a large variety of morphometric parameters exist among sinkholes. Morphometric studies of karst landscapes are based on topographic maps and aerial photographs, from which digital elevation models, DEM, are derived using different photogrammetric methods. Information regarding the locations and characteristics of sinkholes is important in several aspects. For example,



Slika 4: Primerjava vrednosti števila dreves, lesne zaloge ter dominante višine glede na reliefno obliko



Slika 5: Primer prostorske porazdelitve vrtač na preučevanem območju

sinkholes have been proven valuable because of their specific habitat features and their effects on local biodiversity. We present the potential for the detection and characterization of sinkholes under forest cover by using airborne laser scanning data. Additionally, the effect of sinkholes on understory vegetation and forest structure is presented.

The information extracted from this study regarding the shapes and depths of sinkholes ($n = 2660$) shows significant differences among sinkholes of different ranks. The majority of sinkholes are 1st rank sinkholes ($n = 2095$). The maximum number of sinkholes per km² is up to 165.1. Mean width and length of sinkholes increased with the sinkhole rank, from 26.1 m for 1st rank sinkholes to 367.6 m for 4th rank sinkholes, and from 33.8 m for 1st rank to 576.0 m for 4th rank, respectively. The maximum depth of sinkholes ranged from 39.2 for 1st rank to 48.4 m for 4th rank, while a sinkhole in the 5th rank reached a depth of 52.8 m. The width of the 5th rank sinkhole was 1317.9 m, length was 2418.5 m, area was 131.05 ha and the volume was 22 million m³. The area of 1st rank sinkholes ranged from 108.2 m² to 14475.6 m². The highest elongation ratio is 4.2, while the mean circularity index is 1.3 and reaches up to 6.

Due to local humidity and a colder temperature regime, significant differences in vegetation diversity and composition occur inside and outside the sinkholes, which indicates that their presence has important ecological impacts. The number of ferns and seed plants is higher in the sinkhole, while the number of

mosses is lower. Forest structures also differ considerably among the topographic categories of forested landscape. Deeper soils with higher available water capacity provide different conditions for stand development. Although this study was not conducted in virgin forest without management, differences in top height, which is less sensitive to forest management practice, suggest further sinkholes delineation as a site with more favourable conditions for tree growth.

Zahvala

To delo je bilo podprto s strani ARRS (MR Milan Kobal). Analiza je nastala v okviru Life+ projekta "Man-For C. BD." (LIFE 09 ENV / IT / 000078) ter PS "Gozdna biologija, ekologija in tehnologija" (P4-0107).

VIRI

- Axelsson P. 2000. DEM Generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *Int Arch Photogramm Remote Sens.*, 33: 110–117.
- Basso A., Bruno E., Parise M., Pepe M. 2013. Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy). *Environ Earth Sci.*, 70: 2545–2559.
- Bátori Z., Gallé R., Erdős L., Körmöczi L. 2011. Ecological conditions, flora and vegetation of a large doline in the Mecsek Mountains (South Hungary). *Acta Bot Croat.*, 70: 147–155.
- Bátori Z., Körmöczi L., Erdős L., Zalatnai M., Csiky J. 2012. Importance of karst sinkholes in preserving relict, mountain, and wetland plant species under sub-Mediterranean climate: A case study from southern Hungary. *J Cave Karst Stud.*, 74: 127–134.
- Doctor D.H., Young J.A. 2013. An evaluation of automated GIS tools for delineating karst sinkholes and closed depressions from 1-meter lidar-derived digital elevation data, 13th sinkhole conference, NCKRI symposium 2, 449–458.

- Galve J.P., Gutiérrez F., Lucha P., Bonachea J., Cendrero A., Gimeno M.J., Gutiérrez M., Pardo G., Remondo J., Sánchez J.A. 2009. Sinkholes in the salt-bearing evaporitekarst of the Ebro River valley upstream of Zaragoza city (NE Spain). *Geomorphological mapping and analysis as a basis for risk management. Geomorphology*, 108: 145–158.
- Gutiérrez-Santolalla F., Gutiérrez-Elorza M., Marín C., Maldonado C., Younger P.L. 2005. Subsidence hazard avoidance based on geomorphological mapping in the Ebro River valley mantled evaporite karst terrain (NE Spain). *Environ Geol.*, 48: 370–383.
- Habič P. 1986. Površinska razčlenjenost Dinarskega krasa. *Acta Carsologica*, 14: 39–58.
- Habič E. 1989. Strukturne značilnosti jelovo-bukovega gozda na kraških tleh in njih pomen za gojenje gozdov. *Biotehniška fakulteta, Ljubljana*, 52 str.
- Jenness J. 2006. Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.2, v. 1.3a. Jenness Enterprises.
- Kobal M., Grčman H., Zupan M., Levanič T., Simončič P., Kadunc A., Hladnik D. 2014. Influence of soil properties on silver fir (*Abies alba* Mill.) growth in the Dinaric Mountains. *For Ecol Manage.*, 337: 77–87.
- Kobal M. 2011. Vpliv sestojnih, talnih in mikrorastiščnih razmer na rast in razvoj jelke (*Abies alba* Mill.) na visokem krasu Snežnika. *Biotehniška fakulteta, Ljubljana*, 167 str.
- Kotar M. 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Zavod za gozdove Slovenije, 500 str.
- Martinčič A. 1977. Prispevek k poznavanju ekologije mrazišč v Sloveniji. SAZU, Ljubljana, 91 str.
- Mihevc A., Prelovšek M., Zupan Hajna, N. 2010. Introduction to the Dinaric Karst. Postojna: Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU. Postojna, 72 str.
- Obu J., Podobnikar T. 2013. Algorithm for karst depression recognition using digital terrain models. *Geod Vestn.*, 57: 260–270.
- Ortar J. 2011. Tipizacija in regionalizacija slovenskih mrazišč: diplomsko delo. Ljubljana, 65 str.
- Özkan K., Gulsoy S., Mert A., Öztürk M., Muys B. 2010. Plant distribution-altitude and landform relationships in karstic sinkholes of Mediterranean region of Turkey. *J Environ Biol.*, 31: 51–60.
- Puhek V. 2003. Regresijske enačbe za volumen dreves po dveh vodnih deblovninah. V: Kotar, M. (ur.). *Gozdarski priručnik*. Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo, BF, 46–48.
- Seale L.D., Florea J.L., Vacher H.L., Brinkmann B. 2008. Using ALSM to map sinkholes in the urbanized covered karst of Pinellas County, Florida-1 methodological considerations. *Environ Geol.*, 54: 995–1005
- Surina B. 2014. Šumska vegetacija tektonskih udolina Pihlja i Vitra iznad Vinodola (Liburnijski krš, sjeverozapadna Hrvatska). *Sumar List.*, 138: 259–269.
- Šušteršič F. 1994. Classic dolines of classical sites. *Acta Carsologica*, 23: 123–156.
- Weiss A. 2001. Topographic Position and Landforms Analysis. Poster presentation. ESRI User Conference, San Diego, CA.
- Zingg A. 1994. Top heights in mixed stands: their definition and calculation. In: Pinto da Costa, M.E.; Preuhler T. (eds) *Mixed Stands. Research Plots, Measurements and Results, Models. Proceeding from the Symposium of the IUFRO Working Groups: S4.01-03: Design, Performance and Evaluation of Experiments. S4.01–04: Growth models for Tree and Stand Performance and Evaluation of Experiments. S4.01–04: Growth models for Tree and Stand nomia*, Universidade tecnica de Lisboa. 67–79.

UČINKOVITA IZRABA SUROVIN V PAPIRNI INDUSTRIJI

Resource efficiency in the paper industry

dr. Janja Zule*, dr. Mija Sežun**

Inštitut za celulozo in papir, Bogiščeva 8, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: papirna industrija, biorafinerija, recikliranje, okolje, krožno gospodarstvo

Keywords: paper industry, biorefinery, environment, recycling, circular economy

Abstract

The paper industry is a typical example of a sustainable, circular economy. Its basic raw materials are wood fibers, which are renewable and recyclable. In addition, other wood components, such as hemicellulose, lignin and extractives, can be transferred into value-added, bio-based products. Once the paper has served its purpose it can be recycled. The paper industry is also energy efficient as it produces more energy than it uses. Renewable biomass has mostly replaced fossil-based fuels. Generated solid waste can be profitably converted to useful products or energy. Paper production significantly contributes to sustainable forest management and CO₂ balance in nature.

Proizvodnja papirja in produktov z dodano vrednostjo

Papir je vesplošno uporaben material. Je nosilec pisne informacije in kulturne dediščine, uporablja se za izdelavo embalažnih in higienskih izdelkov ter denarja. Papir je biorazgradljiv in reciklabilen produkt, katerega osnovna surovina je les, ki je v nasprotju z nafto, premogom in zemeljskim plinom, obnovljiv in trajnostni material. Evropska papirna industrija je zavezana uporabi lesa, ki je certificiran v skladu s FSC standardi. Večina lesa za izdelavo papirja, in sicer kar 90 %, izhaja iz evropskih gozdov. V proizvodnji se uporablja les po sečnji, deli dreves, ki niso primerni za razrez, npr. vrhovi in veje, ter ostanki iz lesnopredelovalne industrije, torej je uporaba lesa kaskadna (Slika 1). Najbolj uporabne drevesne vrste za izdelavo papirja so med iglavci smreka in jelka ter med listavci evkaliptus, trepetlika, topol, breza in bukev. V povprečju se nahaja v lesu okrog 45 % celuloze, ki sestavlja olesenele celične stene, v katerih je prisotna tudi hemiceluloza (25 %), vse skupaj pa povezuje v trdno strukturo lignin (30 %) (Fengel in Wegener 1984). Natančna kemična sestava lesa je odvisna predvsem od drevesne vrste, tipa tkiva,

geografske lege rastišča, klimatskih pogojev, letnega časa, starosti in zdravstvenega stanja drevesa. Za izdelavo papirja so potrebna predvsem celulozna vlakna, ki se preko fizikalnih in kemijskih vezi vežejo v trdno papirno strukturo (Slika 2). Preostali del lesa, kot npr. skorja, grče in izolirana ligninska frakcija iz proizvodnje kemijske celuloze predstavljajo odpadno biomaso, ki je vir številnih spojin z dodano vrednostjo, in sicer predvsem ekstraktivov, fenolnih derivatov in ogljikovih hidratov (Bajpai 2013). Koristno lahko uporabimo praktično vse komponente biomase. Pri proizvodnji bioetanola lesne hemiceluloze najprej razgradimo do enostavnih sladkorjev s pomočjo kisle in encimatske hidrolize (Kim 2005). Nastale monosaharide s pomočjo ustreznih mikroorganizmov fermentiramo in jih tako pretvorimo v etanol (Wyman and Goodman 1993). Pomemben produkt, ki izhaja iz hemiceluloze, je tudi furfural. Slednjega dobimo s pomočjo kisle hidrolize pentozanov, ki sestavljajo hemicelulozo. Furfural je pomemben intermediat, ki se uporablja za sintezo številnih spojin v farmacevtski in kemični industriji (Christopher 2012). Iz hemiceluloze je možno z alkalno kemijsko redukcijo ksiloze pridobiti tudi ksilitol, to je sladkorni alkohol, ki se uporablja kot sladilo v prehrani (Malaja and Hamalainen 1977), in še celo vrsto produktov kot npr. butanol (energent) in organske kisline, ki so izhodna surovina za sintezo biorazgradljivih polimerov (Magnuson in Lasure 2004). Lignin, ki ga dobimo pri razklopu lesa, se lahko uporablja kot dispergator, stabilizator, kompleksant, vezivo in koreaktant za sintezo umetnih mas. Še posebej pomembna je njegova uporaba v gradbeništvu pri proizvodnji betona, saj lignin kot dodatek ojači beton in delno nadomesti cement, s čimer lahko pomembno znižamo ogljični odtis produkta (de Jong in Gosselink 2014). Lignin je obnovljiv vir aromatskih spojin, ki se uporabljajo kot intermedii v kemični industriji. Iz lignina lahko izdelujemo karbonska vlakna, ki so uporabna v avtomobilski industriji. Poleg omenjenih strukturnih elementov lesa

*janja.zule@icp-lj.si **mija.sezun@icp-lj.si

so v njem v manjši meri prisotne tudi ekstraktivne spojine (maščobne in smolne kisline, steroli, sterolni estri, voski, trigliceridi in polifenoli), ki jih je možno v procesu pridobivanja vlaken izolirati iz lesa in predelati v produkte z visoko dodano vrednostjo. Grče in skorja iglavcev so zelo bogat vir polifenolov, in sicer stilbenov, lignanov in flavonoidov, ki so močni antioksidanti in lahko najdejo svojo uporabnost v živilski, farmacevtski in kemični industriji. Zaradi njihovih visokih koncentracij (od 10 do 30 %) v omenjeni »odpadni biomasi« je tehnološko pridobivanje povsem upravičeno. Danes imamo na tržišču uveljavljena prehranska dopolnila v obliki tablet in kapsul, npr. HMR (hidroksimatairezinol iz smrekovih grč), Abigenol (polifenolni ekstrakt skorje jelke) in Pycnogenol (polifenolni ekstrakt skorje primorskega bora), ki



Slika 1: Les kot osnovna surovina



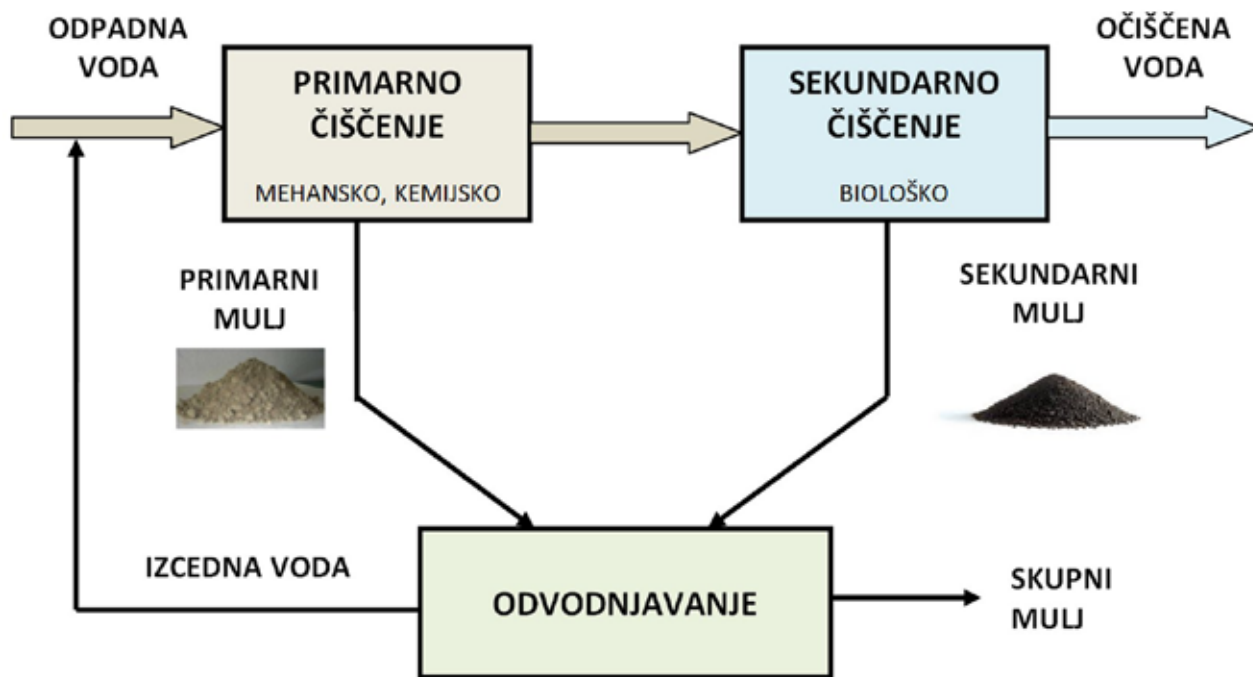
Slika 2: Papir kot končni izdelek

izkazujejo številne pozitivne zdravstvene učinke in zavirajo procese staranja (Willför in sod. 2004).

Zaradi kompleksne sestave lesa, katerega del se neposredno uporabi za izdelavo papirja, preostala biomasa pa ima visok potencial kot surovina za različne namene, se v papirniških sistemih čedalje bolj uveljavlja koncept biorafinerije, v sklopu katere je možno na okolju prijazen in energetsko učinkovit način pridobivati številne stranske produkte z visoko dodano vrednostjo (Bajpai 2013).

Pomen recikliranja papirja in papirne embalaže

Proizvodnja papirja čedalje bolj zapira svoj krogotok, saj so izdelki kot npr. grafični papirji ter papirna in kartonska embalaža večinoma reciklabilni in lahko po končani uporabi služijo kot sekundarna surovina za izdelavo novih izdelkov. Papir je material, ki kroži in se po uporabi ne zavrže, temveč po ustreznem sortiranju vrne v proizvodni proces (Slika 3). Z recikliranjem materiala znižamo porabo svežih vlaken, kemikalij, procesne vode in energije, s čimer se bistveno zmanjša negativni vpliv na okolje in poveča ekonomski učinek. Odsluženi papir izgubi status odpadka in postane surovina, ki ima svojo tržno vrednost, kar je v skladu z EU direktivo o odpadkih 2008/98/EC. Evropska papirna industrija je svetovni rekorder v recikliranju, saj se stopnja recikliranja nenehno povečuje in je dosegla že 71,7 %, s čimer se je približala teoretični zgornji meji 80 %. Določenega dela proizvedenega papirja po uporabi ni več možno predelati zaradi onesnaženosti ali neustrezne strukture. Evropski standard SIST EN 643 definira standardne vrste papirja, kartona in lepenke, ki so primerni za recikliranje. Moramo se zavedati, da proces recikliranja ni neskončen, saj pri ponavljajočem se vračanju v postopek predelave celulozna vlakna izgubljajo svoje morfološke, fizikalne, kemijske in vezivne lastnosti. Večkrat reciklirana vlakna se niso več sposobna vezati v trdno papirno strukturo, zato jih moramo nadomeščati s svežimi, primarnimi. V povprečju papir recikliramo od 3 do 4-krat. O pomenu recikliranja govori tudi dejstvo, da evropska papirna industrija v povprečju uporablja 44,5 % recikliranih in 40,3 % svežih vlaken, medtem ko je nevlakninskih dodatkov, kot npr. anorganskih polnil in aditivov 15,2 %. Danes je možno v posebnih sistemih reciklirati tudi kompozitne materiale kot je npr. tekočinska embalaža. Slednja vsebuje do 74 % kakovostnih, primarnih vlaken, poleg tega pa tudi zaščitne, vodotesne plasti iz polietilena in aluminija. Vlakna lahko ločimo od nevlakninskih komponent in jih uporabimo za proizvodnjo vlakninskih izdelkov, npr. vpojnega papirja, medtem ko lahko polietilen in aluminij učinkovito uporabijo druge industrijske panoge.



Slika 3: Papirni krogotok

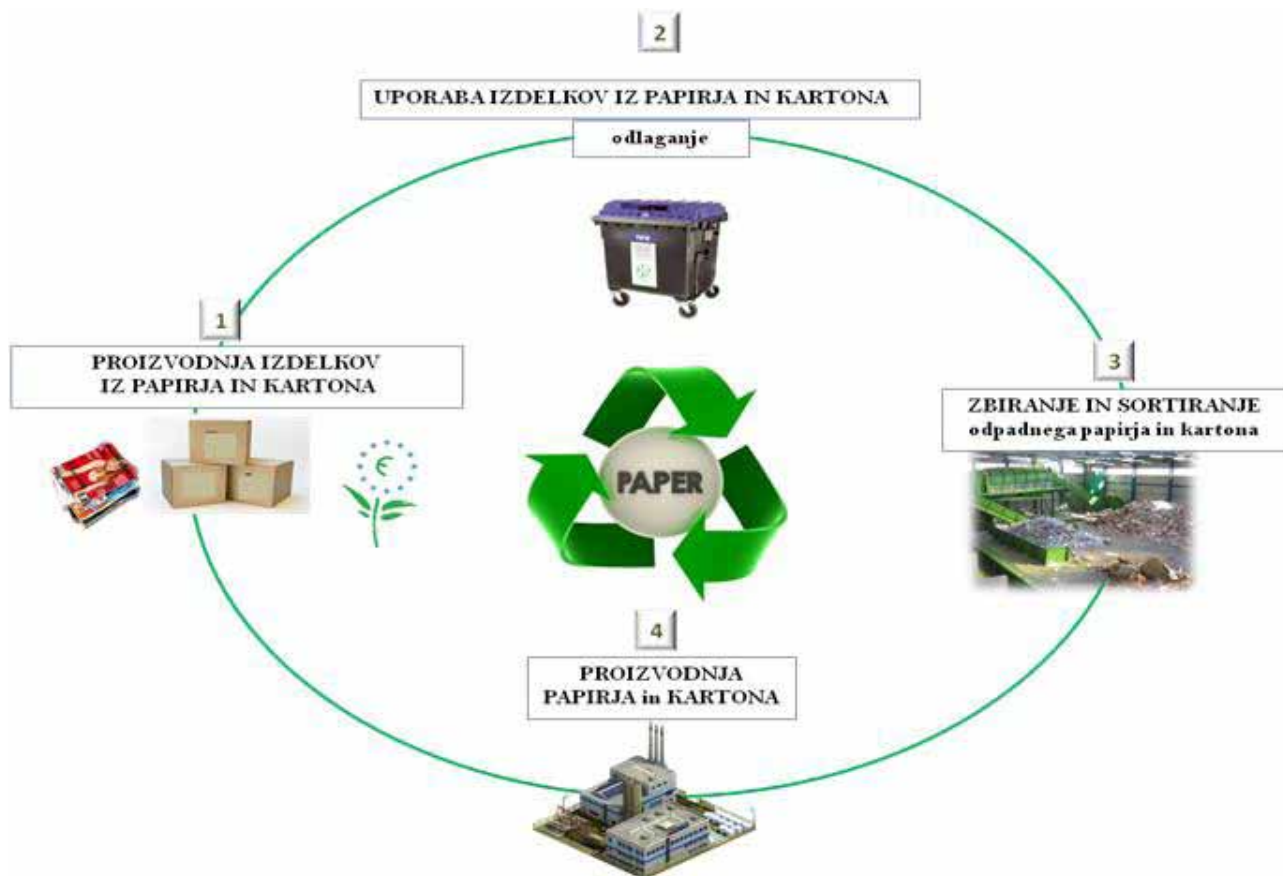
Proizvodnja in poraba energije

Papirna industrija je energetsko intenzivna panoga, saj povprečni stroški energije znašajo 16 % proizvodnih stroškov. Že vrsto let si papirna stroka prizadeva izboljšati svojo energetsko učinkovitost, pri čemer je obnovljiva biomasa (les, skorja, zgoščine iz vodočistilnih naprav) v znatni meri nadomestila fosilna goriva, kar je močno znižalo emisije CO₂, in sicer od leta 1990 za več kot 40 %. Danes okrog 55 % potrebne energije izhaja iz biomase, medtem ko se ostala energija pridobi iz fosilnih goriv, predvsem iz zemeljskega plina. Ker se v proizvodnem procesu izdelave papirja proizvaja precej toplotne energije (para), se ta kasneje uporabi za pridobivanje električne energije v kombiniranih energetskih obratih. Številne sodobne papirnice proizvajajo dovolj toplotne in električne energije za kritje lastnih potreb, hkrati pa del električne energije pošiljajo tudi v zunanje omrežje oz. se presežek toplotne energije uporablja za ogrevanje javnih objektov in gospodinjstev v širši okolici. Industrijska proizvodnja »zelene« energije kaže poleg okoljskih tudi pozitivne ekonomske učinke.

Uporaba vodnih virov

Voda igra pomembno vlogo pri proizvodnji papirja, saj služi kot transportno sredstvo za celulozna vlakna, uporabljamo jo za pripravo vlakninske suspenzije in drugih surovin ter za čiščenje strojne opreme, pridobi-

vanje pare v energetske namene in za hlajenje. Zaradi velikih potreb po vodi so papirnice običajno locirane ob vodnih virih. Za izdelavo 1 tone papirja potrebujemo 200 m³ vode. Večino oz. več kot 90 % uporabljene vode je možno ustrezno prečistiti in vrniti nazaj v proizvodnjo, s čimer zmanjšamo obremenjevanje okolja in dosežemo pozitiven ekonomski efekt. Nekaj vode izpari v proizvodnem procesu, nekaj pa jo ostane v izdelkih in trdnih odpadkih, tako da je vso vodo nemogoče reciklirati. V proizvodnem procesu se v vodi raztapljajo ali dispergirajo različne lesne komponente kot npr. lignin, ogljikovi hidrati in ekstraktivi, poleg teh pa tudi procesne kemikalije, škrob, anorganska polnila (Putz 2000). Onesnažen vodni medij lahko povzroča številne tehnološke težave, saj se zaradi raztopljenih organskih snovi, predvsem lesnih sladkorjev in škroba močno poveča mikrobiološka dejavnost na papirnem stroju, poviša se temperatura procesne vode, zniža se vsebnost kisika, prihaja do pojava korozije in nastanka lepljivih oblog na strojni opremiter sproščanja hlapnih organskih spojin neprijetnega vonja. Poslabša se kakovost izdelka zaradi neželene obarvanosti in prisotnosti madežev. Zaradi navedenih posledic je nujno potrebno ustrezno čiščenje procesnih vod, običajno je to filtracija znotraj sistema papirnega stroja, s katero odstranjujemo suspendirane nečistoče. Odpadno vodo očistimo na kemijsko-mehanskih in bioloških čistilnih napravah, ki jo nato vračamo v tehnološki proces. Pri tem nastajata primarni in biološki mulj (Slika 3).



Slika 3: Tipičen postopek čiščenja papirniške odpadne vode

Nastajanje in uporaba trdnih ostankov

Med trdne ostanke, ki nastajajo pri izdelavi papirja, štejemo lesne ostanke, kot so skorja in grče, in sicer v primeru, da je obrat za izdelavo lesovine integriran v proizvodnjo papirja, rejekte, ki nastajajo v proizvodnem procesu recikliranja in jih sestavljajo različne nečistoče in materiali, ki jih v fazi priprave papirne mase ni bilo možno homogenizirati, mulj iz kemo-mehanske vodočistilne naprave (primarni mulj) in biološki mulj iz faze biološkega čiščenja procesnih in odpadnih vod. Primarni mulj sestavlja papirna snov, torej predvsem ostanki vlaken, škroba in anorganskih polnil, medtem ko je biološki mulj ostanek mikroorganizmov, ki v procesu čiščenja vode razgrajujejo topne organske nečistoče, ki jim predstavljajo vir hrane. Pri tem rastejo, se razmnožujejo in odmirajo. Produkt mikrobiološke aktivnosti sta očiščena voda in pretežno odmrli mikrobnna biomasa, ki vsebuje precej vode, ki jo je težko odstraniti. V energetskih obratih nastajajo znatne količine pepela kot posledica kurjenja biomase. Pepel sestavljajo predvsem kovinske soli, oksidi in silikati. Lesne ostanke in mulj lahko uporabimo kot energent za proizvodnjo toplotne in električne energije, vendar kurilna vrednost mulja zaradi dokaj visoke vsebnosti vode ni najboljša. Druga možnost je, da jih poskušamo pretvoriti v produkte z dodano vrednostjo. Mulj, ki vsebuje večji delež organske snovi, je možno s pridom izkoriščati v kmetijstvu pri pridobivanju komposta (Gustavson 1999). Materiali, v katerih prevla-

duje anorganska snov, lahko nadomestijo nekatere surovine v proizvodnji cementa in opeke, zaradi svojih izredno ugodnih geomehanskih lastnosti pa se v zadnjem času vse bolj uveljavljajo kot tesnilni sloji pri prekrivanju deponij odpadkov. Primarni mulj, ki ga sestavljajo pretežno celulozna vlakna, lahko ponovno uporabimo za izdelavo manj zahtevnih embalažnih izdelkov (Dongieux 1999). Biološki mulj je zaradi visoke vsebnosti organske snovi in vode zelo neprijeten ostanek, ki se težko zgošča in je neprijetnega vonja, zaradi emisije lahko hlapnih razkrojnih produktov, kot so amonijak, vodikov sulfid in hlapne organske kisline. Biološki mulj je možno pretvoriti v bioplin, torej energent za pridobivanje toplotne in električne energije za potrebe papirnice ali širše okolice. V kombinaciji z lesnim pepelom se biološki mulj zgosti in stabilizira, saj se močno poviša pH vrednost, kar zavre vsako nadaljnjo mikrobiološko aktivnost in emisijo razpadnih produktov. Kompozitna zmes je uporabna surovina v gradbeništvu, saj se zaradi specifičnih geomehanskih lastnosti lahko uporabi kot nepropustna plast pri gradnji odlagališč, manj obremenjenih cest, parkirišč in igrišč (Zimmie 1997).

Nadaljnji izzivi za papirno industrijo

Prihodnost papirne industrije je v razvoju in proizvodnji produktov z višjo dodano vrednostjo. Mednje štejemo predvsem papirje z nižjo gramaturo in ve-

čjo mehansko jakostjo, kar je še posebej primerno za embalažo, ki mora biti čim močnejša in fleksibilna. To dosežemo z vključevanjem mikrofibrilirane celuloze v strukturo papirja. Velik izziv predstavlja tudi razvoj novih bariernih premazov na osnovi nanofibrilirane celuloze, ki bi lahko nadomestili plastične folije v papirni embalaži. Z dodatkom nanofibrilirane celuloze zapremo površino papirja, tako da ta postane nepropustna za pline in vodo, kar je še posebej pomembno za materiale, ki prihajajo v stik z živili, hkrati pa se izboljšajo tudi tiskovne lastnosti (Missoum in sod. 2013) Proizvodnja lahkih, funkcionalnih materialov je z ekonomskega vidika bolj ugodna, saj za proizvodnjo potrebujemo manj surovin in energije. Velik potencial ima tudi uporaba papirja v gradbeni stroki, za to pa potrebujemo nove metode testiranja in certificiranja, ki za papir še niso bile razvite, a so načeloma na voljo za druge materiale, kot so kovine, les ali plastika. Danes je možno v gradbeništvu graditi z negorljivimi, lahkimi ploščami na podlagi papirne tehnologije in najnovejših postopkov predelave s precej manjšo maso (Miletzky 2014).

Velik potencial predstavlja tudi vzpostavitev biorafinerije v papirništvu, torej integrirana proizvodnja bioenergije in drugih dragocenih materialov lesnega izvora, poleg papirja. Poseben izziv je pridobivanje »zelenih kemikalij«, kot npr. fenolnih antioksidantov, ki se nahajajo v skorji in grčah v zelo visokih koncentracijah in jih je možno učinkovito izolirati in s pridom uporabiti kot zaščitna sredstva v številnih komercialnih produktih. Za vpeljavo ekonomičnejše proizvodnje brez odpadkov je nujno vzpostaviti trajnostno sodelovanje vseh deležnikov, ki sodelujejo v lesnopredelovalni verigi. Kar je ostanek v eni panogi, je lahko dragocena naravna surovina v drugi. Evropska papirna industrija je že zdaj zgleden primer krožnega gospodarstva, obeta pa se ji še lepša prihodnost, če bo izkoristila vse razpoložljive vire in sledila tržnim trendom.

Viri

- Bajpai P. 2013. *Biorefinery in the Pulp and Paper Industry*. Amsterdam, Elsevier: 114 str.
- Christopher L. 2012. Adding value prior to pulping: bioproducts from hemicellulose. V: Clement A. Okia (Ed.), *Global Perspectives on Sustainable Forest Management*. ISBN 978-953-51-0569-5, doi.10.5772/36849
- Dongieux P. 1999. Commercially Viable Products that Utilize Pulp and Paper Mill Sludge as a Raw Material Source. *International Environmental Conference*, April 18-21, Nashville Tennessee, TAPPI Press Proceedings
- Fengel D., Wegener G. 1984. *Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Berlin, New York, Walter de Gruyter: 613 str.
- Gustavson M. 1999. Characterization of Pulp and Paper Waste Materials and Their Field of Application. V: *Proceedings, Third International Workshop on the Use of Paper Industry Sludges in Environmental Geotechnology and Construction*. Haavikko, L., Saarela, J., and Zimmie, T.F. (Eds.), June 1-4, Helsinki, Finland
- de Jong E., Gosselink R.J.A. 2014. Lignocellulose based chemical products v *Bioenergy Research Advances and Applications*. Gupta, V.K., Kubicek, C.P., Saddler, J, Xu, F, Tuohy, M.G. (ed.) Amsterdam, Elsevier: 277-313.
- Kim K.H. 2005. Two-stage dilute acid-catalyzed hydrolytic conversion of softwood sawdust into sugars fermentable by ethnologenic microorganisms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 14: 2461-2467.
- Magnuson J.K., Lasure L.L. 2004. Organic acid production by filamentous fungi. V: *Advances in Fungal Biotechnology for Industry, Agriculture and Medicine*. Tkacs, J.S., Lange, L. (Eds.). Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, NY: 307-340.
- Malaja A., Hamalainen L. 1977. Process for making xylitol. US Patent 4.008.285
- Miletzky F. 2014. Aktualni in prihodnji izzivi za papirno industrijo. *Papir*, 42, 1: 5-6.
- Missoum K., Belgacem M.N., Bras J. 2013. Nanofibrillated cellulose surface modification : a review. *Materials*, 6, 5: 1745-1766.
- Putz H.K. 2000. Stickies in recycled fiber pulp. V: *Papermaking Science and Technology*. Göttsching L., Pakarinen H. (Eds.) Book 7, *Recycled Fiber and Deinking*, Fapet Oy, Jyväskylä, Finland
- Willför S., Nisula L., Hemming J., Reunanen M., Holmbom B. 2004. Bioactive phenolic substances in important tree species. Part 1. Knots and stemwood of spruce species. *Holzforschung*, 58, 4: 413-417.
- Wyman C.E., Goodman B.J. 1993. Biotechnology for production of fuels, chemicals, and materials from biomass. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 39-40: 41-59.
- Zimmie T.F. 1997. Utilizing a Paper Sludge Barrier Layer in Municipal Landfill Covers. V: *First International Workshop on the Use of Paper Industry Sludges in Environmental Geotechnology and Construction*. Saarela J., Zimmie T.F. (Eds.), August 11-16, Helsinki, Finland, 1997

PREGLED TEORETIČNIH IN PRAKTIČNIH KONCEPTOV GOZDNEGA GENETSKEGA MONITORINGA

A review of theoretical and practical forest genetic monitoring concepts

Domen Finžgar, dr. Marjana Westergren, prof. dr. Hojka Kraigher

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

Ključne besede: genetska pestrost, gozdni genski viri, monitoring

Keywords: forest genetic resources, genetic diversity, monitoring

Uvod

Vrstna pestrost kopenskih in vodnih ekosistemov se zmanjšuje. Trenutna ocena zmanjševanja števila živih organizmov se giblje od 0,01 % do 0,7 % vseh vrst na leto (Monastersky 2014). Čeprav se strokovna javnost o posledicah takega trenda in vzrokih za njegov nastanek težko poenoti, pa prevladuje mnenje, da so za izgube pestrosti bolj občutljivi tisti ekosistemi, ki ne dosežejo klimaxnega sukcesijskega stadija. Takšni ekosistemi se težje prilagodijo spreminjajočim se razmeram okolja (Kröel-Dulay in sod. 2015).

Gospodarski gozd spada med ekosisteme, kjer človek s svojimi posegi povzroča retrogresivno sukcesijo - vedno znova preprečuje vzpostavitev končnega sukcesijskega stanja (Kimmins 1997). Velika fenotipska plastičnost gozdnega drevja, velika genetska pestrost in zgledi migracij iz obdobja po velikih poledenitvah sicer kažejo na to, da je gozdno drevje v primerjavi z ostalimi organizmi v prednosti, ko govorimo o evlucijski prilagoditveni sposobnosti. Kljub temu pa to evlucijsko prednost težko ovrednotimo v sedanosti, saj so danes migracijske poti zaradi fragmentiranosti krajine otežene, spremembe v okolju se odvijajo hitreje, naše gospodarjenje z gozdom je drugačno kot v preteklosti (Namkoong in sod. 1996; Koskela in sod. 2007, Garcia in sod. 2014).

Postavlja se vprašanje, ali so se gozdovi sposobni prilagoditi hitrim spremembam v današnjem okolju? Iz tega vprašanja izhaja želja po spremljanju biotske pestrosti gozdov na vseh nivojih, saj slednja omogoča prilagoditveno sposobnost. Genetski monitoring bo v prihodnosti služil kot orodje za ugotavljanje prilagoditvene sposobnosti gozda (Namkoong in sod. 1996, Konnert in sod. 2011), zato v tem članku predstavljamo pregled raziskav in pojmov, ki se nanašajo na

najnovejše koncepte in naše dosedanje razumevanje gozdnega genetskega monitoringa (GGM).

Opredelitev pojmov genetska pestrost in genetski monitoring

Genetsko pestrost opredelimo kot variacijo znotraj populacije ali vrste, ki je posledica razlik v genih (Schwartz in sod. 2007). Je komponenta biotske pestrosti, na kateri temeljijo vse preostale komponente. Zato, ko govorimo o pomembnosti, ohranjanju in monitoringu biotske pestrosti, ne smemo spregledati tega prostemu očesu nevidnega, a še kako pomembnega osnovnega gradnika biotske pestrosti.

Beseda monitoring pomeni spremljanje, zato monitoring genetske pestrosti opredelimo kot dolgoročno kontinuirano spremljanje genetske variabilnosti in njene prostorske strukture z namenom ugotavljanja morebitnih sprememb, ki bi lahko zmanjšale pestrost in prilagoditveno sposobnost vrst (Laikre in sod. 2008). Enkratni vpogled v genetsko stanje določene vrste torej še ni monitoring.

Posredno o GGM govorijo že Konvencija o biotski pestrosti (CBD), ki je bila leta 1992 sprejeta na konferenci Združenih Narodov v Rio de Janeiru (UNCBD 1992) ter resolucije in deklaracije ministrskih konferenc o varovanju gozdov v Evropi (Strasbourg S2, Helsinki H2, Helsinki H4; Lizbona L2, aneks 1 in 2; Dunaj V4, Dunaj V5; Varšavska deklaracija 2007). Bolj eksplicitno GGM v Sloveniji omenjata Strategija ohranjanja biotske raznovrstnosti v Sloveniji (Ferlin in sod. 2002) in Resolucija o nacionalnem gozdnem programu (NGP 2007). Na pomembnost genetskega monitoringa poleg političnih aktov opozarjajo tudi različne raziskave in poročila (npr. Usher 2002; Andersson in sod. 2007; Koskela in sod. 2013, Geijzendorffer in sod. 2015).

Kljub konsenzu o pomembnosti tematike so praktični primeri vzpostavitve genetskega monitoringa redki.

Največji problem predstavljata ravno kontinuiranost in dolgoročnost, saj je za preizkus ustreznosti različnih konceptov (termin koncept je v Slovarju slovenskega knjižnega jezika opisan z besedami: »... še ni dokončno izoblikovan, osnutek,... zamisel...« (SSKJ 2000)) monitoringa potrebno daljše časovno obdobje. Poleg tega se pojavlja tudi vprašanje, katere vrste sploh spremljati? Če pogledamo zgolj enkratne (ne gre za monitoring!) genetske podatke, zbrane na Švedskem do leta 2008, vidimo, da so obravnavali zgolj 374 vrst, kar nam malo pove o ekosistemi s precej večjo vrstno pestrostjo (Laikre in sod. 2008). Ker je genetski monitoring vseh vrst znotraj ekosistema nemogoč, se pojavljajo tudi želje po uveljavitvi in proučevanju tako imenovane genomike združb (»community genomics«), ki več pove o delovanju ekosistema kot celote, vendar so takšni poizkusi zaenkrat zgolj teoretski (Whitham in sod. 2006).

Glede na stroške in zelene učinke monitoringa Brown in sod. (1997), Laikre in sod. (2008) ter Aravanopoulos (2011) navajajo naslednje kategorije vrst, ki bi jih želeli spremljati z genetskim monitoringom:

1. vrste, ki jih je v ekosistem vnesel človek,
2. ekonomsko pomembne vrste,
3. ogrožene vrste,
4. vrste, ki tvorijo majhne populacije,
5. vrste, na katerih že opravljamo kakšen drugačen tip monitoringa in
6. ključne vrste za vsak ekosistem.

Gozdarska stroka je zaradi dejstva, da drevesa zelo pogosto uvrščamo vsaj v kategorije 2., 5. in 6., v dobrem položaju, ko gre za količino populacijsko genetskih podatkov (Laikre in sod. 2008). Nekateri koncepti genetskega monitoringa tako nastajajo ravno v gozdarstvu.

Pregled konceptov genetskega monitoringa gozdov

Vsi koncepti genetskega monitoringa gozdov izhajajo iz primarnega cilja, to je ohranjanja gozdno genskih rezervatov (GGV).

V Sloveniji ohranjamo GGV *in-situ* predvsem v vzdrževanju ustrezno velikih populacij ter z naravno regeneracijo. Hkrati pa je v okviru Slovenske gozdne genske banke organizirano *in-* in *ex-situ* varovanje GGV. Slovenska gozdna genska banka sestoji iz *in situ* i) gozdnih semenskih objektov (GSO) in gozdnih genskih rezervatov s pripadajočim registrom, ter *ex situ* ii) semenske banke gozdnih drevesnih vrst, kjer se hrani semena predvsem iglavcev, medtem ko semena listavcev z neosušljivim semenom (npr. hrasti) zaradi težavnosti skladiščenja v banki ni; banka ob-

sega tudi baze molekularnih podatkov s pripadajočo dokumentacijo; iii) provenienčnih poskusov, testov potomstva in živih arhivov, ter dela *ex situ* GSO, ki so iv) semenske plantaže, klonske plantaže in mešanice klonov (Kraigher 1996; Kraigher in Žitnik 1999; Westergren in Kraigher 2011).

Na ravni Evrope ohranjanje GGV koordinira evropski program EUFORGEN, zasnovan na osnovi resolucij ministrskih konferenc o varstvu gozdov v Strasbourgu (1991) in Helsinkih (1993). V četrti fazi programa (2010-2014) je bil poudarek med drugim tudi na pripravi / pregledu strokovnih osnov za razvoj monitoringa genetske pestrosti. Slovensko sodelovanje v programu je sestavni del javne gozdarske službe, ki jo po Zakonu o gozdovih izvaja Gozdarski inštitut Slovenije (Zakon o gozdovih 1993). V okviru Evropskega projekta EUFGIS, ki se je zaključil leta 2011, je bila vzpostavljena evropska baza podatkov o dinamičnih enotah varovanja GGV tj. gozdnih genskih rezervatih v 33 evropskih državah. V projektu je bila Slovenija ena izmed vodilnih partnerjev (Kraigher 2010a, b; 2011a, b).

Prvi teoretični koncept GGM gozdov je postavil leta 1996 Namkoong s sodelavci v okviru CIFOR-jevega projekta, ki je želel ovrednotiti trajnost gospodarjenja s tropskim gozdom (Namkoong in sod. 1996). Avtorji so predlagali sistem kriterijev, kazalnikov in meril (statistik), s katerimi bi lahko gozdarji čim bolj enostavno spremljali posledice svojih gozdnogojitvenih in drugih ukrepov na genetsko pestrost gozdov. Koncept predpostavlja, da gospodarjenje z gozdom vpliva na osnovne genetske procese (genetski zdrs, selekcija, migracija, razmnoževanje), zato je v njem izdelana tabela, ki za posamezen ukrep (sečnja, paša, premena, požig, izkoriščanje nelesnih proizvodov), predpiše uporabo ustreznega kazalnika (stopnja genetske variacije, usmerjene spremembe alelnih ali genotipskih frekvenc, pretok genov med populacijami, način oploditve). Nadalje so avtorji za vsak kazalnik predpisali določena merila, pri čemer so ločili med tistimi, ki so finančno težje dosegljivi in tistimi, ki bi bili lažje uporabni v že obstoječih monitoringih. Pri tem velja poudariti, da se je dostopnost genetskih analiz, tako finančna kot tehnična, od leta 1996 pa do danes močno izboljšala.

Zelo pomembno je, da je že prvi koncept GGM želel sistem, ki bo imel uporabno vrednost pri gospodarjenju z gozdom in bi bil vključen v redne inventure gozdov. Zaradi smiselnosti se je ideja obdržala v vseh kasnejših konceptih.

Namkoong in sodelavci (1996) predlagajo še t.i. dvo-vhodni sistem odločanja, v katerega lahko vnesemo: 1. Splošne podatke o sestoji (npr. rastišče, strukturo drevesnih vrst, ohranjenost, lesno zalogo, ...), na podlagi katerih sistem priporoči način gospodarjenja z vidika ohranjanja genetske pestrosti gozdov.

2. Podatke, pridobljene z merjenjem meril, na podlagi katerih sistem priporoči ukrepe za izboljšanje ali ohranjanje genetske pestrosti gozdov.

Sistem deluje podobno kot kontrolna metoda, ki omogoča revizijo in prilagoditev naših ukrepov glede na rangirane prioritete / željene funkcije gozda. Zaradi velikega števila spremenljivk, ki vplivajo na GGv in slabega znanja o vrednotenju posameznih meril (Boyle 2000, Graudal in sod. 2014), je izvedba Namkoongovega dvovhodnega sistema odločanja kljub preprosti osnovni ideji zaenkrat še neizvedljiva.

Koncept je bil dopolnjen leta 2002 (Namkoong in sod. 2002) v okviru poročila o GGv, ki je nastal pri FAO. Bistvena razlika je, da je koncept iz leta 2002 konkretnjši. Tako na primer avtorji navajajo 'palčno pravilo' o primerni velikosti vzorca za kvantitativno določanje genetske variacije, za določena merila pa avtorji že predlagajo kritične vrednosti. To so tiste vrednosti, ki bi bile glede na referenčno vrednost razlog za ustrezen ukrep.



Slika 1: Sestoj bukve na Bavarskem, ki je bil izbran za pilotni preizkus nemškega koncepta genetskega monitoringa gozdov (Konnert in sod. 2011). V njem so postavili ploskev, ki ima v središču še ploskev intenzivnega monitoringa ICP. (fotografija: Domen Finžgar)

Oba omenjena teoretična koncepta sta bila osnova t.i. »Nemškega koncepta« GGv, ki ga je leta 2004 objavila skupina ekspertov za genetski monitoring BLAG (BLAG-Expertgruppe »genetic monitoring« 2004). Temelji na kazalnikih, kot so jih predlagali Namkoong s sodelavci (1996). Praktičen preizkus tega koncepta je na vzorčnih ploskvah na Bavarskem opravila dr. Konnert s sodelavci (2011) (Slika 1). Kazalnike so preizkušali na dveh drevesnih vrstah: navadni bukvi (*Fagus sylvatica* L.) in divji češnji (*Prunus avium* L.). Vrsti sta bili izbrani glede na rangiranje po različnih kriterijih (ekonomska pomembnost, delež v gozdovih, ogroženost, ...). Slabost izbranega postopka je, da je rangiranje potekalo

na podlagi ekspertnega mnenja, namesto z merljivimi metodami odločanja (npr. analitični hierarhični proces (AHP)), s čimer se je izgubila objektivnost metode. Želja koncepta je bila tudi formalizacija oblike ploskve za GGv in načina vzorčenja. Vzorčilo naj bi se na 4 hektarski površini, na sredini katere bi bila po možnosti ploskev intenzivnega monitoringa ICP. Pri češnji, ki ima v sestoji praviloma manjšo gostoto kot bukev, je bila vzpostavitev takšne ploskve zaradi premajhnega števila reproduktivnih dreves (vsaj 150) znotraj 4 ha nemogoča. Zato avtorji nemškega koncepta predpostavljajo, da se velikost ploskve za GGv lahko spreminja glede na drevesno vrsto ali celo glede na konkreten sestoj iste vrste. Preliminarni rezultati (posnetki stanja različnih generacij) nakazujejo, da kljub uporabi 18 meril za bukev in 14 za divjo češnjo ni jasnih povezav med vrednostjo posameznih meril in prilagoditveno sposobnostjo proučevanih populacij.

Iz tega razloga Aravanopoulos (2011) predlaga ponostavljen koncept GGv. Koncept je nastal zaradi lažje, čimprejšnje vzpostavitve mednarodnega sistema genetskega monitoringa, ki bi ga lahko po potrebi kasneje nadgradili. Tako vključuje tri kazalnike namesto predlaganih štirih (Namkoong in sod. 1996), ki se jih ocenjuje z le sedmimi merili.

Nadaljnje aktivnosti v procesu vzpostavitve monitoringa genetske pestrosti gozdov

Leta 1996 je Namkoong s sodelavci v zaključku koncepta zapisal osem specifičnih področij za nadaljnje raziskave. Vendar navkljub razvoju in večji dostopnosti molekularnih metod nismo dosegli zadovoljivega znanja niti na enem od teh področij. Zato področja, kamor usmerjamo nadaljnje aktivnosti v procesu vzpostavitve monitoringa genetske pestrosti gozdov, ostajajo enaka.

Avtorji tega preglednega članka kot največjo pomanjkljivost dosedanjih konceptov GGv vidimo odsotnost zanesljivih podatkov. Vsi koncepti namreč zahtevajo daljše časovne intervale med zbiranjem podatkov, zato preliminarni rezultati kažejo le del celotne slike, na kateri ni mogoče podati zanesljivih sklepov (Konnert in sod. 2011). Premalo je tudi raziskav, na podlagi katerih bi lažje ovrednotili posamezna merila in določili njihove kritične vrednosti (Graudal in sod. 2014; Aravanopoulos 2011). Kritične vrednosti so seveda odvisne od posamezne drevesne vrste (Miyamoto in sod. 2008), zato bo genetski monitoring potrebno prilagajati posameznim drevesnim vrstam ali skupinam vrst.

Svojevrsten problem predstavljajo tudi izbira primernih genetskih kazalnikov, statistične analize in napačna uporaba/interpretacija določenih indeksov, npr. fiksacijskega indeksa (F_{ST}) (Jost 2008, Hedrick 2005, Merimans 2006, Merimans in Hedrick 2011). Literatura, ki obravnava monitoring genetske pestro-

sti gozdov, je trenutno maloštevilčna (Namkoong in sod. 1996; Namkoong in sod. 2002; BLAG-Expert-group "Genetic Monitoring" 2004; Kremer in sod. 2005; Schwartz in sod. 2007; Miyamoto 2008; Allendorf in sod. 2010; Boyle 2010; Konnert in sod. 2011; Aravanopoulos 2011; Westergren in Kraigher 2011; Graudal in sod. 2014), v nekaterih primerih gre za pilotne raziskave; korelacije so ohlapne, fleksibilnost v načrtovanju praktičnega monitoringa velika. V želji po statistični signifikantnosti genetskih analiz, na katerih med drugim temeljijo tudi koncepti GGM, pristopa čedalje več različnih skupin raziskovalcev. Vse naštetu otežuje korektno uporabo metod in posledično zanesljivost rezultatov (Ioannidis 2005). Rezultati enkratnih analiz trenutnega stanja genetske pestrosti so potrebni kritične presoje. So le osnova za izbor potencialnih kazalnikov in meril genetskega monitoringa, katerih informacijsko vrednost je potrebno šele ovrednotiti s testiranjem konceptov monitoringa (Slika 2).

Trenutno potekata dva večja Evropska projekta na temo monitoringa genetske pestrosti. Prvi je raziskovalni projekt 7OP EU z akronimom FORGER, ki kot enega izmed ciljev navaja razvoj protokola za merjenje in monitoring genetske pestrosti. Projekt se zaključi novembra 2015 (<http://www.fp7-forger.eu/>). Drugi projekt je LIFE GENMON, ki ga financira Life+ in je implementacijski projekt za vzpostavitev sistema genetskega monitoringa. V okviru projekta bo na transektu od Nemčije do Grčije vzpostavljenih 6 ploskev za genetski monitoring bukve in kompleksa bele (*Abies alba* Mill.) ter borisove (*A. borisii regis* Mattf.) jelke, pripravljene bodo strokovne smernice za genetski monitoring v praksi ter strokovne osnove za pripravo zakonodajnih osnov, potrebnih za izvedbo monitoringa v prihodnosti. Hkrati bo tematika genetskega monitoringa približana tako laični kot tudi strokovni javnosti preko intenzivnih diseminacijskih aktivnosti. Projekt koordinira Gozdarski inštitut Slovenije (www.lifegenmon.si).

Čas, ki prihaja, bo za razvoj monitoringa genetske pestrosti izjemno zanimiv. Pilotni poizkusi bodo dobivali konkretnije rezultate, naše razumevanje gozdnih ekosistemov bo še za odtенок celovitejše. Vztrajno stopamo na doslej neraziskana tla, zato utegnejo nastati tudi morebitni znanstveni 'neuspehi', vendar pa tudi ti še kako pripomorejo k razvoju metod in dognanj, česar se v raziskovalni dejavnosti premalo zavedamo.

Zahvala

Avtorji se iskreno zahvaljujemo virom financiranja, programom in projektom, ki omogočajo vključenost Gozdarskega inštituta Slovenije v spremljanje in razvoj novih konceptov monitoringa genetske pestrosti gozdov. Mednje sodijo: Raziskovalni program Gozdna

biologija, ekologija in tehnologija (P4-0107), Javna gozdarska služba, CRP V4-1438 in LIFE GENMON, katerega sofinancirajo Evropski sklad za okolje LIFE+, MOP, MKGP in GIS, ter snovalcem sistema GGM v okviru programa EUFORGEN.

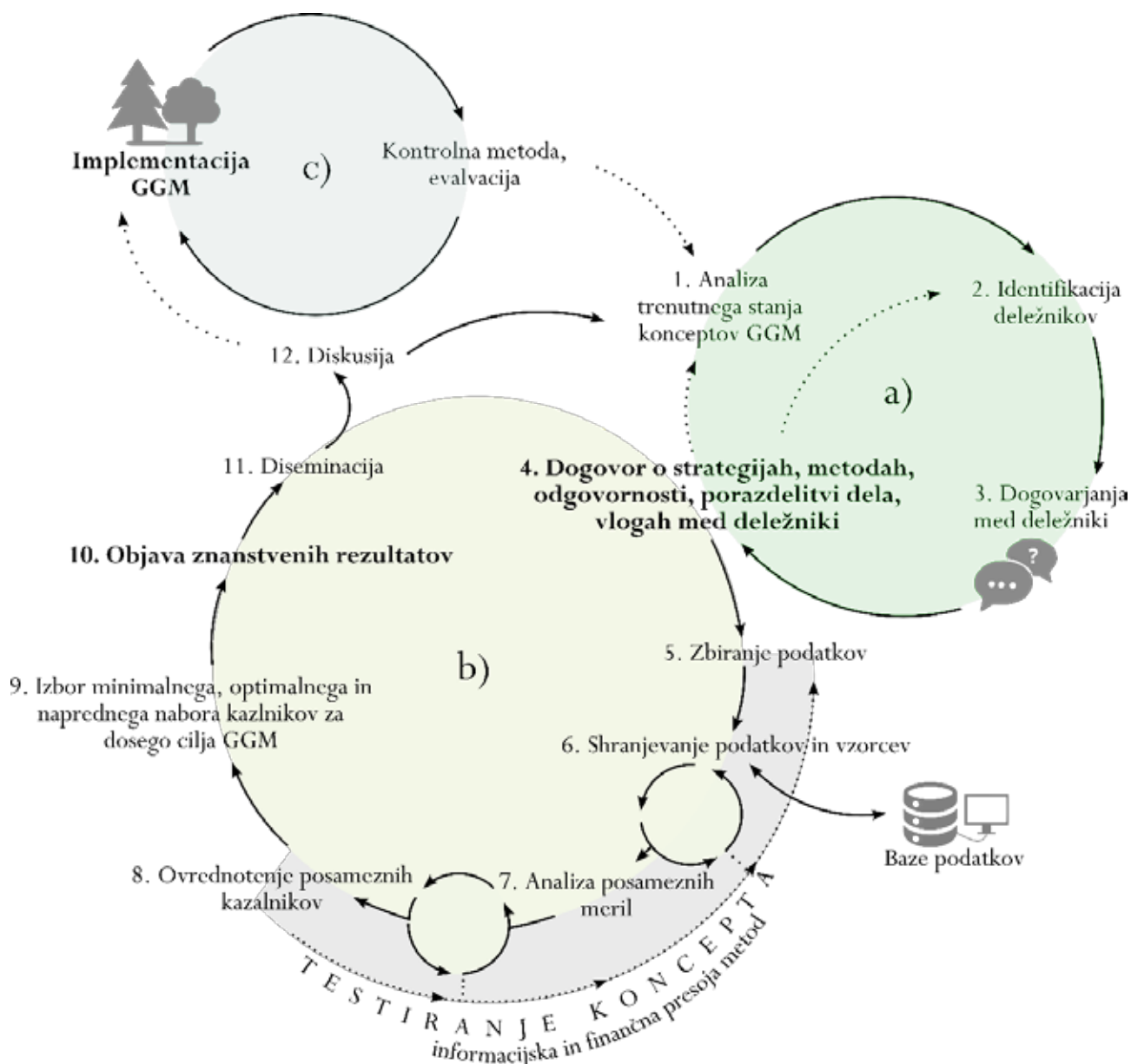
English summary

The biodiversity of ecosystems around the globe is declining at a rate of around 0.01 % to 0.7 % (Monastersky 2014). While scientific communities cannot yet specify the common reasons or the consequences of such diversity loss, there is, however, a common understanding: "the successional state influences the sensitivity of ecosystems to the loss of diversity in case of climatic changes." Also, ecosystems recovering from disturbances may be sensitive to even modest environmental shifts (Kröel-Dulay et al. 2015). As such, managed forest ecosystems are sensitive to the loss of biodiversity (Kimmins 1997).

A possible tool for gathering information on whether the forest ecosystem can adapt to the future changes of its environment, despite the biodiversity loss, is forest genetic monitoring (FGM) (Namkoong et al. 1996, Konnert et al. 2011). Here we present a review of current concepts of FGM, which are based on decades of strategic documents directly or indirectly stressing the need to monitor genetic diversity as the basic component of biodiversity (e.g. UN CBD 1992; Strasbourg S2; Helsinki H2, Helsinki H4; Lisbon L2, annex 1 and 2; Vienna V4, Vienna V5; Ferlin et al. 2002; NGP 2007; Warsaw Declaration 2007).

The first theoretical concept of FGM was proposed by Namkoong et al. (1996), under the CIFOR project. They proposed a system of criteria, indicators and verifiers, oriented to help local foresters to manage their forests sustainably in terms of genetic diversity. The concept was further developed in 2002 (Namkoong in sod. 2002) and with slight modifications put into practice in Bavaria by Konnert et al. (2011) under the name - "the German Concept".

While different authors pointed out several weaknesses of both the original and the modified concept (Boyle 2000, Aravanopoulos 2011, Graudal et al. 2014), this is mainly because we cannot yet fully understand the genetic data on the level of ecosystem responses (Boyle 2000, Graudal et al. 2014). Preliminary results of the only so far tested FGM, "the German Concept", merely present data from one time sampling. Therefore little knowledge exists on how the most appropriate FGM concept should look, as this requires several consecutive recordings of the state of genetic diversity in the forest. For the reasons above, Aravanopoulos (2011) proposed a simplified FGM concept in order to reduce the costs of FGM establishment and speed up



Slika 2: Shema vzpostavitve gozdnega genetskega monitoringa (GGM). Sestavljena je iz faze a), kjer se preučijo različni koncepti in raziskave, dognanja pa, z vključevanjem ostalih deležnikov, smiselno vključi v nov koncept. Dobro je, da med deležnike vključimo vse subjekte, ki so kakorkoli povezani z vzpostavitvijo GGM na nacionalni in mednarodni ravni: od partnerjev pri raziskavi, financerjev, načrtovalcev gozdnega prostora, revirnih gozdarjev, političnih odločevalcev, ... Z večjim vključevanjem koncept dobi širšo podporo pri končni vzpostavitvi GGM.

Sledi testiranje koncepta (faza b), kjer opravimo posnetek stanja GGM, vendar postopek opravimo na različne načine, s testiranjem več metod. Pri tem ustvarjamo ogromne količine podatkov, ki naj se sistematično zbirajo v standardiziranih bazah podatkov, kar bo ključno pri širjenju koncepta v mednarodni GGM. Vseskozi poteka informacijska in finančna presoja izbranih metod, s čimer koncept optimiziramo. Na podlagi takšne presoje se poda priporočilo izbora minimalnega, optimalnega in naprednega nabora kazalnikov, naše ugotovitve pa znanstveno objavi. Pomembno je, da takšno objavo posredujemo dalje različnim ciljnim skupinam, s čimer ponovno zagotavljamo višjo podporo in možnosti za dejansko implementacijo koncepta GGM. Na podlagi širše diskusije se odloči, ali koncept izpolnjuje zastavljene cilje in bo implementiran kot stalen monitoring, ali pa pošljemo koncept v ponovno analizo v fazo a). V kolikor je koncept implementiran v GGM, to ne pomeni, da gre za končno in absolutno rešitev, temveč se rezultate vedno znova evalvira in GGM prilagaja. Če se izkaže, da monitoring ne ustreza več izpolnitvi zastavljenih ciljev, se sistem povratne zanke (označen s črko c) vrne v začetno stanje faze a). (prilagojeno po Vincenti in sod. 2004)

its implementation, keeping in mind that FGM could be upgraded step by step in order to understand genetic data in relation to the forest ecosystem.

Currently there are two active European projects working with FGM: FORGER (<http://www.fp7-forger.eu/>) and LIFE GENMON (www.lifegenmon.si). The latter is financed by Life+ and aims to implement six monitoring plots for two tree species on the transect from Germany to Greece. The project is coordinated by the Slovenian Forestry Institute.

All concepts of FGM are still in their early stages, and so far only a pilot study has been applied. In order to successfully implement the complex idea of a functional FGM system, research, time and dedication are needed. Testing new concepts also means making mistakes. However, if we learn from them, they are welcome as a necessary step towards a feasible and much needed FGM.

Viri:

- Allendorf F. W., Hohenlohe P. A., Luikart G. 2010. Genomics and the future of conservation genetics. *Nature Reviews. Genetics*, 11: 697-709.
- Aravanopoulos F. 2011. Genetic monitoring in natural perennial plant populations. *Botany*, 89:75-81.
- BLAG-Expert-group "Genetic Monitoring". Concept on the Genetic Monitoring for Forest Tree Species in the Federal Republic of Germany. (2004) http://www.genres.de/fileadmin/SITE_Beirat-FGR/content/Bilder/Concept_on_the_Genetic_Monitoring_for_Forest_Tree_Species_in_the_Federal_Republic_of_Germany.pdf (1.4.2015).
- Boyle T.J. 2000. Criteria and indicators for the conservation of genetic diversity. V: *Forest conservation genetics*. Young A, Boshier D, Boyle T (ur.). Collingwood, CSIRO Publishing: 239-251.
- Brown A. H. D., Young A. G., Burdon J. J., Christidis L., Clarke G., Coates D., Sherwin W. 1997. Genetic indicators for State of the Environment Reporting. Dept. of Environment, Sports and Territories Technical Report, Canberra.
- Ferlin F., Kraigher H., Veselič Ž., Golob A., Kolar-Planinšič V. in sod. Hlad B. (urednica), Černe F. (urednik). (2002). Strategija ohranjanja biotske raznovrstnosti v Sloveniji. http://www.natura2000.gov.si/fileadmin/user_upload/ang_vsebine/biotska.pdf (1. 4. 2015).
- FORGER <http://www.fp7-forger.eu/> (1. 4. 2015).
- Garcia A. R., Cabeza M., Rahbek C., Araujo M. 2014. Multiple Dimensions of Climate Change and Their Implications for Biodiversity. *Science*, 344: 6183.
- Geijzendorffer I. R., Regan E. C., Pereira H. M., Brotons L., Brummitt N., Gavish Y., Haase P., Martin C. S., Mihoub J.-B., Secades C., Schmeller D. S., Stoll S., Wetzell F. T., Walters M. 2015. Bridging the gap between biodiversity data and policy reporting needs: An Essential Biodiversity Variables perspective. *Journal of Applied Ecology*. doi: 10.1111/1365-2664.12417.
- Graudal L., Aravanopoulos F., Bennadji Z., Changtragoon S., Fady B., Kjær D. E., Loo J., Ramamonjisoa L., Vendramin G. G. 2014. Global to local genetic diversity indicators of evolutionary potential in tree species within and outside forests. *Forest ecology and management*, 333: 35-51.
- Hedrick P. W. 2005. A standardized genetic differentiation measure. *Evolution*, 59: 1633-1638.
- Helsinki H2. "General Guidelines for the Conservation of the Biodiversity". (1993). http://www.foresteurope.org/docs/MC/MC_helsinki_resolutionH2.pdf (1. 4. 2015).
- Helsinki H4. "Adaptation of Forests in Europe to Climate Change". (1993). http://www.foresteurope.org/docs/MC/MC_helsinki_resolutionH4.pdf (1. 4. 2015).
- Ioannidis PA J. 2005. Why Most Published Research Findings Are False. *PLoS Med*, 2, 8: e124.
- Jost L. 2008. Gst and its relatives do not measure differentiation. *Molecular Ecology*, 17: 4015-4026.
- Kimmins J. P. 1997. *Ecological Succession: Process of Change in Ecosystems*. V: *Forest Ecology: A foundation for sustainable management*. New Jersey, Prentice-Hall, Inc.: 399-499.
- Konnert M., Maurer W., Degen B., Kätzel R. 2011. Genetic monitoring in forests - early warning and controlling system for ecosystemic changes. *IForest* 4: 77-81.
- Koskela J., Lefevre F., Schueler S., Kraigher H., Olrik D.C., Hubert J., Longauer R., Bozzano M., Yrjana L., Alizoti P., Rotach P., Vietto L., Bordacs S., Myking T., Eysteinnsson T., Souvannavong O., Fady B., De Cuyper B., Heinze B., von Wühlisch G., Ducousso A., Ditlevsen B. 2013. Translating conservation genetics into management: Pan-European minimum requirements for dynamic conservation units of forest tree genetic diversity. *Biological Conservation*, 157: 39-49.
- Kraigher H. 1996. Kakovostne kategorije gozdnega reprodukcijskega materiala, semenske plantaže in ukrepi za izboljšanje obroda. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 51: 199-215.
- Kraigher H., Žitnik S. 1999. Slovenska gozdna genska banka. *Sodobno kmetijstvo*, 32: 46-50.
- Kraigher H. 2010a. Ohranjanje genskih virov – kratek pregled aktivnosti v Sloveniji: tehnične smernice za ohranjanje in rabo genskih virov: *Gozdarski vestnik*, 68, 2: 95-96.
- Kraigher H. 2010b. Ohranjanje in raba genskih virov v luči klimatskih sprememb: tehnične smernice za ohranjanje in rabo genskih virov. *Gozdarski vestnik*, 68, 9: 423.
- Kraigher H. 2011a. Projekt EUFGIS – Vzpostavitev evropskega informacijskega sistema o gozdnih genskih virih: tehnične smernice za ohranjanje in rabo genskih virov. *Gozdarski vestnik*, 69, 2: 99.
- Kraigher H. 2011b. Stanje gozdov v Evropi – genski viri (stanje leta 2010): tehnične smernice za ohranjanje in rabo genskih virov. *Gozdarski vestnik*, 69, 3: 159.
- Kremer A., Caron H., Cavers S., Colpaert N., Gheysen G., Gribel R., Lemes M., Lowe A.J., Margis R., Navarro C., Salgueiro F. 2005. Monitoring genetic diversity in tropical trees with multilocus dominant markers. *Heredity* 95: 274-280.
- Kröel-Dulay G., Ransijn J., Schmidt K. I., Beier C., De Angelis P., de Dato G., Sukes S. J., Emmet B., Estiarte M., Garadnai J., Kongstad J., Kovacs-Lang E., Larsen S. K., Liberati D., Ogaya R., Riis-Nielsen T., Smith R. A., Sowerby A., Tietema A., Penuelas J. 2015. Increased sensitivity to climate change in disturbed ecosystems. *Nature Communications* 6: 6682.
- Laike L., Larsson C. L., Palmé A., Charlier J., Josefsson M., Ryman N. et al. 2008. Potentials for monitoring gene level biodiversity: using Sweden as an example. *Biodiversity Conservation*, 17: 893-910.
- Lifegenmon <http://www.lifegenmon.si/> (1. 4. 2015).
- Lizbona L2. "Pan-European Criteria, Indicators and PEOLG for Sustainable Forest Management" (1998) http://www.foresteurope.org/docs/MC/MC_lisbon_resolutionL2.pdf (1. 4. 2015).
- Merimans G. P. 2006. Using the amova framework to estimate a standardized genetic differentiation measure. *Evolution*, 60: 2399-2402
- Merimans G. P., Hedrick W.P. 2011. Assessing population structure: Fst and related measures. *Molecular Ecology Resources*, 11: 5-18.
- Monastersky R. 2014. Biodiversity: Life – a status report. *Nature*. 516: 158-161.
- Miyamoto N., Fernandez-Manjarrés J. F., Morand-Prieur M.E., Bertolino P., Frascaria-Lacoste N. 2008. What sampling is needed for reliable estimations of genetic diversity in Fraxi-

- nus excelsior L. (Oleaceae)? *Annals of Forest Science*, 65, 4: 403pp.1 - 403pp.8.
- Namkoong G., Boyle T., Gregorius HR., Joly H., Savolainen O., Ratnam W., Young A. 1996. Testing criteria and indicators for assessing the sustainability of forest management: genetic criteria and indicators. Working paper No. 10, Bogor, Centre for International Forestry Research (CIFOR): 12str.
 - Namkoong G., Boyle T., El-Kassaby Y. A., Palmberg-Lerche C., Eriksson G., Gregorius H-R., Joly H., Kremer A., Savolainen O., Wickneswari R., Young A., Zeh-Nlo M., Prabhu R. 2002: Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management: Assessment and Monitoring of Genetic Variation. Rim, Food and Agriculture Organization of the United Nation, Forestry Department: 46str.
 - Resolucija o nacionalnem gozdnem programu. 2007. Ur. l. RS št. 111/07.
 - Schwartz MK., Luikart G., Waples RS. 2007. Genetic monitoring as a promising tool for conservation and management. *Trends in Ecology & Evolution*, 22: 25-33.
 - SSKJ - Slovar slovenskega knjižnega jezika, spletna izdaja. (2000). <http://bos.zrc-sazu.si/sskj.html> (1. 4. 2015).
 - Strasbourg S2. "Conservation of Forest Genetic Resources." (1990). http://www.foresteurope.org/docs/MC/strasbourg_resolution_s2.pdf (1. 4. 2015)
 - Usher M. Edited reports from four biodiversity conservation priority workshops in Scottish Biodiversity Committee – Action Plan and Science Group – Biodiversity Conservation Priority Workshop, Edinburgh. (2002) www.biodiversityscotland.gov.uk (1. 4. 2015).
 - Varšavska deklaracija. (2007). http://www.foresteurope.org/docs/MC/MC_warsaw_declaration.pdf (1. 4. 2015).
 - Vinceti B., Amaral W., Meilleur B. 2004. Challenges in managing forest genetic resource for livelihoods: examples from Argentina and Brazil. Rim, International Plant Genetic Resources Institute: 271 str.
 - Westergren M., Kraigher H., 2011. Monitoring genetske pestrosti gozdov. *Gozdarski vestnik*, 69, 5-6: 322-326.
 - Whitham T. G., Bailey J. K., Schweitzer A. J., Shuster S. M., Bangert K. R., LeRoy J. C., Lonsdorf V. E., Allan J. G., DiFazio P. S., Potts M. B., Fisher G. D., Gehring A. C., Marks C. J., Hart C. S., Wimp M., G., Wooley C. S. 2006. A framework for community and ecosystem genetics: from genes to ecosystems. *Nature Reviews Genetics*, 7: 510-523.
 - Zakon o gozdovih. 1993. Ur. l. RS št. 30/93, 67/02, 110/07, 106/10, 63/13, 17/14 .

MONITORING OF ECTOMYCORRHIZAL TYPES ON TREES IN SERBIA

dr. Marina Katanić¹, prof. dr. Saša Orlović¹, dr. Tine Grebenc², Bratislav Matović¹, Marko Bajc²,
prof. dr. Hojka Kraigher²

¹University of Novi Sad, Institute of Lowland Forestry and Environment, Antona Čehova 13, 1000 Novi Sad, Serbia

²Slovenian Forestry Institute, Department of Forest Physiology and Genetics, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenia

Keywords: mycorrhiza, fungi, forest, diversity, identification

Abstract

Mycorrhizal fungi are an important part of belowground biodiversity with considerable influence on functioning of forest ecosystems. Thus, research of mycorrhizal diversity is the basis for evaluation of conditions prevailing in forest ecosystems. The aim of this paper is to give an overview of monitoring of ectomycorrhizal types on tree species in Serbia. Diversity of ectomycorrhizal types was monitored on white poplar growing under different site conditions, management systems and environmental conditions (pollution). It was studied also on common beech from Stara planina and was compared in co-natural managed beech stands at four different sites in Serbia: Homoljske planine, Čemernik-Ostrozub, Istočna Boranja and Fruška gora from two distinct seasons. Subsequently, ectomycorrhizal diversity was studied in mixed Norway spruce stands from Stara planina, Kopaonik and Tara. Ectomycorrhizal types were identified by morphological and anatomical approaches, which were in some studies supplemented with molecular methods. The results present an important database that gives an insight into the diversity of ectomycorrhizal types.

Introduction

Ectomycorrhiza (ECM) is the most common type of mycorrhizae in temperate and boreal forest ecosystems providing conditions for growth and survival of trees (Smith and Read 2008). Diversity and occurrence of ECM fungi can change during different successional stages of the forest and under the influence of stress (Kraigher et al. 2007). The functional compatibility, physiology and stress tolerance of ECM types is species specific and dependent on both partners: fungi and the tree. Therefore information on the ECM community structure can provide valuable information about the physiology of forest trees and functioning of forest ecosystems (Kraigher 1996).

Due to the great importance of ECM fungi in forest ecosystems, attempts have been made in Serbia in

recent years to gain an insight into the diversity of ectomycorrhizal types on important tree species, namely white poplar (*Populus alba* L.), common beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Results of these studies present an important database that provides an insight into the diversity of ectomycorrhizal types.

Materials and methods

Site and stand characteristics and taking samples

Studies on ECM diversity in Serbia started in a white poplar plantation near Novi Sad, where poplar trees were of clonal origin and multiplied in vitro. Samples were collected in summer 2007 and autumn 2008. Afterwards, the community of ECM fungi in the same plantation was studied seasonally from autumn 2009 to summer 2010. The special nature reserve "Kovilj-Petrovaradin Marshes" is a natural habitat of autochthonous white poplar, where samples were taken in autumn 2009 and spring 2010. A site near the Timok River (eastern Serbia) was contaminated with pyrite tailings containing heavy metals and had a low pH. It was studied in autumn 2009 and summer 2010.

As part of the project "Biosensing technologies and global systems for continuous research and integrated management of ecosystems" financed by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia, the diversity of ECM types was studied on beech from Stara planina in autumn 2009 and spring 2011. The diversity of ECM types was also studied in naturally managed common beech stands from four sites in Serbia: Homoljske planine, Čemernik-Ostrozub, Istočna Boranja and Fruška gora in winter 2011 and spring 2012. In mixed spruce stands from Stara planina, Kopaonik and Tara, ECM diversity was studied in autumn 2013. A soil corer of 274 ml volume and reaching a depth of 18 cm was used for collecting standardized soil core samples (Kraigher 1999).

*marinakatanic44@gmail.com

Determination of ectomycorrhizal types

ECM types were identified using morphological and anatomical approaches, which in some studies were supplemented with molecular methods. Morphological and anatomical characteristics of each ECM type were assessed by a binocular (light source Olympus Highlight 3100, daylight filter) and microscope Olympus BX 51 (magnification 100–2000 x) following the methodology of Agerer (1991) and Kraigher (1996), and ECM descriptions published in Agerer (1987–2008), Agerer et al. (2001–2006) and Agerer and Rambold (2004–2013). Molecular identification was based on nucleotide sequencing of ITS regions in nuclear ribosomal DNA. The ITS region was amplified with an ITS 1f and ITS 4 primer pair. DNA fragments were separated in and excised from agarose gel and purified with Wizard® SV Gel and PCR Clean-up System (Promega Corporation, Madison, WI, USA). Sequencing was performed commercially at Macrogen Inc. (Seoul, Rep. of Korea). Species, genus or family of ECM fungi was determined by comparing sequences to the ones deposited in the GenBank and Unite databases.

ECM types on white poplars were identified by combining morphological and anatomical descriptions with molecular methods. Identification of the fungal partner in ECM on beech and Norway spruce was performed by morphological and anatomical characterization. For a few ECM types on beech from Stara planina molecular analyses were done as well.

Results and discussion

In the first studies of ECM diversity in a white poplar plantation, 15 ECM types were recorded in 2007 and 2008 (Katanić et al. 2008; Katanić et al. 2010). Four types of ECM were identified to the species level (*Tuber rufum* Pico, *Inocybe squamata* J.E. Lange, *Hebeloma vaccinum* Romagn, *Hymenogaster citrinus* Vittad), six were determined to the genus level (*Tomentella* sp. 1 *Tomentella* sp. 2, *Tomentella* sp. 3, *Tomentella* sp. 4, *Inocybe* sp., *Tuber* sp. 1, *Tuber* sp. 2), two types were determined to the family level (*Cortinariaceae* and *Thelephoraceae*), one type to the order level (Agaricales) and one type was classified as a member of *Ascomycetes*.

When a community of ECM fungi was studied seasonally in the same plantation, 30 ECM types were recorded in total (Katanić 2014). The highest number of ECM types was recorded in winter (22), then in spring (19), while the lowest number was found in autumn and summer (17). *Genabea fragilis* Tul. & C. Tul., *Hebeloma vaccinum* Romagn, *Hymenogaster olivaceus* Vittad., *Inocybe cincinnata* (Fr.) Quél., *Inocybe griseovelata* Kühner, *Inocybe obsoleta* Romagn., *Inocybe squamata* J.E. Lange, *Inocybe umbrinella* Bres., *Peziza* cf. *succosa* Berk., *Peziza depressa* Berk., *Scleroderma*

bovista Fr., *Sebacina incrustans* (Pers.) Tul. & C. Tul., *Tuber maculatum* Vittad. and *Tuber rufum* Pico were identified to the species level. *Entoloma* sp., *Geopora* sp., *Inocybe* sp. 1, *Inocybe* sp. 2, *Peziza* sp., *Tarzetta* sp., *Tomentella* sp. 1, *Tomentella* sp. 2, *Tomentella* sp. 3, *Tomentella* sp. 4, *Tomentella* sp. 5, *Tomentella* sp. 6 and *Wilcoxina* sp. were identified to the genus level. *Cortinariaceae* sp. and *Thelephoraceae* sp. were identified to the family and one type remains unknown. The species richness index was the highest in winter and the lowest in summer. On the other hand, the Shannon-Weaver index had the highest value in spring and the lowest in summer. During all seasons *Geopora* sp., *Inocybe cincinnata* (Fr.) Quél., *Inocybe griseovelata* Kühner, *Inocybe* sp. 2, *Tomentella* sp. 2, *Tomentella* sp. 6, *Tomentella* sp. 3, *Tuber rufum* Pico and *Tuber maculatum* Vittad. were present.

In an autochthonous white poplar stand in “Kovilj-Petrovaradin Marshes” in two examined seasons 20 ECM types were recorded (Katanić 2014). Eleven types were identified to the species level (*Cenococcum geophilum* Fr., *Genea verrucosa* Vittad., *Hebeloma vaccinum* Romagn, *Hymenogaster tener* Berk., *Inocybe* cf. *meliolens* Kühner, *Inocybe* cf. *rimosa* (Bull.) P. Kumm., *Inocybe maculata* Boud., *Inocybe obsoleta* Romagn., *Sebacina incrustans* (Pers.) Tul. & C. Tul., *Tuber maculatum* Vittad. and *Tuber rufum* Pico), and six were determined to the genus (*Clavulina* sp., *Entoloma* sp., *Inocybe* sp., *Peziza* sp., *Tomentella* sp. 1 and *Tomentella* sp. 2). Additionally, two types were determined to the family level (*Cortinariaceae* sp. and *Thelephoraceae* sp.) and one type remained unidentified.

At a pyrite tailings contaminated site near the Timok River, Katanić et al. (2011) recorded six ECM types in autumn: *Tricholoma scalpturatum* (Fr.) Quel, *Tuber puberulum* Berk. & Br., *Thelephora* sp., and an unidentified species belonging to the orders Helotiales, Sebaciales and Sordariomycetidae. However, only four different fungi were found at the investigated site in summer (Katanić et al. 2014). *Thelephora terrestris* Pers. and *Tomentella ellisi* (Sacc.) Jülich & Stalpers were identified to the species level and 89% of all ECM roots belonged to *Thelephora terrestris* Pers. Results of these studies indicated that diversity of ECM fungi could be decreased due to unfavorable environmental conditions prevailing at the site, and the ECM community could be used as an appropriate indicator of environmental changes.

On beech from Stara planina eighteen types were recorded in e autumn 2009 (*Cenococcum geophilum* Fr., *Genea hispidula* Berk. & Br., *Fagirhiza setifera*, *Lactarius blennius* Fr, *Russula veternosa* Fr., *R. densifolia* Secr. ex Gillet, *Xerocomus chrysenteron* Bull.,

Cortinarius sp. 1, *Cortinarius* sp. 2, *Lactarius* sp., *Russula* sp., *Tomentella* sp., *Tuber* sp.), while five types remained unidentified (Katanić et al. 2010). Twenty four ECM types were found in spring 2011. *Xerocomus chrysenteron* Bull., *Cenococcum geophilum* Fr., *Cortinarius bolaris* (Pers.: Fr.) Fr., *Geastrum fibriatum* Fr., *Genea hispidula* Berk. & Br., *Fagirhiza setifera*, *F. fusca*, *Lactarius blennius* Fr., *L. palidus* Pers.:Fr., *L. rubrocinctus* Fr., *L. subdulcis* Bul:Fr., *L. vellereus* (Fr.) Fr., *Russula mairei* Sing. and *R. veternosa* Fr. were identified to the species level, three types were determined to the genus level (*Russula* sp., *Tomentella* sp. and *Tuber* sp.) and seven types remained unidentified (Katanić et al. 2011). Most of the observed species in our study have been recorded on beech before (Grebenc 2005; Grebenc and Kraigher 2007).

In common beech stands from four different sites in Serbia, Katanić et al. (2012) preliminarily described and identified 26 ECM types in early winter. Eight types of ectomycorrhiza were found at the sites Fruška gora and Istočna Boranja, nine types in Čemernik-Ostrozub and ten ECM types were observed in Homoljske planine. Eleven types of ECM were identified to the species level: *Cenococcum geophilum* Fr., *Cortinarius bolaris* (Pers.:Fr.), *Fagirhiza cystidiophora*, *Fagirhiza tubulosa*, *Geastrum fimbriatum* Fr., *Genea hispidula* Berk.&Br., *Lactarius blennius* Fr., *Lactarius subdulcis* Bul: Fr, *Piloderma croceum* Erikss.& Hjortst, *Russula illota* Romagn., *Russula ochroleuca* (Pers.) Fr., five types were determined to the genus level: *Lactarius* sp., *Russula* sp. 1, *Russula* sp. 2, *Russula* sp. 3 and *Tuber* sp., while ten ECM types remained unidentified.

Influence of season on ECM diversity on beech from the same four sites in Serbia was analyzed by Katanić et al. (2013). In spring 23 ECM types were observed, from which six ECM types were found in Fruška gora, ten ECM types in Istočna Boranja, eleven types in Čemernik-Ostrozub and eight ECM types were observed in Homoljske planine. The Shannon Weaver diversity index was higher in spring compared to winter. In winter it ranged from 1.30 in Istočna Boranja to 1.64 in Fruška gora, while the same index in spring ranged from 1.64 in Homoljske planine to 1.81 in Istočna Boranja. The majority of dominant ECM types on the study sites were present in both seasons, but higher diversity indices were recorded in spring compared to winter.

Studying ECM diversity in mixed Norway spruce stands from Stara planina, Kopaonik and Tara in autumn 2013, Katanić et al. (2014) recorded a total of eleven ECM types, of which six were found at the Stara planina site, five in Kopaonik and six were observed in Tara. The species richness index and the Shannon Weaver diversity index were 1.26 and 1.14 at Kopaonik; 1.61 and 1.31 at Stara planina and 1.75 and 1.54 at Tara,

respectively. Diversity indices in our study were lower compared to those recorded on comparable natural sites with spruce (Kraigher 1999; Kraigher and Al Sa-yegh-Petkovšek 2011).

The results of this study present an important database that gives an insight into the diversity of ECM types, seasonal dynamics of the ECM community and represent the basis for the further biodiversity and myco-bioindication studies. The database is also a good starting point for future forest monitoring programs and detection of specific impacts and changes in forest ecosystems. The ECM monitoring at the representative sites should be continued and future projects should be opened for cooperation and joint research actions.

Acknowledgement

This paper was realized as a part of the projects III 43002 and III43007 financed by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia and research work performed at the Slovenian Forestry Institute was co-financed through the research program Forest Biology, Ecology and Technology P4-0107, financed by the Ministry of Education, Science and Sport of the Republic of Slovenia.

Literature

- Agerer R. 1991. Characterization of ectomycorrhiza. In: Techniques for the study of mycorrhiza. (Norris JR, Read DJ, Varma AK eds). Methods in Microbiology 23, Academic Press London, UK: 25-72
- Agerer R. Ur. 1987-2008. Colour Atlas of Ectomycorrhizae 1st-13th Edition. Einhorn-Verlag, Schwäbisch Gmünd, Germany
- Agerer R., Danielson R.M., Egli S., Ingleby K., Luoma D., Treu R. 2001-2006. Descriptions of ectomycorrhizae 1st – 10th Vol. Einhorn-Verlag, Schwäbisch Gmünd, Germany
- Agerer R., Rambold G. 2004–2013. DEEMY – An Information System for Characterization and Determination of Ectomycorrhizae. www.deemy.de – München, Germany
- Grebenc T. 2005. Tipi ektomikorize na bukvi (*Fagus sylvatica* L.) v naravnem in gospodarskem gozdu. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 174 str.
- Grebenc T., Kraigher H. 2007. Types of ectomycorrhiza of mature beech and spruce at ozone-fumigated and control forest plots. Environ Monit Assess, 128: 47–59
- Katanić M. 2014. Diversity of mycorrhizal fungi of poplars (*Populus* spp.), PhD thesis. Novi Sad, Faculty of Sciences, University of Novi Sad: 194 [in Serbian]
- Katanić M., Orlović S., Grebenc T., Štupar B., Galić Z., Kovačević B., Kraigher H. 2010. Identification of ectomycorrhizal types in a white poplar (*Populus alba* L.) plantation near Novi Sad. Les, 62, 5: 155–159
- Katanić M., Orlović S., Grebenc T., Galić Z., Stojnić S., Kraigher H. 2011. Ectomycorrhizal types on beech from Stara planina. Topola (Poplar), 187/188: 85-98 [in Serbian]
- Katanić M., Grebenc T., Hrenko M., Štupar B., Galić Z., Orlović S., Kraigher H. 2008. First identification of types of ectomycorrhiza in white poplar (*Populus alba* L.) stand in vicinity of Novi Sad Topola (Poplar), 181/182: 49-59 [in Serbian]
- Katanić M., Matović B., Orlović S., Pekeč S., Grebenc T., Kraigher

- H. 2013. Ectomycorrhizal communities in four different beech stands in Serbia during two seasons. In: Abstracts of International Scientific Conference of Forest Research Institute at the Bulgarian Academy of Sciences 85th Anniversary, Sofia, 1-2 October 2013, 73
- Katanić M., Orlović S., Grebenc T., Bajc M., Galić Z., Kebert M., Kraigher H. 2011. Mycorrhizal fungi on poplars from a pyrite contaminated site, Proceedings book of „STREPOW“ International Workshop, February 23 - 24, 2011 Andrievlje-Novı Sad, Serbia: 305-312
 - Katanić M., Orlović S., Grebenc T., Galić Z., Stojnić S., Kraigher H. 2010. Ectomycorrhizal types of beech forest at mountain Stara planina. In: Book of abstracts and programme of COST FP 0803: Belowground carbon turnover in European forests 2nd meeting: Belowground complexity, Ljubljana 1-4 September 2010. (Verlić A., Mali B. and Kraigher H. eds.):33
 - Katanić M., Orlović S., Grebenc T., Kovačević B., Kebert M., Matavulj M., Kraigher H. 2014. Mycorrhizal fungal community of poplars growing on pyrite tailings contaminated site near the river Timok. SEEFOR 6 (1): early view DOI: <http://dx.doi.org/10.15177/seefor>: 14-18
 - Katanić M., Orlović S., Grebenc T., Kraigher H. (2014) Ectomycorrhizal communities of different spruce stands in Serbia. In: Book of abstracts of International Symposium: “Forest and sustainable development”, 24-25 October, 2014, Brasov, Romania, 35
 - Katanić M., Matović B., Pekeć S., Grebenc T., Kraigher H. 2012. Diversity of ectomycorrhiza in beech stands from different localities in Serbia. In: Proceedings of International Scientific Conference: „Forest in future, sustainable Use, Risks and Challenges“, 4th-5th October, 2012, Belgrade, Republic of Serbia: 187-194
 - Kraigher H. 1996. Tipi mikorize: taksonomija, pomen, aplikacija. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 49: 33-66
 - Kraigher H. 1999. Diversity of types of ectomycorrhizae on Norway spruce in Slovenia. Phytion, 39, 3: 199-202
 - Kraigher H., Al Sayegh-Petkovšek S. 2011. Mycobioindication of stress in forest ecosystems. V: RAI, Mahendra (ur.), VARMA, Ajit (ur.). Diversity and biotechnology of ectomycorrhizae (Soil biology, vol. 25). Heidelberg; New York: Springer: 301-322
 - Kraigher H., Al Sayegh-Petkovšek S., Grebenc T., Simončič P. 2007. Types of ectomycorrhiza as pollution stress indicators: case studies in Slovenia. Environmental Monitoring and Assessment, 128, 1: 31-45
 - Smith S.E., Read D.J. 2008. Mycorrhizal symbiosis. Cambridge, Academic Press: 815

ZGODNJESEZONSKI KSILEMSKI TOK VODE PRI PUHASTEM HRASTU (*QUERCUS PUBESCENS* WILLD.)

Early seasonal xylem water flow in pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.)

Martina Lavrič^{1*}, dr. Mitja Ferlan², dr. Klemen Eler^{2,3}, prof. dr. Dominik Vodnik³

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

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

³Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: puhasti hrast, ksilemski tok, zgodnja sezona, fenološki razvoj

Keywords: pubescent oak, xylem flow, early season, phenology

Izvleček

Ksilemski tok vode poganja tlačna razlika, ki najpogosteje nastane v nadzemnem delu rastline zaradi procesa transpiracije. Tako je močno odvisen od prevodnosti listnih rež in transpiracijske površine. V poskusu smo raziskovali povezavo med olistanostjo in sezonsko dinamiko ksilemskega toka pri puhastem hrastu (*Quercus pubescens* Willd.). Meritve so potekale na Podgorskem krasu na JZ delu Slovenije. Na raziskovalni ploskvi smo izbrali 6 prosto rastočih dreves in jih opremili z merilniki ksilemskega toka, ki delujejo po metodi toplotnega razmerja oz. Heat Ratio Method. Vzporedno smo opravljali meritve indeksa listne površine in spremljali fenološki razvoj. Meteorološke podatke smo pridobili iz mikrometeorološkega stolpa. Iz rezultatov, pridobljenih od 1. aprila do 31. maja 2014, smo ugotovili, da ima puhasti hrast na začetku rastne sezone povratni ksilemski tok. V sredini aprila je dosegel največjo negativno povprečno dnevno vrednost $-0,23 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. Fenomen povratnega toka, ki se dogodi zaradi gradienta v vodnem potencialu med koreninami in talnimi plastmi koreninjenja, je potrebno še podrobneje raziskati in ovrednotiti. Z razvojem brstov je ksilemski tok spremenil smer in se večal skladno s fenološkim razvojem in večanjem indeksa listne površine. V drugi dekadi maja je dosegel povprečno dnevno vrednost $2,76 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. Ugotovili smo, da imata zgodnje sezonski ksilemski tok vode in razvoj listov na začetku rastne sezone zelo podoben vzorec in sta med seboj tesno povezana.

Abstract

Xylem flow is driven by pressure difference, which is most commonly generated in the upper part of the plant by transpiration. It is strongly dependent on conductivity of leaf stomata and transpiring surface area. In this research we investigated xylem flow of pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.) in relation to leaf development. Our study took place at the Podgorski Kras plateau in SW Slovenia. We selected six solitary oaks, which were equipped with sap-flow gauges based on the Heat Ratio Method. In parallel we also measured leaf area index and monitored phenological development of oaks. Data on meteorological parameters were obtained from a micrometeorological tower. In this research a data frame from April 1 to May 31 2014 was evaluated. Sap flow measurements revealed reverse flow in xylem in early spring. In mid-April the averaged flow density was the most negative, $-0.23 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. The phenomenon of reverse flow, which originates from water potential gradients between roots and drier rooting horizons, should be further investigated and more thoroughly quantified. With development of new shoots, xylem sap flow changed direction and increased following leaf unfolding. This increase coincided well with the increase of leaf area index. In May averaged flow density reached a maximum, $2.76 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. We found that both xylem water flow and development of leaves at the beginning of the growing season have a very similar seasonal pattern and that they are closely linked.

*martina.lavric@gozdis.si

Uvod

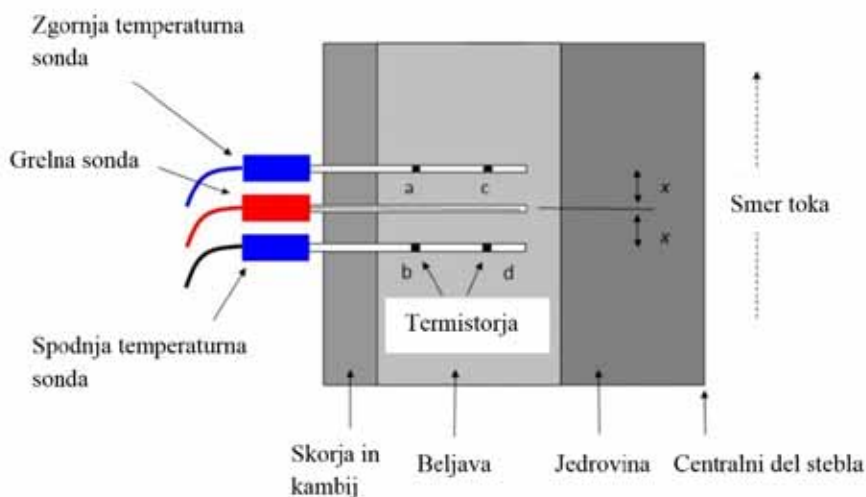
Tok vode iz korenin v nadzemne dele rastline poganja tlačna razlika v ksilemu, ki omogoča gibanje vode z mesta z večjim vodnim potencialom (pozitiven potencial tlaka) na mesta z manjšim vodnim potencialom (negativen potencial tlaka). Ko ima rastlina reže zaprte, je tlačna razlika rezultat koreninskega tlaka, ki se razvije zaradi kopičenja ionov mineralnih hranil v centralnem cilindru korenine in osmotskega vstopa vode. Pogosteje pa se le-ta ustvarja v nadzemnem delu rastline. Ob oddajanju vode skozi reže v ozračje, tj. transpiraciji, se v apoplastu listne sredice vzpostavlja tenzija, ki omogoča vlek vode. Hitrost ksilemskega toka je zato močno odvisna od prevodnosti listnih rež in od dejavnikov, ki le-to določajo, od temperature, zračne vlage, vsebnosti vode v tleh in drugih. Tok je odvisen tudi od transpiracijske površine (Larcher 2003; Zweifel in sod. 2007), zato lahko pri listopadnih drevesih pričakujemo povezavo med olistanostjo in sezonsko dinamiko ksilemskega toka.

To povezavo smo želeli proučiti za puhasti hrast (*Quercus pubescens* Willd.), vrsto z venčasto poroznim lesom (Taneda in Sperry 2008), ki je zelo razširjena na območjih s sredozemsko klimo (Damesin in Rambal 1995). Pri nas je najbolj pogosta na jugozahodu, kjer prevladuje submediteranska klima. Dominira tudi na zaraščajočih travnikih Podgorskega krasa, kjer od leta 2008 potekajo raziskave kroženja ogljika in vode (Ferlan in sod. 2011). Za raziskave vodne bilance je puhasti hrast zanimiv, ker je za preživetje v sušnih okoljih razvil številne prilagoditve in strategije, kot so strategija povečane fotosintetske asimilacije, »konzervativna raba vode« in druge (Damesin in Rambal 1995; Eilmann in sod. 2009). V poskusu smo z neposrednimi meritvami ksilemskega toka ter s sočasnimi meritvami listne površine in fenološkimi opazovanji želeli proučiti lastnosti transporta vode v zgodnji vegetacijski sezoni.

Materiali in metode

Poskus je potekal na Podgorskem krasu, kjer smo za raziskovalno ploskev izbrali zaraščajoči travnik (Ferlan in sod. 2011). Na ploskvi smo izbrali 6 solitarnih dreves puhastega hrasta (H1-H6), na katerih smo opravljali meritve ksilemskega toka, indeksa listne površine in opravljali fenološka opazovanja.

Tok vode skozi ksilem smo merili z eno izmed metod za merjenje ksilemskega toka (ang. sap flow methods), katerih osnova je segrevanje dela stebela in spremljanje toplote v okolici segrevanega mesta (Smith in Allen 1996; Burgess in sod. 2001). Uporabili smo metodo toplotnega razmerja oz. Heat Ratio Method (HRM), ki je nadgradnja metode toplotnega pulza (Heat-pulse method) in meri razmerje v povečanju temperature, ki se pojavi ob sprostitvi pulza toplote med dvema enako oddaljenima temperaturnima sondama. Omogoča merjenje velike in majhne hitrosti toka tekočine skozi ksilem v steblih in debelih s premerom večjim od 10 mm ter v koreninah. HRM merilnik (Slika 1) je tudi edini merilnik ksilemskega toka, ki omogoča merjenje zelo majhnih hitrosti toka ($<0,1 \text{ kg h}^{-1}$) (Lambers in sod. 2008) in povratnega toka tekočine (ICT International, 2014). SFM1 merilnike (Heat ratio metoda, ICT International, Avstralija) za kontinuirano merjenje ksilemskega toka smo namestili povprečno 110 cm visoko na severno stran vsakega drevesa. Pridobljene podatke smo analizirali v programu Sap Flow Tool (ICT International, Avstralija) (Burgess in Downey 2014). Tok vode skozi ksilem lahko izrazimo kot hitrost toka (cm h^{-1}), kot volumski tok ($\text{cm}^3 \text{ h}^{-1}$), ali kot gostoto toka ($\text{cm}^3 \text{ h}^{-1} \text{ cm}^{-2}$) (Tyree in Ewers 1991). Pri izračunu teh parametrov smo upoštevali globino prevodnega lesa (cm), premer debla (cm) in debelino skorje (cm) proučevanih dreves. Z meritvami smo pričeli 1. aprila 2014.



Slika 1: Razporeditev elementov pri HRM metodi (levo) (ICT International, 2014); SFM1 merilnik ksilemskega toka, nameščen na drevo (desno)

Indeks listne površine (LAI; Leaf Area Index) smo merili z merilnikom LAI-2200 (LI-COR Inc., ZDA). Določili smo ga po protokolu za merjenje LAI prosto rastočih dreves (LAI-2200 ..., 2012). LAI smo pomerili na vse štiri strani neba glede na odprto površino. Podatke smo obdelali s programom FV2200 verzija 2.0.0 (LI-COR Inc., ZDA) ter določili povprečne LAI vrednosti za vsako drevo.

Na vsakem drevesu smo na severni strani izbrali vejo, na kateri smo spremljali pojav fenofaze prvih listov. Razdelili smo jo v več podrazredov in jo ocenjevali glede na delež listov na opazovanem delu krošnje (Preuhsler in sod. 2004; Vilhar in sod. 2013). Meteorološke podatke (temperatura, vlaga, VPD, padavine, voda v tleh) smo pridobili z mikrometeorološkega stolpa (Ferlan in sod. 2011).

Podatke in grafične prikaze smo pripravili in obdelali v statističnem programu R, verzija 2.15.2 (The R Foundation for Statistical Computing 2012).

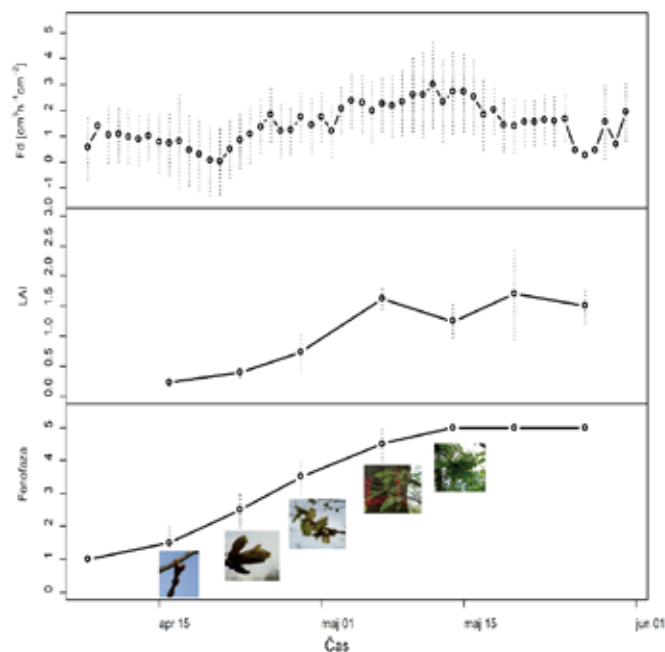
Rezultati

V prispevku podajamo rezultate za obdobje od 1. aprila do 31. maja 2014 (Slika 2). Začetek rastne sezone je bil deževen. V aprilu je zapadlo 74 mm in v maju 89,2 mm padavin. Temperaturi zraka in tal sta imeli normalen pozitiven linearen trend.

Izmerili smo tako pozitivno (tok navzgor) kot negativno (povratni tok) gostoto ksilemskega toka. Na začetku rastne sezone je bil tok pretežno povraten in je 17. aprila dosegel minimalno povprečno dnevno vrednost $-0,23 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. Nato se je na začetku maja začel povečevati vse do sredine maja (12. 05.), ko je dosegel povprečno dnevno vrednost $2,76 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. Sledil je ponoven postopni padec (27. 05., $0,27 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1} \text{ cm}^{-2}$), kateremu so sledila nihanja.

Fenološki razvoj dreves se je začel z odpiranjem brstov v drugi polovici aprila. Vsi hrasti so bili polno olistani do druge dekade maja.

Pri vseh hrastih opazimo trend naraščanja indeksa listne površine. Povprečni LAI je bil v celotnem obdobju merjenja najmanjši v aprilu, ko smo zabeležili manjšo povprečno dnevno vrednost, ki je 16. aprila znašala 0,23, kar je verjetno posledica prisotnosti suhega listja spomladi, kar je značilno za puhasti hrast. Ko je nastopilo polno olistanje, je bil LAI največji in je njegova povprečna dnevna vrednost konec maja znašala 1,7.



Slika 2: Povprečne dnevne vrednosti vseh merjenih puhaštih hrastov (H1-H6) s standardnim odklonom: posamezne fenofaze, indeks listne površine (LAI) in gostota toka vode skozi ksilem (Fd) od 1. aprila do 31. maja 2014

Razprava

Začetne tehnične težave, povezane z uporabo nove metode, so vplivale na kontinuirano beleženje podatkov in na njihovo kakovost. Izmerjene vrednosti gostote ksilemskega toka so se precej razlikovale, na kar so vplivale razlike med osebki.

V poskusu smo ugotovili, da imata tok vode in razvoj listov spomladi podoben zgodnjesezonski vzorec. Tekom spremljanja fenološkega razvoja so se brsti začeli odpirati v tretji dekadi aprila. Sledil je razvoj listov in polno olistanje je nastopilo v prvi polovici maja. Enak vzorec smo pridobili iz meritev indeksa listne površine, kjer je LAI v povprečju sledil poteku fenofaze prva faza listov. Vse to je vplivalo na tok vode, ki se je z razvojem listov začel povečevati in se je usmeril proti drevesni krošnji.

Enake ugotovitve o poteku ksilemskega toka v zgodnjepomladnem obdobju navajajo tudi Wullschleger in sodelavci (2001). Pri vrsti *Quercus prinus* L. so ugotovili, da spomladanski vzorec ksilemskega toka sledi razvoju listov v krošnji. Ko so se listi začeli v drugi polovici aprila razvijati, se je gostota toka začela povečevati, dokler ni olistanje v prvi polovici maja doseglo svoje maksimalne površine (Wullschleger in sod. 2001).

Ker raziskave ksilemskega toka večinoma potekajo na območjih s pogostim pomanjkanjem vode v okolju in v daljših časovnih razponih, v literaturi nismo našli nobenih bolj primerljivih vrednosti gostote toka, ki bi jih primerjali z našimi.

Iz omenjenega lahko zaključimo, da je zgodnjesezonski tok vode tesno povezan z razvojem listov. Za bolj natančno vrednotenje porabe vode na začetku rastne sezone bi lahko, s podatkom o količini listov na m³ krošnje pri posameznem drevesu, podali podatek o tem, koliko listne mase ksilemski tok vode oskrbuje. Še bolj natančne rezultate bi dobili, če bi izmerili pravokotno projekcijo krošnje in ugotovili približno količino vode skozi ksilem, ki jo porabi en list ali ena veja oz. 1 m² listne površine.

Tekom meritev smo opazili tudi pojav povratnega toka, ki je v času odpiranja brstov dosegel minimalno povprečno dnevno vrednost $-0,23 \text{ cm}^3 \text{ h}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. Nekateri avtorji (Smith in sod. 1999, David in sod. 2013) navajajo, da je povratni tok vode posledica fizikalnih procesov, ki nastanejo zaradi razlik v vsebnosti vode med različno globokimi plastmi tal, in tako bolj suha tla potegnejo vodo iz bolj vlažnih korenin. Za boljše razumevanje pojava povratnega toka bi morali ksilemski tok vode podrobneje raziskati tako v koreninah kot nadzemnih delih dreves. Za njegovo točno oceno bi morali izključiti morebitni vpliv nevzporedne namestitve merilnih sond v deblo, ki lahko vpliva na točnost rezultatov (Hogg in Hurdle 1997; Burgess in Downey 2014).

Zahvale

Poskus je bil narejen v okviru magistrske naloge na Biotehniški fakulteti, Oddelku za agronomijo v Ljubljani. Raziskava je bila del programa P4-0085 in je potekala v sodelovanju z Gozdarskim inštitutom Slovenije.

- Hogg E. H., Hurdle P. A. 1997. Sap flow in trembling aspen: implications for stomatal responses to vapour pressure deficit. *Tree Physiology*, 17: 501-509
- <http://au.ictinternational.com/products/plants/sap-flow/> (03.03.2014)
- LAI-2200 Plant canopy analyzer: Instruction manual. 2012. ZDA, LI-COR, Inc.: 218 str.
- Lambers H., Stuart Chapin III F., Pons L. T. 2008. *Plant physiological ecology*, 2. Izdaja. ZDA, New York, Springer: 623 str.
- Larcher W. 2003. *Physiological plant ecology: Ecophysiology and stress physiology of functional groups*, 4. izdaja. Berlin, Springer: 513 str.
- Preuhsler T., Bastrup-Birk A., Beuker E. 2004. Manual on methods and criteria for harmonised sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, Part IX, Phenological Observations. ICP Forests: 21 str.
- <http://www.metla.fi/eu/icp/phenology/> (03.07.2014)
- Smith D. M., Allen S.J. 1996. Measurement of sap flow in plant stems. *Journal of Experimental Botany*, 47, 305: 1833-1844
- Smith D. M., Jackson N. A., Roberts J. M., Ong C. K. 1999. Reverse flow of sap in tree roots and downward siphoning of water by *Grevillea robusta*. *Functional Ecology*, 13: 256-264
- Taneda H., Sperry J. S. 2008. A case-study of water transport in co-occurring ring-versus diffuse-porous trees: contrasts in water-status, conducting capacity, cavitation and vessel refilling. *Tree Physiology*, 28: 1641-1651
- Tyree M. T., Ewers F. W. 1991. The hydraulic architecture of trees and other woody plants. *New Phytologist*, 119: 345-360
- Vilhar U., Skudnik M., Simončič P. 2013. Fenološke faze dreves na ploskvah intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov v Sloveniji. *Acta Silvae et Ligni*, 100: 5-17
- Zweifel R., Steppe K., Sterck F. J. 2007. Stomatal regulation by microclimate and tree water relations: interpreting ecophysiological field data with a hydraulic plant model. *Journal of Experimental Botany*, 58, 8: 2113-2131
- Wullschlegel S. D., Hanson P. J., Todd D. E. 2001. Transpiration from a multi-species deciduous forest as estimated by xylem sap flow techniques. *Forest Ecology and Management*, 143: 205-213

Viri

- Burgess S., Downey A. 2014. SFM1 sap flow meter manual. Version 1.0. ICT Avstralija, International Pty Ltd.: 198 str.
- Burgess S. S. O., Adams M. A., Turner N. C., Beverly C. R., Ong C. K., Khan A. A. H., Bleby T. M. 2001. An improved heat pulse method to measure low and reverse rates of sap flow in woody plants. *Tree Physiology*, 21: 589-598
- Damesin C., Rambal S. 1995. Field study of leaf photosynthetic performance by a Mediterranean deciduous oak tree (*Quercus pubescens*) during a severe summer drought. *New Phytologist*, 131: 159-167
- David T. S., Pinto C. A., Nadezhdina N., Kurz-Besson C., Henriques M. O., Quilhó T., Cermak J., Chaves M. M., Pereira J. S., David J. S. 2013. Root functioning, tree water use and hydraulic redistribution in *Quercus suber* trees: A modeling approach based on root sap flow. *Forest Ecology and Management*, 307: 136-146
- Eilmann B., Zweifel R., Buchmann N., Fonti P., Rigling A. 2009. Drought-induced adaptation of the xylem in Scots pine and pubescent oak. *Tree Physiology*, 29: 1011-1020
- Ferlan M., Alberti G., Eler K., Batič F., Peressotti A., Miglietta F., Zaldei A., Simončič P., Vodnik D. 2011. Comparing carbon fluxes between different stages of secondary succession of a karts grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140: 199-207

VPLIV SANITARNIH SEČENJ NA NARAVNO OBNOVO GOZDA PO MOTNJAH SREDNJIH JAKOSTI V BUKOVIH GOZDOVIH

Influence of salvage logging on forest restoration after medium scale disturbances in beech forests

Gal Fidej¹, dr. Andrej Rozman¹, dr. Thomas A. Nagel¹, dr. Igor Dakskobler^{1,2}, prof. dr. Jurij Diaci¹

¹Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Biološki inštitut Jovana Hadžija ZRC SAZU, Regijska raziskovalna enota Tolmin, Brunov drevored 13, 5220 Tolmin, Slovenija

Ključne besede: bukev, *Fagus sylvatica*, motnje srednjih jakosti, naravne ujme, pomlajevanje, obnova, sanitarna sečnja

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, medium scale disturbances, natural disturbances, regeneration, restoration, salvage logging

Abstract

The practice of salvage logging of dead and damaged timber following large-scale, high severity disturbances has raised much controversy, largely because of the negative ecological effects that such practices have on forest ecosystems. Many of the studies on salvage logging effects, however, have been done on sites damaged by large, severe disturbances. Less is known about the ecological consequences of salvage logging following disturbances of moderate severity that cause partial canopy damage at smaller scales. We examined the response of the herbaceous layer and tree regeneration to salvaged and non-salvaged treatments following small-scale moderate severity disturbances in eight mixed beech (*Fagus sylvatica*) dominated forest stands in Slovenia. The cover and diversity of herbaceous vegetation and the density and diversity of tree regeneration were similar between treatments across the study sites. The only notable differences between the treatments were that salvaged sites had a larger proportion of shade intolerant tree species in the regeneration layer, while non-salvaged sites tended to have a more well-developed regeneration layer in taller height classes. This study suggests that forest recovery following small-scale moderate severity disturbance and salvage logging in mixed beech dominated stands, particularly in areas where forest roads and skidding trails are already present, may be indistinguishable from recovery without any intervention.

Uvod

Sanitarna sečnja poškodovanega drevja, ki sledi ujmi, je ustaljen postopek po celotnem svetu. Takšen pristop je

po ujmah velikih razsežnosti po svetu povzročil veliko polemik zaradi negativnih ekoloških posledic sečnje in spravila na gozdne ekosisteme. Potencialni negativni učinki sanitarnih sečenj in spravila se nanašajo na negativen vpliv na obnovo gozda, funkcije ekosistema in biotsko raznolikost (npr. Lindenmayer in Noss 2006, Saint-Germain in Greene 2009). Številne od teh raziskav so bile opravljene na lokacijah, ki so jih prizadele ujme večjih jakosti, manj pa je znanega o ekoloških posledicah sečnje in spravila po ujmah srednjih do manjših jakosti, ki povzročijo delne poškodbe v zgornjem sloju sestojev. Motnje srednjih jakosti pa so najpogostejše v zmernem pasu Evrope (Nagel et al. 2013, 2014) Prav tako ni nič znanega o vplivu sanitarnih sečenj v mešanih bukovih (*Fagus sylvatica* L.) gozdovih, ki so prevladujoč potencialni gozdni tip srednje in jugovzhodne Evrope. Zato smo raziskali odziv zeliščne vegetacije in drevesnega pomladka na saniranih (sečnja in spravilo) in nesaniiranih (brez ukrepanja) površinah po ujmah srednje jakosti v osmih mešanih gozdovih v Sloveniji, v katerih prevladuje bukev.

Metode

Na vsaki raziskovalni lokaciji smo ploskve zakoličili na del, kjer je potekla sanacija, in del brez ukrepanja. V Sloveniji skoraj brez izjeme vsaki ujmi sledi sanitarni posek in spravilo. Razlog, da je del površin ostal brez ukrepanja, so bile zahtevne terenske razmere in nedostopnost dela poškodovanih gozdov. Prizadeta površina zaradi ujm je na raziskovalnih objektih znašala med 0,7 in 5,5 ha. Večina ujm na raziskovalnih objektih se je zgodila med leti 2005-2008.

*gal.fidej@bf.uni-lj.si

Preglednica: Pregled vseh objektov raziskave. Glavne drevesne vrste v okoliških sestojih: Bu=bukev, ČG=črni gaber, MJ=mali jesen, Mo=mokovec, GJ=gorski javor, VJ=veliki jesen, Gr=graden, Tr=trepetlika, BG=beli gaber, Sm=smreka, Je=Jelka. Dol=dolomit, apn.=apnec, sil.=vložki silikata. Razred poškodovanosti 1: 0-25 %, 2: 25-50 %, 3: 50-75 %, 4: 75-100 % poškodovanih krošenj

Št.	Objekt	Glavne DV	Mat. podlaga	Ujma	Naklon (°)	Motnja	NMV (m)	Eksp.	Pov. (ha)	Raz. p.	Spravilo
1	Bohor	Bu, ČG, MJ, Mo, GJ	dol.&apn. + sil.	2008	34	veter	300-460	J	5.5	2	traktor
2	Črmošnjice	Bu, GJ, Gr, Tr, BG	dol.	2006	32	sneg	700-830	SV	1.3	2	žičnica
3	Kosmate doline	Bu, Sm, GJ, Je	dol.	1993	25	veter	1250-1300	SZ-S	0.7	3	traktor
4	Lesično	Bu, ČG, GJ, Sm, MJ	dol.&apn. + sil	2008	29	veter	400-500	SZ	1.1	2	žičnica
5	Nemškarica	Bu, Je, Sm, GJ, VJ	dol.	2006	36	veter	610-750	S-SV	1.5	3	žičnica
6	Otuška	Bu, ČG, VJ, Sm, BG	dol.	2007	38	sneg	270-380	V-SV	1.5	3	traktor
7	Zadlog	Bu, Sm, GJ, ČG, VJ	dol.	2006	36	veter	700-750	S	1.1	2	žičnica
8	Zala	Bu, Sm, Je, GJ, VJ	dol.&apn.	2005	36	veter	400-500	S-SV	1	2	žičnica

Sečnja je bila klasična, spravilo pa zaradi težkih razmer na šestih objektih žičnično, na dveh pa traktorsko. Izgradnja novih vlak je bila opravljena le na enem objektu, na ostalih se je uporabilo obstoječe gozdne prometnice. Na vsakem objektu smo postavili 6 ploskev, 3 na saniran in 3 na del brez ukrepanja. Ploskve so bile kvadratne 10 m x 10 m, kjer smo poleti 2012 po višinskih razredih popisali ves pomladek višji od 20 cm po sledečih višinskih razredih 20-50 cm, 51-130 cm in 131-135 cm prsnega premera ter nad 5 cm premera. Zastornost vegetacije smo ocenili po Braun-Blanquetovi (1964) metodi. Po tristopenjski lestvici smo ocenili objedenost vsakega osebka pomladka; 1) do 10 % stranskih poganjkov, 2) objeden terminalni in/ali < 50 % lateralnih poganjkov, 3) objeden terminalni in večina lateralnih poganjkov. Na ploskvah smo ocenili zastornost (pokrovnost) lesnih ostankov (večji kupi vej, debelejšje veje, debla), deleža erozije, skal, vlak in ostale splošne razmere (naklon, ekspoziacija).

Rezultati

Gostota drevesnega pomladka je bila različna med raziskovalnimi objekti, medtem ko je bila med načinoma ukrepanja podobna. Gostote pomladka so bile nekoliko večje na saniranih delih, vendar razlike niso bile značilne. Povprečne gostote pomladka na objekt so znašale od 767 do 35467 osebkov na ha. Pokrovnost zeliščne vegetacije med načini dela ni bila značilno različna. Delež erozije je bil podoben med načinoma sanacije in je povprečno znašal 4 %. Zastornost grmovne plasti je bila značilno nižja na površinah s traktorskim spravilom (20 %) kot na površinah, kjer je potekalo žičnično spravilo (40 %). Na vseh objektih smo popisali 237 zeliščnih in 25 drevesnih vrst. V pomladku pa je bilo le 4-6 takšnih drevesnih vrst, ki so predstavljala več kot 90 % pomladka. Shannonov indeks raznolikosti zeliščne vegetacije je bil mejno višji na površinah, ki so bila sanirane, medtem ko pri drevesnih vrstah ni bilo razlik. Edina opazna razlika med načinoma sanacije je bil značilno večji delež svetloljubnih drevesnih vrst v pomladku na saniranih površinah (36 %) v primerjavi s površinami brez ukrepanja (23 %), medtem ko je bilo

na zadnjih več bolj razvitega mladja, to je mladja v višjih višinskih razredih. Svetloljubne vrste, kot so vrste javorjev, velikega in malega jesena, so bile enakovredno zastopane po vseh višinskih razredih, vendar so bili vzorci med saniranimi in površinami brez ukrepanja zelo različni. Povprečna višina najvišjih osebkov mladja je bila malo višja na površinah brez ukrepa (189 cm), kot na saniranih (167 cm). Delež objedanja je bil zelo nizek – 80 % mladja s poškodbami manj kot 10 % stranskih poganjkov – in značilno višji na saniranih površinah.

Diskusija

Variabilnost v strukturi in zmesi pomladka med objekti in med načini dela znotraj objekta je bila zelo velika, zato skupno po vseh objektih nismo odkrili statistično značilnih razlik med načinoma dela. Sanirane površine so imele mejno značilno večjo raznolikost zeliščnih vrst in večji delež svetloljubnih drevesnih vrst kot površine brez ukrepanja. Skupno je bila na površinah brez ukrepa višja zastrtost, gostota in višina višjih višinskih razredov mladja. V odraslih sestojih na robu ujma objektov je bila bukev dominantna na vseh objektih razen enega (Kosmate doline), kjer je imela podoben delež tudi smreka. Večja raznolikost na nekaterih objektih ne glede na način dela nakazuje boljše svetlobne razmere po ujmi, ki so omogočile rast številnim svetloljubnim vrstam. Kljub temu, da ni mogoče razlikovati med starim mladjem in mladjem, nastalim po ujmi, višinska struktura nakazuje, da sta pri obnovi pomembna oba načina. Majhne razlike med načinoma sanacije lahko pripišemo majhni jakosti motenj, pri čemer ni prišlo do poškodb tal, zelišč in obstoječega mladja. Prav tako so bile metode sanacije (posek in spravilo) zmernih jakosti, pri čemer se ni gradilo novih vlak in novih cest, zato ni bilo bistvenih poškodb tal in vegetacije. Prav tako način spravila poškodovanega lesa (traktor in žičnica) očitno ni povzročil bistvenih poškodb mladja. Podobno ugotavlja Košir (2008), kjer je bilo v 51 sestojih poškodovanih 21 % mladja pri spravilu s traktorjem in 16 % pri žičničnem spravilu. Drugi razlog za manjšo stopnjo razlik so lahko tudi rastiščne razmere, saj je bilo zahtevno najti poškodovane površine, kjer je del površine bil saniran, del pa

prepuščen naravni obnovi. Zato lahko že manjše razlike v naklonu, ekspoziciji in talnih razmerah zamegljijo razlike med načinoma sanacije. Prav to potrjuje obsežna raziskava iz Švice (Kramer in sod. 2014). Kljub temu, da nismo našli večjih razlik med strukturo pomladka in vegetacijo med načini sanacije, obstajajo določeni trendi, ki nakazujejo naše predvidevanje. Tako gostota kot raznolikost pomladka je bila nekoliko večja na spravljenih površinah, medtem ko je na površinah brez sanacije nekoliko več bolj razvitega (višjega) pomladka. Nakazano je, da odstranjevanje odmrle (oz. poškodovane) lesne mase, ki je ovira za pomladek, v kombinaciji z manj kompeticije višjega pomladka, omogoča osnovanje in vrast večjega števila drevesnih vrst na saniranih površinah. Večja gostota pomladka višjih višinskih razredov je pomembna, saj bodo to drevesa, ki bodo tvorila naslednjo streho sestoja in zasenčila številna drevesa nižjega pomladka. Razlike v zastornosti in mešanosti zeliščnih vrst niso bile vezane na način sanacije, verjetno zato, ker so bolj od-

visne od rastiščnih razmer. Gosta zeliščna plast, ki se razvije po motnji, pogosto zavira pomlajevanje (Wohlgemuth 2002; Jonasova in Prach 2008; Kelemen in sod. 2012). Majhna povprečna gostota pomladka - 13800 osebkov na hektar, posredno kaže na to. Za primerjavo, tuji viri navajajo bistveno višje gostote pomladka v vrzelih negospodarjenih bukovih gozdov (Drösser in Von Lupke 2007, Roženberger in sod. 2007, Hobi in sod. 2014). Presenetljivo majhen je bil delež objedenih dreves, saj so številne prisotne vrste kot npr. javorji, jeseni in brest pri divjadi v prehrani zelo zaželenne vrste. Na saniranih delih površine je bila objedenost nekoliko večja, saj odsotnost odmrlega drevja omogoča lažji dostop divjadi, to potrjujejo tudi nekatere raziskave (Relva in sod. 2009, Bottero in sod. 2013). Raziskava kaže, da se obnova gozda po ujmah srednjih jakosti in sledeči sečnji in spravilu v mešanih bukovih gozdovih, še zlasti na območjih, kjer je gozdna infrastruktura (gozdne ceste in vlake) že razvita, bistveno ne razlikuje od obnove, kjer ni bilo ukrepanja.



Slika: Površina, kjer je bila opravljena le sečnja poškodovanega sestoja po snegolomu leta 2007. Lokacija Otuška; posneto v 2012 (foto: Gal Fidej)



Slika: Primer pomlajevanja na saniranem delu vetrologa iz 2008 na lokaciji Bistri graben, raziskovalni objekt Bohor; posneto v 2012 (foto: Tihomir Rugani)

Viri

- Bottero A., Garbarino M., Long J.N., Motta R. 2013. The interacting ecological effects of large-scale disturbances and salvage logging on montane spruce forest regeneration in the western European Alps. *Forest Ecology and Management*, 292, 19–28. doi:10.1016/j.foreco.2012.12.021
- Braun-Blanquet J. 1964. *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. Springer Verlag, Wien, New York: 865 str.
- Drösser L., Von Lupke B. 2007. Stand structure, regeneration and site conditions in two virgin beech forest reserves in Slovakia. *Allgemeine Forst Und Jagdzeitung*, 178: 121–135.
- Hobi M.L., Commarmot B., Bugmann H. 2014. Pattern and process in the largest primeval beech forest of Europe (Ukrainian Carpathians). *Journal of Vegetation Science* n/a–n/a. doi:10.1111/jvs.12234
- Jonasova M., Prach K. 2008. The influence of bark beetles outbreak vs. salvage logging on ground layer vegetation in Central European mountain spruce forests. *Biological Conservation*, 141: 1525–1535. doi:10.1016/j.biocon.2008.03.013
- Kelemen K., Mihók B., Gálhidy L., Standovář T. 2012. Dynamic response of herbaceous vegetation to gap opening in a central European beech stand. *Silva Fennica*, 46: 53–65.
- Košir B. 2008. Damage to young forest due to harvesting in shelterwood systems. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 29: 141–153.
- Kramer K., Brang P., Bachofen H., Bugmann H., Wohlgemuth T. 2014. Site factors are more important than salvage logging for tree

- regeneration after wind disturbance in Central European forests. *Forest Ecology and Management*, 331: 116–128.
- Lindenmayer D.B., Noss R.F. 2006. Salvage logging, ecosystem processes, and biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 20: 949–958. doi:10.1111/j.1523-1739.2006.00497.x
- Nagel T.A., Svoboda M., Kobal M. 2014. Disturbance, life history traits, and dynamics in an old-growth forest landscape of southeastern Europe. *Ecological Applications*, 24: 663–679.
- Nagel T.A., Svoboda M., Panayotov M. 2013. Natural disturbances and forest dynamics in temperate forests of Europe. In: *Integrative Approaches as an Opportunity for the Conservation of Forest Biodiversity*. European Forest Institute : 116–123.
- Relva M.A., Westerholm C.L., Kitzberger T. 2009. Effects of introduced ungulates on forest understory communities in northern Patagonia are modified by timing and severity of stand mortality. *Plant Ecology*, 201: 11–22. doi:10.1007/s11258-008-9528-5
- Roženberger D., Mikac S., Anić I., Diaci J. 2007. Gap regeneration patterns in relationship to light heterogeneity in two old-growth beech-fir forest reserves in South East Europe. *Forestry*, 80: 431–443.
- Saint-Germain M., Greene DF. 2009. Salvage logging in the boreal and cordilleran forests of Canada: Integrating industrial and ecological concerns in management plans. *Forestry Chronicle*, 85: 120–134.
- Wohlgemuth T., Kull P., Wüthrich H. 2002. Disturbance of microsites and early tree regeneration after windthrow in Swiss mountain forests due to the winter storm Vivian 1990. *Forest, Snow and Landscape Research*, 77: 17–47.

USEDLINE DUŠIKA V URBANEM GOZDU LJUBLJANE TER BUKOVIH GOZDOVIH TRNOVSKE PLANOTE IN KOČEVJSKE

Nitrogen deposition in Ljubljana urban forest and beech forests of Trnovo plateau and the Kočevje region

Daniel Žlindra*, dr. Urša Vilhar**

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

Ključne besede: Nitrat, amonij, intenzivno spremljanje, *Fagus sylvatica*

Keywords: Nitrate, ammonium, intensive monitoring, *Fagus sylvatica*

Abstract

In the second half of the 20th century a substantial part of European forests were endangered due to anthropogenic pollution. To prevent their destruction most European countries gathered their efforts under the LRTAP Convention, which established the Working Group on Effects within the programme ICP Forests, with the task of monitoring input of air pollutants in European forests.

In the meantime the main threat of acid rain due to sulphur compounds ceased but nitrogen pollution moved to the forefront. Since nitrogen serves as a fertilizer the drawbacks of this kind of pollution are not easily recognized. The hyper growth results in a higher sensitivity of trees to extreme weather conditions such as strong winds or ice storms. The plants also uptake nitrogen at different levels of efficiency, and better growth of more efficient plants can lead to reduced species richness as a consequence.

In our study we included three intensive monitoring plots in two different ecoregions and also two different types of forest – rural (plots 2 and 5) and urban (plot 99). We performed and compared deposition measurements in open field and forest stand throughfall. The time of investigation was ten years for the rural forest plots and nine and seven years for urban forest plots, for open field and throughfall, respectively.

In the open field the nitrogen deposition in the form of ammonia was two times higher in rural plot 2 than in rural plot 5 and urban plot 99. In the throughfall nitro-

gen deposition remained similar for the rural plots but the deposition in the urban plot was three times higher.

In the case of nitrogen deposition in the form of nitrate, the urban plot received more than five times higher deposition compared to rural plots and reach up to 21 kg N ha⁻¹ yr⁻¹.

The overall trend of nitrogen deposition indicates a decrease from 0.10 to 0.51 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ concerning all studied plots and both types of nitrogen deposition.

Uvod

V drugi polovici prejšnjega stoletja je bil zaradi antropogenega onesnaževanja ogrožen velik del gozdov v Evropi. V skrbi za njihovo rešitev in ohranitev je večina evropskih držav združila svoja prizadevanja v okviru konvencije LRTAP. V okviru te konvencije je bila ustanovljena Delovna skupina za učinke (Working Group on Effects) in znotraj nje ustanovljen program ICP Forests, ki spremlja vnos onesnaževal v evropske gozdove. S svojo organiziranostjo, protokoli, izmenjavo znanja in poročanjem različnim vejam oblasti je postal pomemben člen pri ugotavljanju vzrokov onesnaževanja in osveščanju javnosti o tej problematiki. Zaradi preoblikovanja evropske industrije in sprejemanja izboljševalnih ukrepov se je nevarnost propadanja evropskih gozdov, predvsem zaradi žveplovih spojin, znatno zmanjšala (Barrett in sod. 2000). Do izraza pa prihaja druga oblika onesnaževanja, ki je bolj prikrita in na prvi pogled celo zaželena, saj deluje kot gnojilo – v obliki dušikovih spojin (Aber in sod. 1989). Dušikove spojine pospešujejo rast, kar povzroča večjo občutljivost dre-

ves na ekstremne vremenske dogodke, kot so močan veter ali žled (Nihlgård 1985). Hkrati preobilje dušika kot hranila določene rastlinske vrste boljše izkoristijo kot druge, kar posledično zmanjša vrstno pestrost gozdnih ekosistemov (Dise in sod. 2011).

Dušik v amonijevi obliki

Reducirana oblika dušika je v spojini amonijak (NH_3), ki je brezbarven plin neprijetnega vonja, dobro topen v vodi. Viri amonijaka so v največji meri v kmetijstvu (Atmospheric Ammonia: Sources and Fate 2000; Bowman in sod. 1997), saj se sprošča ob razpadanju organskih snovi. Prav tako pa ga rastline tudi adsorbirajo (Asman in sod. 1998) in absorbirajo (Hutchinson in sod. 1972; Rogers in Aneja 1980). Z analizo zračnih usedlin ga zaradi njegovega agregatnega stanja v normalnih razmerah ne moremo izmeriti, lahko pa njegovo ionsko obliko, amonij (NH_4^+), ki nastane ob raztapljanju amonijaka v vodi. Življenjska doba amonijaka je od 0,5 h do 5 dni (Fowler in sod. 1997). V tem času se v veliki meri transformira pod vplivom plinastih spojin (voda, dušikova (V) kislina, žvepova (VI) kislina, klorovodikova kislina) v amonijev ion, ki je znatno bolj obstojen (5 do 10 dni) (Crutzen 1983) in je prekursor za delce v zraku in idealen za daljinski transport onesnaževal.

Dušik v nitratni obliki

Oksidirana oblika dušika se kot kapljevina pojavlja v obliki dušikove(V) kisline oz. njene soli (nitrat (V), NO_3^-). Nastanek nitratov v atmosferi je vezan na nastanek dušikovih oksidov, ki so posledica gorenja oz. izgorevanja. Glavni vir dušikovih oksidov je promet. Iz njih s pomočjo energije in oksidantov (npr. O_3) nastane dušikova (V) kislina oz. nitratni ion.

Namen naše raziskave je bil primerjava usedlin dušika v amonijevi in nitratni obliki na dveh raziskovalnih ploskvah v bukovih gozdovih Trnovske planote in Kočevke, s ploskvijo v urbanem gozdu v Ljubljani ter ugotavljanje desetletnih trendov. Hkrati smo na obravnavanih ploskvah primerjali razlike v usedlinah dušika v amonijevi in nitratni obliki na prostem ter v gozdnem sestoju. Kemizem vzorčenih padavin v gozdu je namreč drugačen od tistih, vzorčenih na

prostem, saj nanje vpliva tudi stanje krošenj nad vzorčevalnikom. V veliki meri kemijsko sestavo vzorca spreminjajo suhi prašni delci in njihova kemijska sestava, ki so se med dvema padavinskima dogodkoma usedli na liste oziroma iglice v krošnjah dreves. Ker krošnje delujejo kot ogromni filtri, je njihov doprinos k usedlinam posameznih ionov znaten in glede na lego tudi zelo različen.

Materiali/metode

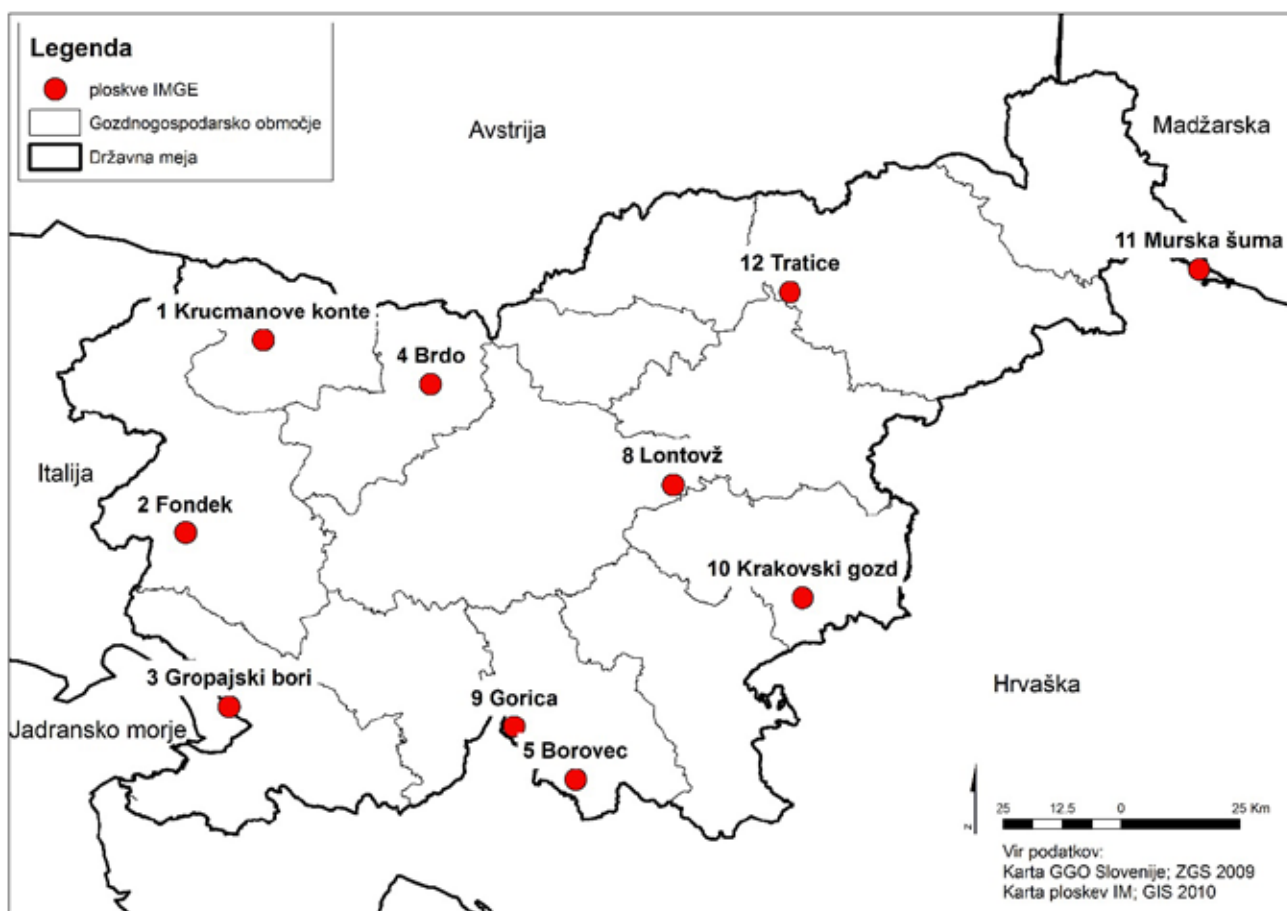
Raziskovalne ploskve

Intenzivno spremljanje stanja gozdnih ekosistemov v obliki in načinu, kot ga poznamo danes, poteka na Gozdarskem inštitutu od leta 2004 dalje. Osnova zanj so raziskovalne ploskve, ki so kvadratne oblike površine 1 ha in so sestavljene iz notranjega dela (50 m × 50 m) in zunanega varovalnega pasu v širini 25 m (Ferretti in sod. 2010). Notranji del ploskve je namenjen spremljanju zdravstvenega stanja gozda, ocenjevanju rasti in prirastka dreves ter spremljanju pestrosti pritalne vegetacije. V varovalnem pasu pa se spremlja ostale parametre, ki zahtevajo pogostejšo aktivnost in bi se zaradi njihovega spremljanja lahko poškodovale tla in rastlinje. Med te aktivnosti sodi tudi spremljanje zračnih usedlin (Žlindra in sod. 2011), t. j. kemijska analiza padavin, ki jih vzorčimo na prostem ali pod krošnjami dreves.

V prispevku obravnavamo tri raziskovalne ploskve (Preglednica 1). Dve ploskvi sta del mreže intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov od leta 2004 dalje. Prevladujoča drevesna vrsta je bukev (*Fagus sylvatica* L.). Ploskev Fondek leži na Trnovski planoti na zahodu Slovenije, ploskev Borovec pa na Kočevskem v jugovzhodnem delu Slovenije (Slika 1). Tretja ploskev (99 - GIS - Rožnik) je bila v mrežo ploskev intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov vključena naknadno in sicer z vzorčevalniki za usedline na prostem v letu 2005 in v sestoji v letu 2007. Služi tudi kot demonstracijska, pilotna in učna ploskev, saj leži v neposredni bližini Gozdarskega inštituta Slovenije. Ni tipična ploskev mreže intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov, saj ni del večjega gozdnega kompleksa, ampak leži tako rekoč sredi mesta in jo obravnavamo kot del urbanega gozda.

Preglednica 1: Zemljepisna lega, ekološka regija in glavna drevesna vrsta obravnavanih ploskev

Ime ploskve	Zemljepisna dolžina*	Zemljepisna širina*	Nadmorska višina*	Ekološka regija	Glavna drevesna vrsta
Plot name	Longitude (°)	Latitude (°)	Elevation (m)	Ecological region	Main tree species
2 - Fondek	+13°43'	+45°59'	827	Dinarska / Dinaric	Bukev (<i>Fagus sylvatica</i>)
5 - Borovec	+14°48'	+45°32'	705	Dinarska / Dinaric	Bukev (<i>Fagus sylvatica</i>)
99 - GIS - Rožnik	+14°29'	+46°03''	310	Predalpska / Pre-Alpine	Mešani - Mixed



Slika 1 Razporeditev ploskev intenzivnega spremljanja stanja gozdov nivoja II po Sloveniji (foto: M. Skudnik)

Časovna razporeditev

Osnova za kvantitativno in kvalitativno spremljanje zračnih usedlin je 14-dnevno obdobje, na koncu katerega se izmeri količina padavin v vzorčevalnikih za usedline na prostem in v sestoji ter vzame alikvot vzorca za fizikalne in kemijske analize. Zaradi zahtevnosti in stroškov analiz je vzorec, namenjen analizam, združen iz dveh zaporednih 14-dnevnih alikvotov, ki sta sestavljena na podlagi prostorninskega deleža padavin v ustreznih obdobjih.

Usedline na prostem

Na ploskvah intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov vzorčimo različne tipe zračnih usedlin. Prvi tip, ki je zelo podoben spremljanju padavin nacionalne meteorološke mreže, ki jo izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), imenujemo padavine na prostem (»bulk deposition«). Tu vzorčimo padavine, ki neposredno padejo na tla na odprtem. Njihova kemijska sestava je odvisna od kemijske sestave ozračja v času nastanka padavin. Vzorčevalniki so v obliki lija s premerom 23 cm, ki je pritrjen z navojem na lovilno posodo kapacitete 8 L in zadostuje tudi za količinsko ekstremne 14-dnevne padavinske dogodke.

Usedline v sestoji

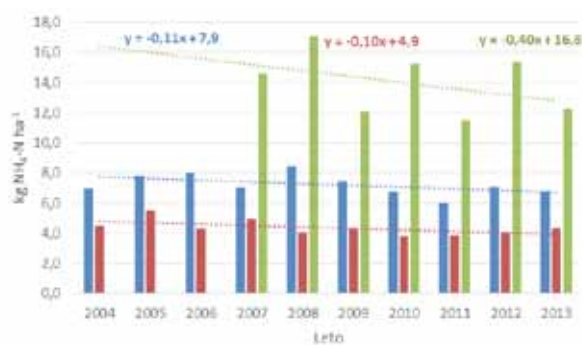
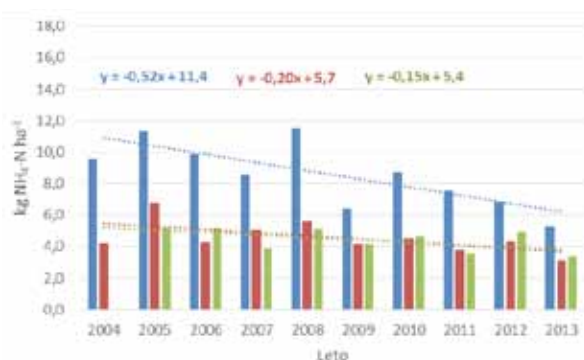
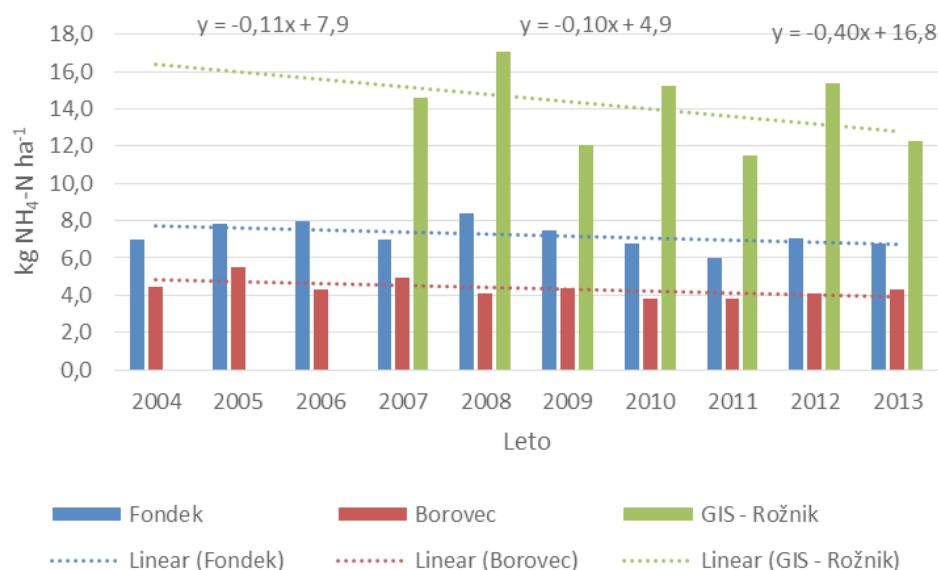
Drugi tip zračnih usedlin je drugačen, saj so vzorčevalniki postavljeni v gozdnem sestoji pod krošnjami

dreves. Zaradi njihove heterogenosti uporabljamo pri vzorčenju sestojnih padavin (»throughfall deposition«) prostorsko bolj ustrezne žlebiče (»gutters«), saj s svojo dolžino 261 cm in širino vzorčevalne reže 0,9 cm pokrijejo več heterogenosti v krošnjah nad seboj, kot bolj točkoven lij. Žlebiči so nagnjeni v eno smer, da se zbrani vzorec lahko odteče v lovilno posodo vsebnosti 5 L, ki je shranjena v tleh zaradi zagotavljanja nižje temperature v poletnih mesecih. V sestoji je 10 žlebičev na ploskvi razporejenih v dve skupini po pet. Padavine, vzorčene v eni skupini, sestavljajo en vzorec.

Laboratorijske analize

Vse analize vzorcev zračnih usedlin so bile opravljene v Laboratoriju za gozdno ekologijo Gozdarskega inštituta Slovenije. Vzorcem smo že na terenu izmerili količino, nato pa odvzeli alikvot 0,5 L za dostavo v laboratorij. Od vzorčenja do laboratorija smo vzorce hranili v hladilniku ali hladilni torbi. V laboratoriju smo vzorca dveh 14-dnevnih period združili v enega glede na izmerjeno količino raztopine. Alikvotu tako dobljenega vzorca smo brez dodatne priprave določili pH, elektroprevodnost in alkaliteto na avtomatskem pH metru, konduktometru in titratorju Metrohm. Preostali vzorec smo prefiltrirali skozi 0,2 µm filter in ga na ta način konzervirali. Sledila je analiza anionov (Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) in kationov (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+}) s sistemom ionske kromatografije Metro-

Slika 2. Kumulative letne vsebnosti dušika v amonijevi obliki v zračnih usedlinah na ploskvah intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov Fondek, Borovec in GIS – Rožnik na prostem (a) in v sestoji (b)



a)

b)

hm in predkolono in kolono A SUPP 4 (2004-2009) oz. A SUPP 5 (2009-2013) ter kemijskim supresorjem za anione in kolono s predkolono C 2 (2004-2010) oz. C 4 (2010-2013) brez supresije za katione. Končni rezultat meritev zračnih usedlin v kg ha⁻¹ leto⁻¹ je bil izračunan s pomočjo baze podatkov intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov in programskega okolja Excel.

Rezultati

Usedline amonija

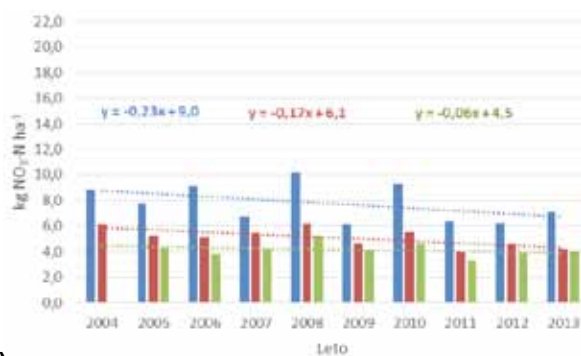
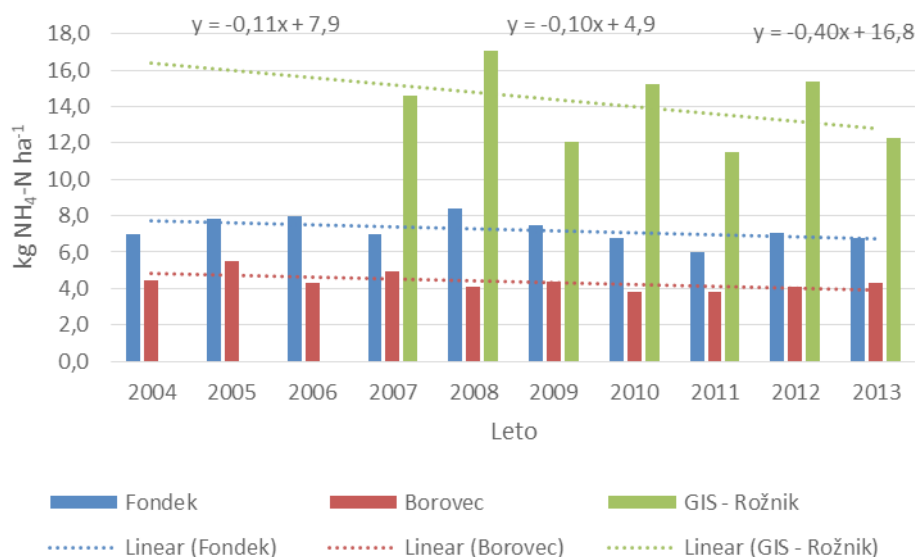
Največ zračnih usedlin dušika v amonijevi obliki na prostem (Slika 2a) smo zaznali na ploskvi Fondek na Trnovski planoti, kjer je bila dosežena največja vsebnost v letu 2008 (11,5 kg N ha⁻¹ leto⁻¹) in najmanjša v letu 2013 (5,3 kg N ha⁻¹ leto⁻¹). Desetletni trend nakazuje letno zmanjševanje vsebnosti dušika v amonijevi obliki 0,52 kg N ha⁻¹ leto⁻¹. Kljub relativno podobnim geografskim razmeram so bile vsebnosti dušika v amonijevi obliki v zračnih usedlinah na prostem na ploskvi Borovec na Kočevskem približno polovico manjše in so se gibale od 3,1 (v letu 2013) do 6,8 kg N ha⁻¹ leto⁻¹ (v letu 2005). Desetletni trend nakazuje letno zmanjševanje vsebnosti dušika v amonijevi obliki 0,20 kg N ha⁻¹ leto⁻¹. Zračne usedline na prostem na ploskvi GIS – Rožnik v Ljubljani so vsebovale podobno količino amonijevega dušika kot ploskev Borovec (od 3,4 v letu 2013 do 5,2 kg N ha⁻¹

leto⁻¹ v letih 2005 in 2006). Devetletni trend pa nakazuje letno zmanjševanje vsebnosti dušika v amonijevi obliki 0,15 kg N leto⁻¹.

Če je na prostem glavni vir amonijevega dušika v zračnih usedlinah ozračje oz. spiranje iz ozračja ob padavinskem dogodku, pa so v gozdnem sestoji glavni vir amonijevega dušika prašni delci, katerih amonijev ion je tvorni element ter spiranje iz rastlinskih tkiv. Ker se amonijevi ioni lahko neposredno vgrajujejo v celične strukture listov, so njegove vsebnosti v zračnih usedlinah na ploskvah, ki niso obremenjene s prašnimi delci, manjše v sestoji kot na prostem (Nihlgård 1985). Tako smo v sestoji na ploskvi Fondek izmerili vsebnosti dušika v amonijevi obliki od 6,0 do 8,4 kg N ha⁻¹ leto⁻¹ (Slika 2), pri čemer desetletni trend nakazuje letno zmanjševanje 0,11 kg N leto⁻¹.

Na ploskvi Borovec so bile vsebnosti dušika v amonijevi obliki v zračnih usedlinah v sestoji približno polovico manjše kot na ploskvi Fondek. Njihova vsebnost se je gibala od 3,8 do 5,5 kg N ha⁻¹ leto⁻¹, pri čemer desetletni trend nakazuje letno zmanjševanje 0,10 kg N leto⁻¹. Na ploskvi GIS – Rožnik je bila vsebnost amonijevega dušika na prostem primerljiva s tistimi na ploskvi Borovec in znašala v proučevanih letih okrog 4 kg N ha⁻¹ leto⁻¹.

Slika 3. Kumulativne letne vsebnosti dušika v nitratni obliki v zračnih usedlinah na ploskvah intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov Fondek, Borovec in GIS – Rožnik na prostem (a) in v sestoju (b)

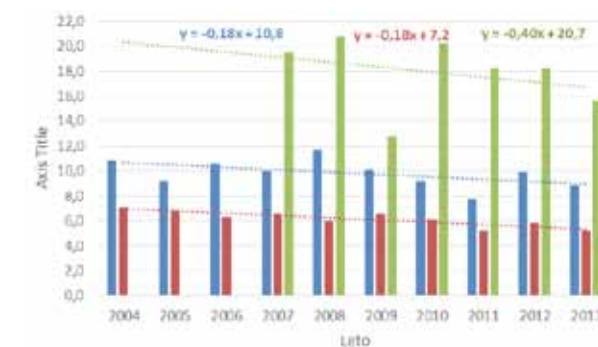


a)

1. V sestoju pa je ta vrednost narasla na 11,5 do 17,1 kg N ha⁻¹ leto⁻¹ s sedemletnim trendom -0,40 kg N leto⁻¹.

Usedline nitrata

Glavni vir nitrata v zračnih usedlinah na prostem je spiranje aerosolov iz atmosfere. Kot pri amoniju smo tudi največje vrednosti nitrata (Slika 3a) zaznali na ploskvi Fondek, kjer so bile največje vsebnosti nitratnega dušika v



b)

letu 2008 (10,2 kg N ha⁻¹ leto⁻¹) in najmanjše v letu 2009 (6,1 kg N ha⁻¹ leto⁻¹). Desetletni trend nakazuje letno zmanjševanje vsebnosti nitrata 0,23 kg N leto⁻¹. Enako kot pri amonijevem dušiku je bila vsebnost dušika v nitratni obliki v zračnih usedlinah na ploskvi Borovec približno polovico manjša kot na ploskvi Fondek in sicer med 4,0 (v letu 2011) do 6,2 kg N ha⁻¹ leto⁻¹ (v letu 2008). Desetletni trend nakazuje letno zmanjševanje vsebnosti

Preglednica 2: Letni ponori (-) ali spiranja (+) dušikovih spojin (kg ha⁻¹) s krošenj v usedlinah na ploskvah intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov Fondek, Borovec in GIS – Rožnik (np – ni podatka)

Leto \ Ploskev	NH ₄ ⁺ -N			NO ₃ ⁻ -N		
	Fondek	Borovec	GIS – Rožnik	Fondek	Borovec	GIS – Rožnik
2004	-2,6	+0,2	np	+2,0	+1,0	np
2005	-3,5	-1,3	np	+1,4	+1,6	np
2006	-1,9	-0,0	np	+1,4	+1,2	np
2007	-1,5	-0,1	+10,8	+3,2	+1,2	+15,3
2008	-3,1	-1,5	+12,0	+1,5	-0,2	+15,5
2009	+1,1	+0,2	+7,9	+4,0	+1,9	+8,6
2010	-2,0	-0,7	+10,6	-0,1	+0,6	+15,6
2011	-1,5	+0,0	+7,9	+1,4	+1,3	+15,0
2012	+0,2	-0,2	+10,4	+3,7	+1,2	+14,4
2013	+1,5	+1,2	+8,9	+1,8	+1,0	+11,6

nitrate 0,17 kg N leto⁻¹. Tudi vsebnost nitratnega dušika v zračnih usedlinah na ploskvi GIS – Rožnik na prostem so bile približno enake kot na ploskvi Borovec (od 3,3 v letu 2011 do 5,2 v letu 2008 kg N ha⁻¹ leto⁻¹), pri čemer devetletni trend nakazuje letno zmanjševanje 0,06 kg N leto⁻¹.

V sestoji so bile izmerjene vsebnosti nitratnega dušika v zračnih usedlinah na vseh treh ploskvah višje kot na prostem. Na ploskvi Fondek smo izmerili od 7,8 do 11,7 kg N ha⁻¹ leto⁻¹ (Slika 3b) z desetletnim trendom -0,18 kg N leto⁻¹. Na ploskvi Borovec od 5,2 do 7,1 kg N ha⁻¹ leto⁻¹ z enakim desetletnim trendom -0,18 kg N leto⁻¹. Na ploskvi GIS – Rožnik pa smo izmerili od 12,8 do 20,8 kg N ha⁻¹ leto⁻¹ s sedemletnim trendom -0,40 kg N leto⁻¹.

Vsebnosti dušikovih spojin v zračnih usedlinah na ploskvah Fondek in Borovec, ki se nahajata v večjem gozdnem kompleksu, nekaj kilometrov stran od mestnih središč, nakazujejo, da krošnje malo vplivajo (do 4 kg N ha⁻¹ leto⁻¹) kot doprinos ali ponor dušika (do 3,5 kg N ha⁻¹ leto⁻¹) (Preglednica 2). Tega pa ne moremo trditi za ploskev v urbanem gozdu, saj je doprinos krošenj k skupnim vsebnostim dušika v zračnih usedlinah znaten in znaša od 7,9 do 15,6 kg N ha⁻¹ leto⁻¹.

Razprava

Zračne usedline dušika lahko prispevajo k povečani ogroženosti ekosistemov in osiromašenju njihove biotske pestrosti (Dise in sod. 2011). Vsebnosti dušikovih spojin v zračnih usedlinah v urbanih gozdovih v Ljubljani se približujejo meji, ko bi se lahko vrstna pestrost gozdov prepopolnila. Tudi vsebnost dušika v zračnih usedlinah v izbranih bukovih gozdovih v Sloveniji, v večjih gozdnih kompleksih, oddaljenih od urbanih središč, je v primerjavi z nekaterimi ploskvami po Evropi znatna (Sanz in sod. 2002), še posebej na ploskvi Fondek. Sklepamo, da na zračne usedline na tej ploskvi vplivajo obalna pristaniška mesta ter transport onesnaževal na dolge razdalje, povezan z gibanjem zračnih mas, ki k nam pogosto pritekajo iz zahodne smeri. Z enako zaskrbljenostjo lahko primerjamo ploskev v urbanem gozdu, kjer skupna letna vsebnost dušika v zračnih usedlinah presega 24 kg N ha⁻¹ leto⁻¹, kar je več od drugih evropskih ploskev, kjer vsebnosti dosežajo 16,9 kg N ha⁻¹ leto⁻¹ (Lorenz in Granke 2009). Največjo vlogo pri vsebnosti dušikovih spojin imajo suhe usedline (delci, aerosoli in adsorbirani plini), ki se ob padavinskem dogodku (dež, sneg, rosa, toča) sperejo s površine listov oziroma iglic ter vej (Grunhage in sod. 1993). Poleg začetnega blagodejnega učinka na rastline kot povečan vnos hranil pa se pri prevelikem vnosu dušika pokažejo negativni učinki: zakisanje tal, spiranje dušikovih spojin v podtalnico, preobremenitev tal, pri iglavcih prehitra rast in posledično nekvalitetna zgradba lesa ipd. S političnimi in gospodarskimi ukrepi lahko onesnaženost zraka zmanjšamo in to je bilo v Evropi že doseženo za žveplove spojine v 90. letih 20. stoletja (Waldner in sod. 2014). Pri dušikovih spojinah

je trend zmanjševanja onesnaženosti slabše izražen, posebno v iglastih gozdovih srednje in severne Evrope (Verstraeten in sod. 2012), podobno pa ugotavljamo tudi v obravnavanih bukovih gozdovih v Sloveniji.

Zahvala

Zahvala gre MKGP (MKO) za financiranje Javne gozdarske službe, ki ima nalogo izpolnjevati zahteve Konvencije, programu ForestFocus (2003-2006), ki je te aktivnosti tudi zakonodajno podpiral. Zahvaljujemo se MOP za sofinanciranje (poleg MKGP) projekta FutMon (2009-2011), ManFor C.BD (2011-2015) in EMoNFUr (2012-2014) ter Raziskovalnemu programu Gozdna biologija, ekologija in tehnologija (P4-0107).

Viri:

- Aber J. D., Nadelhoffer K. J., Steudler P., Melillo J. M. 1989. Nitrogen Saturation in Northern Forest Ecosystems. *BioScience*, 39, 6: 9
- Asman W. A., Sutton M. A., Schjørring J. K. 1998. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. *New phytologist*, 139, 1: 27-48
- Bouwman A., Lee D., Asman W., Dentener F., Van Der Hoek K. in sod. 1997. A global high-resolution emission inventory for ammonia. *Global biogeochemical cycles*, 11, 4: 561-587
- Crutzen J. 1983. Atmospheric interactions - homogeneous gas reactions of C, N and S containing compounds. V: *The Major Biochemical Cycles and their Interactions*. Bolin B. in sod. (ur.). (The Major Biochemical Cycles and their Interactions, 67-114
- Dise N. B., Ashmore M., Belyazid S., Bleeker A., Bobbink R. in sod. 2011. Nitrogen as a threat to European terrestrial biodiversity. V: *The European Nitrogen Assessment*. Sutton M. A. in sod. (ur.). (The European Nitrogen Assessment, 664
- Ferretti M., Fischer R., Mues V., Granke O., Lorenz M. 2010. Basic design principles for the ICP Forests Monitoring Networks. (ur.) 22 str.
- Ammonia sources, land-atmosphere exchange and effects: a European perspective. 1997. (ur.) North Carolina State University, Raleigh, NC, USA, 36-46. str.
- Grunhage L., Dammgen U., Hertstein U., Jäger H. J. 1993. Response of grassland ecosystem to air pollutants: I-Experimental concept and site of the Braunschweig grassland investigation program. *Environ Pollut*, 81, 2: 163-71
- Hutchinson G. L., Millington R. J., Peters D. B. 1972. Atmospheric ammonia: absorption by plant leaves. *Science*, 175, 2
- Lorenz M., Granke O. 2009. Deposition measurements and critical loads calculations: monitoring data, results and perspective. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 2, 11-14
- Nihlgård B. 1985. The Ammonium Hypothesis: An Additional Explanation to the Forest Dieback in Europe. *Ambio*, 14, 1: 2-8
- Rogers H. H., Aneja V. P. 1980. Uptake of Atmospheric Ammonia by Selected Plant Species. *Environmental and Experimental Botany*, 20, 251-257
- Sanz M. J., Carratalá A., Gimeno C., Millaín M. M. 2002. Atmospheric nitrogen deposition on the east coast of Spain: relevance of dry deposition in semi-arid Mediterranean regions. *Environmental Pollution*, 118, 259-272
- Verstraeten A., Neiryck J., Genouw G., Cools N., Roskams P. in sod. 2012. Impact of declining atmospheric deposition on forest soil solution chemistry in Flanders, Belgium. *Atmospheric Environment*, 62, 0: 50-63
- Waldner P., Marchetto A., Thimonier A., Schmitt M., Rogora M. in sod. 2014. Detection of temporal trends in atmospheric deposition of inorganic nitrogen and sulphate to forests in Europe. *Atmospheric Environment*, 95, 0: 363-374
- Žlindra D., Skudnik M., Rupel M., Simončič P. 2011. Meritve kakovosti padavin na prostem in v sestoji na ploskvah intenzivnega spremljanja gozdnih ekosistemov. *Gozdarski vestnik*, 69, 5-6: 10

SPREMLJANJE NASTAJANJA KSILEMA IN FLOEMA TER KAMBIJEVE AKTIVNOSTI PRI BUKVI IN SMREKI V SLOVENIJI

Monitoring of xylem and phloem formation and cambial activity in beech and spruce in Slovenia

prof. dr. Katarina Čufar^{1*}, dr. Peter Prislan^{2**}, doc. dr. Maks Merela^{1***}, Luka Krže^{1****}, doc. dr. Jožica Gričar^{3*****}

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

²Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno tehniko in ekonomiko, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

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

Ključne besede: navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.), navadna smreka (*Picea abies* (L.) Karst.), delovanje kambija, les, floem

Keywords: European beech (*Fagus sylvatica* L.), Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), cambium activity, wood, phloem

Summary

Temporal dynamics of cambial activity and wood and phloem formation was monitored in European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) at the sites Panška reka near Ljubljana (400 m a.s.l.) and on Menina planina (1200 m a.s.l.) from 2006 until 2014. The monitoring is based on histometrical analysis of stem tissues of adult trees including cambial zone, xylem (wood) and phloem. Samples (micro cores) for analyses were taken from trees using a Trephor tool at weekly intervals during the growing seasons. Micro cores were embedded in paraffin in order to cut cross-sections and make permanent slides for observations under the light microscope. We always measured the width or counted the number of cells in the cambium, forming xylem and forming phloem increments. The measurements or counting were performed along three radial files of xylem and phloem growth rings and the cambial zone. We recorded the phases of xylem formation: PC – post-cambial extension growth, SW – deposition of secondary wall and lignification, MT – mature cells. In phloem we separately recorded the formation of early and late phloem. Research on beech was conducted in 2006 and from 2008 until 2014, and on spruce from 2009 until 2014. The monitoring and sampling continues. We present some main findings on the beginning,

dynamics and cessation of processes which lead to formation of wood and phloem annual growth layers in beech and spruce from both sites. We show how the processes depend on climatic factors. We also present how the spruce data included in a global data set of conifers helps to predict how tree productivity (and survival) will change due to climatic change. The described processes and their variability are still poorly understood; it is therefore necessary to continue the research presented. The results provide basic knowledge to better understand productivity of trees and forest stands, wood quality, the impact of climate change on tree growth and survival, accumulation of carbon and other processes.

Uvod

Večletne raziskave sezonske dinamike kambijeve aktivnosti ter nastajanja lesa (ksilema) in floema pri drevesih z istih rastišč vedno bolj pridobivajo na pomenu. Za pridobljene podatke je značilna visoka časovna ločljivost, kar nam omogoča razumevanje vpliva sezonskih okoljskih sprememb na debelinsko rast in na anatomske posebnosti ksilema in floema. Pridobljeni rezultati so med drugim pomembni za izdelavo modelov vpliva predvidenih klimatskih sprememb na ekosisteme, debelinsko rast in produktivnost sestojev, kakovosti lesa in akumulacijo ogljika.

Visoko časovno ločljivost pridobljenih podatkov lahko zagotovimo z metodo odvzema mikro-izvrtkov, ki povzroča minimalne poškodbe na drevesu in omogoča ponavljajoče (običajno tedensko) zbiranje vzorcev tekom več rastnih sezon. Metoda odvzema mikro-izvrtkov z različnimi orodji se uporablja že od 70-ih let prejšnjega stoletja (Gričar 2007, Rossi in sod. 2006). V zadnjih letih se je najbolj uveljavilo orodje Trepbor (Rossi in sod. 2006). K razmahu raziskav pripomore tudi razvoj metodologije priprave preparatov (npr. Rossi in sod. 2006) in boljših sistemov za analizo slik (npr. Abramoff in sod. 2004). V zadnjih letih so aktivnosti mednarodno povezanih raziskovalnih skupin usmerjene predvsem v usklajevanje metodoloških postopkov priprave preparatov, histometričnih analiz tkiv, terminologije in nenazadnje postopkov urejanja in obdelave pridobljenih podatkov s ciljem vzpostavitve mednarodne baze podatkov.

Raziskave nastajanja lesa opravljajo številne raziskovalne skupine po svetu, na rastiščih različnih nadmorskih višin (npr. Moser in sod. 2010), zemljepisnih širin in dolžin (Mäkinen in sod. 2008, Rossi in sod. 2014, Li in sod. 2013) tekom več zaporednih rastnih sezon. Prevladujejo raziskave na iglavcih, kjer so s pomočjo t.i. meta-analiz, kjer so (npr. Rossi in sodelavci (2008)) z združevanjem podatkov določili kritične temperature za začetek nastajanja lesa pri iglavcih iz hladnejših rastišč. Raziskav nastajanja lesa in kambijeve aktivnosti listavcev je manj, a njihovo število narašča (Schmitt in sod. 2000, Romagnoli in sod. 2011, Michelot in sod. 2012, Prislán in sod. 2013).

Kambij v centrifugalni smeri (navzven) proizvaja sekundarni floem (ličje), ki je tako kot ksilem lahko sestavljen iz letnih prirastnih plasti (Gričar 2011). Dinamika letnega priraščanja floema je bila doslej manj raziskana (Gričar in Čufar 2008, Prislán in sod. 2013, Swidrak in sod. 2014, Jyske in Hölttä 2015). Floem v drevesu opravlja življenjsko pomembno funkcijo, saj sitaste cevi/celice prevajajo produkte fotosinteze do mest, kjer poteka rast in skladiščenje, pa tudi za transport drugih endogenih in eksogenih makromolekul (Taiz in Zeiger 2006). Poznavanje nastajanja in delovanja floema pa je ključno za izdelavo modelov vpliva okoljskih dejavnikov na rast dreves (Hölttä in sod. 2010, Schiestl-Aalto in sod. 2015).

V Sloveniji se z monitoringom kambijeve aktivnosti ter nastajanja lesa in floema ukvarjamo že več kot desetletje. V pričujočem prispevku želimo predstaviti raziskave, opravljene na bukvi in smreki, ki sta ekološko in gospodarsko najpomembnejši in najpogostejši lesni vrsti v Sloveniji.

Materiali in metode

Opis rastišč

Raziskave so bile opravljene na navadnih bukvah (*Fagus sylvatica* L.) in navadnih smrekah (*Picea abies* (L.) Karst.) z rastišč Panška reka (PA) iz okolice Ljubljane

(46°00'S, 14°40'V, 400 m n.m.v.) in Menina planina (ME) z območja Kamniško-Savinjskih Alp (46°16'S, 14°48'V, 1200 m n.m.v.). V obdobju 2009 do 2011 je povprečna letna temperatura in količina padavin na Panški reki znašala 11,4 °C in 1401 mm, na Menini planini pa 7,6 °C in 1668 mm.

Odvzem in priprava vzorcev

V letih, ko smo izvajali eksperiment (Preglednica 1), smo na vsakem rastišču izbrali po šest dominantnih ali ko-dominantnih zdravih bukev in smrek, starih nad 100 let. V času rastne sezone (tj. od marca do oktobra na Panški reki ter od aprila do oktobra na Menini planini) smo v tedenskih intervalih na prsni višini debel odvzeli vzorce tkiv (t.i. mikro-izvrtke) s pomočjo orodja Trepbor (Rossi in sod. 2006). Vzorce, ki so vsebovali floem, kambij in ksilem, smo po odvzemu fiksirali v raztopini formalina, očetne kisline in etanola (FAA). Po enem tednu fiksacije smo jih prepojili s parafinom v komori za preparacijo tkiv Leica TP 1020-1 tako, da smo vzorce najprej dehidrirali v etanolu naraščajoče koncentracije (70 %, 90 %, 95 % in 100 %) in v organskem topilu bio-clear (D-limonen), nato pa jih prepojili s tekočim parafinom, segretim na 65 °C (Rossi in sod. 2006). Iz prečno orientiranih vzorcev, vklopljenih v parafinske bloke, smo nato s pomočjo rotacijskega mikrotoma Leica RM 2245 in nožev Feather N35H narezali prečne rezine tkiv debeline 10 µm – 12 µm, ki smo jih 10 minut barvali v mešanici barvil safranin in astra modro (raztopina 40 mg safranina in 150 mg astra modro v 100 ml deionizirane vode z dodatkom 2 ml očetne kisline) (van der Werf in sod. 2007) in jih vklopili v Euparal. Postopek je podrobno opisan v protokolu in prikazan v videu, ki smo ga pripravili v okviru COST akacije FP 1106 (Prislán in sod. 2014a, Prislán in sod. 2014b).

Za opazovanje, štetje in merjenje celic ter tkiv smo uporabili svetlobni mikroskop Nikon Eclipse 800 (svetlo polje in polarizirana svetloba), digitalno kamero DS-Fi1 in sistem za analizo slike NIS Elements BR3.

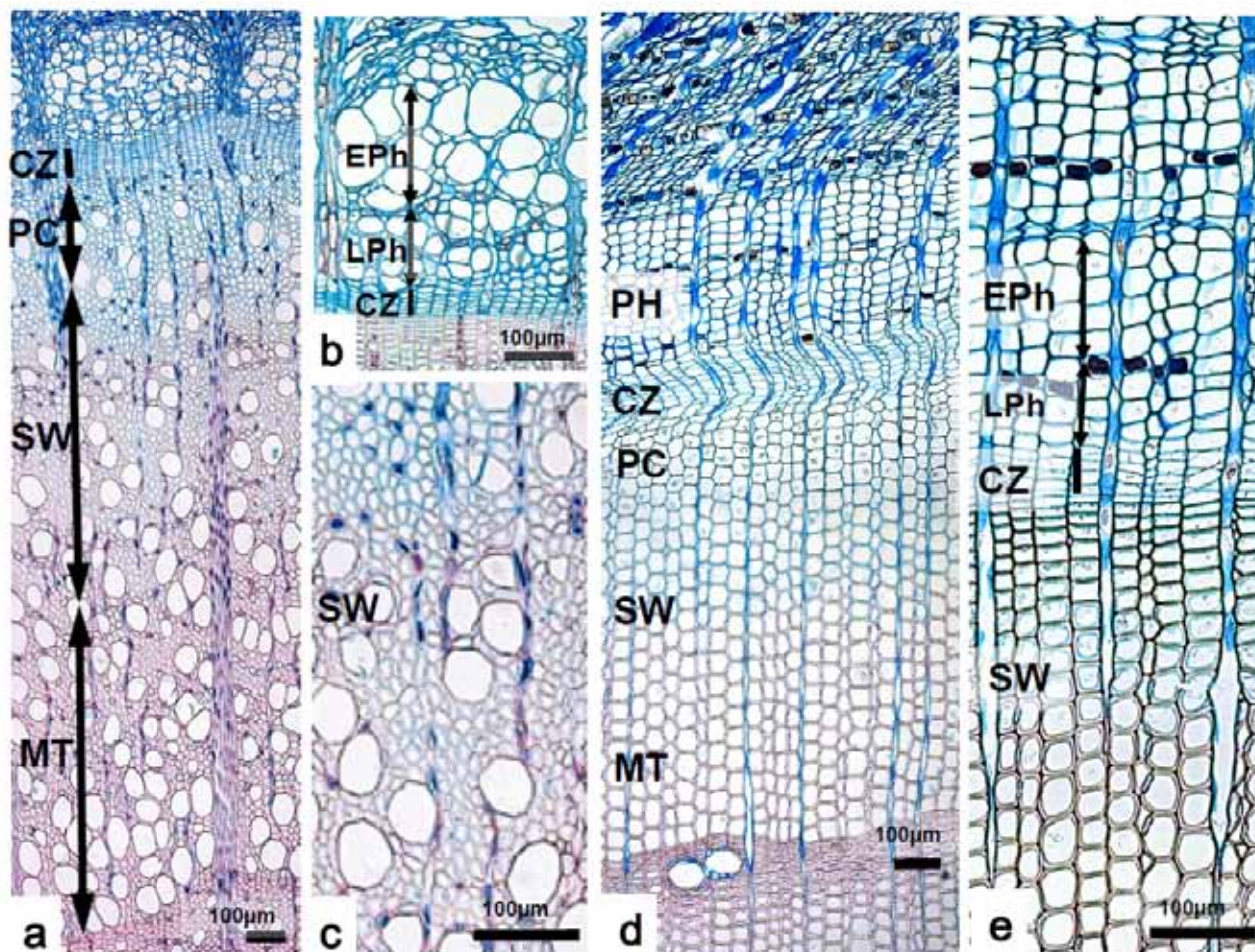
Opazovanja in meritve

Na histoloških rezinah smo prešteli število kambijevih celic ter pri bukvi izmerili širino tekočega, pri smreki pa prešteli število celic ksilemskega in floemskega prirastka. Beležili smo nastop fenoloških faz kambijeve aktivnosti (dan v letu), kot so: (1) začetke kambijeve celične produkcije, (2) maksimalno stopnjo produkcije ksilemskih in floemskih celic, (3) konec kambijeve celične produkcije, (4) konec procesa diferenciacije v terminalnih ksilemskih celicah, (5) čas prehoda iz rane v kasni floem. Začetek kambijeve celične produkcije ustreza obdobju, ko prvič opazimo povečano število kambijevih derivatov s tanko celično steno. Obdobje maksimalne produkcije ksilemskih in floemskih celic smo določili s pomočjo Gompertzove funkcije. Zaključek kambijeve celične produkcije ustreza obdobju, ko poleg kambija nismo več opazili celic

s tanko celično steno. Konec diferenciacije ksilemskih celic pa ustreza obdobju, ko smo na podlagi selektivnega obarvanja s safraninom in astra modrim opazili popolnoma lignificirane (obarvane rdeče) celične stene terminalnih ksilemskih celic. Razmejitev ranega in kasnega floema je mogoča, ko nastane tangencialni pas aksialnega parenhima. Pri bukvi je poleg tega velikost sitastih cevi v kasnem floemu značilno manjša od sitastih cevi v kasnem

floemu (Prislan in sod. 2013).

V nastajajoči ksilemski braniki smo merili (pri bukvi) in šteli (pri smreki) širino območja oz. število celic v posameznih fazah diferenciacije: v fazi površinske / postkambialne rasti (PC), odlaganja sekundarne celične stene in lignifikacije (SW) in zrele celice (MT) v vsaj treh radialnih nizih (Preglednica1, Slika 1).



Slika 1: Tkiva bukve (a, b, c) in smreke (d, e) v različnih fazah razvoja: (a) prečni prerez kambija (CZ) in nastajajočega ksilema s celicami v fazi postkambialne rasti (PC), fazi razvoja sekundarne celične stene (SW), in zrele celice (MT); (b) CZ in floemska branika, ki jo sestavlja rani (EPh) in kasni floem (LPh); (c) SW celice v fazi odlaganja celične stene (modro) in lignifikacije (rdeče); (d, e) prečni prerez tkiv smreke

Preglednica 1. Podatki o večletnem spremljanju nastajanja lesa in floema ter kambijeve aktivnosti

Drevesna vrsta	Rastišče, leta	Analize tkiv
<i>Fagus sylvatica</i> , navadna bukev	Panška reka (6 dreves) 2006, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014	Merjenje širin tkiv (bukev) oz. štetje celic (smreka) vzdolž 3 radialnih nizov Kambij CZ Ksilem (les)
	Menina planina (6 dreves) 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014	Nastajajoča branika Celice v fazi površinske rasti PC Celice v fazi odlaganja sekundarne stene in lignifikacije SW
<i>Picea abies</i> , navadna smreka	Panška reka (6 dreves) 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014	Zrele celice MT Predhodne 1-3 branike
	Menina planina (6 dreves) 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014	Floem - Nastajajoča floemska branika Rani floem EPh Kasni floem LPh

Pri bukvi smo med leti 2008 in 2010 na opazovanih drevesih spremljali tudi fenologijo listov, t.j. dan olistanja in datum jesenskega obarvanja listov. Opazovanja smo izvedli v skladu z navodili za fenološka opazovanja (Koch in sod. 2007). Začetek olistanja smo zabeležili na dan, ko je bila na več mestih v krošnji opažena prva površina listov. Jesensko obarvanje listov pa smo določili, ko je več kot 50 % listov spremenilo barvo.

Analiza pridobljenih podatkov

Ksilemske in floemske prirastke smo v primeru velike variabilnosti širin branik po obodu drevesa standardizirali (Rossi in sod. 2003) ter jih analizirali s pomočjo prilagojene Gompertzove funkcije, za analizo povezav med širino ksilemske branike, dolžino rastne sezone in stopnjo celične produkcije pa smo uporabili Pearson-ov koeficient korelacije.

Razlike določenih fenoloških faz listov, kambija ter nastajanja lesa in floema med leti in rastišči smo določili s pomočjo enosmerne ANOVA. Normalnost porazdelitev in homogenost variance smo preverili s Shapiro-Wilk W testom oziroma z Levene's testom (Quinn in Keough 2002).

Preverjali smo tudi ali fenološke faze na rastiščih nastopijo ob podobnih klimatskih pogojih. V ta namen smo primerjali minimalne in maksimalne temperature in vsoto padavin pred nastopom posamezne faze. Poleg tega smo določili kumulativne temperature ($^{\circ}D$) zgodnjih fenoloških faz na podlagi temperaturnih vsot (eng. Growing degree days – GDD)(Gruber in sod. 2009, Schmitt in sod. 2004),(Prislan in sod. 2013).

Rezultati in razprava

Izbrani rezultati raziskav bukve

Raziskave debelinske rasti bukve v letih 2008–2010 so pokazale, da so olistanje (prvi listi), začetek kambijeve celične produkcije in povečano število floemskih celic sovpadali in smo jih zabeležili na Panški reki v prvi polovici aprila, na Menini planini pa v prvem tednu maja. Temperatura se je potrdila kot najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na omenjene tri dogodke. Najvišjo produkcijo ksilemskih celic smo na Panški reki zabeležili od 20. maja do 9. junija in približno dva tedna kasneje na Menini planini. Največjo produkcijo celic smo na floemski strani zabeležili več kot en mesec prej kot na ksilemski strani in to na obeh rastiščih. Prenehanje nastajanja ksilema smo na Panški reki zabeležili okoli 19. avgusta, na Menini planini pa v splošnem približno 10 dni prej. Proces nastajanja lesa je bil podoben na obeh rastiščih, dinamika in čas posameznih faz pa so se razlikovali.

Diferenciacija zadnjih ksilemskih celic v braniki je bila zaključena do sredine septembra na obeh rastiščih. Razlike v fazah nastanka ksilema in floema so bile

manjše v drugem delu rastne sezone in jih je mogoče pripisati klimatskim dejavnikom (zlasti temperaturi) saj v drugi polovici rastne sezone niso tako omejujoči za rast dreves kot v prvi polovici rastne sezone. Razlike raziskanih faz med leti niso bile statistično značilne, razlike pa so bile značilne med izbranimi rastiščema. Ksilemski prirastki so bili 5 do 12-krat večji kot floemski. Nastajanje floema se zdi manj podvrženo nihanjem okoljskih dejavnikov na istem rastišču, saj so bile širine floemskih branik primerljive na obeh rastiščih. Temperature in količina akumulirane toplote, ki so sprožile nastop posamezne fenološke faze, so se na obeh rastiščih zelo razlikovale. To nakazuje, da lahko opažene razlike v procesu nastajanja ksilema in floema med rastiščema pripišemo visoki intra-specifični oz. fenotipski plastičnosti bukve (Prislan in sod. 2013).

Izbrani rezultati raziskav smreke

Pri smreki smo ovrednotili nastajanje lesa in floema v odvisnosti od klimatskih dejavnikov na Panški reki in Menini planini v letih 2009–2011 in jih razširili z raziskavami na rastišču Rajec, pri Brnu na Češkem (Gričar in sod. 2014).

Na vseh rastiščih, letih in drevesih je kambij začel in prenehal s produkcijo ksilemskih in floemskih celic istočasno. V vseh letih je bila kambijeva celična produkcija v proporcionalni zvezi z nadmorsko višino in se je najprej začela na Panški reki (sredi aprila), nato v Rajecu (druga polovica aprila) in nazadnje na Menini planini (konec aprila/začetek maja). Debelinska rast se je najprej zaključila na Menini planini (sredi avgusta) in najkasneje na Panški reki.

Kambijeva celična produkcija je bila v vseh primerih manj intenzivna na floemsko stran. Posledično je bil prirastek floema vedno občutno manjši kot prirastek ksilema. Primerjava debelinske rasti med rastišči je pokazala, da so začetek posamezne fenološke faze sprožile različne temperature in količine akumulirane toplote (GDD), kar kaže na plastičen odziv smreke na različne rastiščne pogoje (Gričar in sod. 2014).

S podatki smreke smo se vključili tudi v širšo študijo, ki je zajemala devet različnih vrst iglavcev iz Kanade in Evrope (Rossi in sod. 2013). Raziskave so pokazale, da je bila kljub različnim rastiščnim in klimatskim razmeram dinamika nastajanja lesa v vseh proučevanih vrstah iglavcev presenetljivo homogena. Izkazalo se je, da drevesa prilagajajo fenološke faze pojava celic v razvojnih fazah PC, SW in MT linearnim vzorcem. Pri tem je zamik ene fenološke faze povezan s sinhronim in primerljivim zamikom naslednje faze. Nasprotno pa je produkcija ksilemskih celic povezana s fenološkimi fazami nelinearno (eksponentno). Podaljšanje rastne sezone bi zato lahko imelo za posledico nadpovprečno povečanje celične produkcije. Vpliv okoljskih

sprememb na dolžino rastne sezone bi zato lahko obsežno vplival na celično produkcijo, vezavo ogljika in posledično na produktivnost gozda (Rossi in sod. 2013).

Zahvala

Izvedbo projekta je omogočila Javna agencija za raziskovalno dejavnost republike Slovenije (ARRS), programa Lesarstvo P4-0015 in Gozdna biologija, ekologija in tehnologija P4-0107, program za usposabljanje mladih raziskovalcev (Peter Prislán) ter projekt V4-1419, ki ga financirata ARRS in Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP). Mednarodno sodelovanje je podprla akcija COST FP1106, STReESS, terensko delo pa Zavod za gozdove Slovenije, in podjetje Metropolitana d.o.o. Na terenu so nam bili v veliko pomoč Marko Beber, Franc Koncilja, Milko Detmar in Peter Pečnik, v laboratoriju pa Marko Željko, Primož Habjan ter študenti. Vsem lepa hvala.

Viri:

- Abramoff M.D., Magalhaes P.J., Ram S.J. 2004. Image processing with imageJ. *Biophoton Int*, 11, 7: 34–42
- Gričar J. 2007. Ksilo- in floemogeneza pri beli jelki (*Abies alba* Mill.) in navadni smreki (*Picea abies* (L.) Karst.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 106 str.
- Gričar J. 2011. Kemijska zgradba skorje in njena uporaba. *Les*, 63, 1-2: 8–17
- Gričar J., Čufar K. 2008. Seasonal dynamics of phloem and xylem formation in silver fir and Norway spruce as affected by drought. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55, 4: 538–543
- Gričar J., Prislán P., Gryc V., Vavřík H., de Luis M., Čufar K. 2014. Plastic and locally adapted phenology in cambial seasonality and production of xylem and phloem cells in *Picea abies* from temperate environments. *Tree Physiology*, In print,
- Gruber A., Baumgartner D., Zimmermann J., Oberhuber W. 2009. Temporal dynamic of wood formation in *Pinus cembra* along the alpine treeline ecotone and the effect of climate variables. *Trees - Structure and Function*, 23, 3: 623–635
- Hölttä T., Mäkinen H., Nöjd P., Mäkelä A., Nikinmaa E. 2010. A physiological model of softwood cambial growth. *Tree Physiology*, 30, 10: 1235–1252
- Jyske T., Hölttä T. 2015. Comparison of phloem and xylem hydraulic architecture in *Picea abies* stems. *New Phytologist*, 205, 1: 102–115
- Koch E., Bruns E., Chmielewski F.M., Defila C., Lipa W., Menzel A. 2007. Guidelines for plant phenological observations, WMO Technical Commission for Climatology, Open Program Area Group on Monitoring and Analysis of Climate Variability and Change (OPAG2). <http://www.omm.urv.cat/documentation.html> (May 23, 2011)
- Li X., Liang E., Gričar J., Prislán P., Rossi S., Čufar K. 2013. Age dependence of xylogenesis and its climatic sensitivity in Smith fir on the south-eastern Tibetan Plateau. *Tree Physiology*, 33, 1: 48–56
- Mäkinen H., Seo J.W., Nöjd P., Schmitt U., Jalkanen R. 2008. Seasonal dynamics of wood formation: a comparison between pinning, microcoring and dendrometer measurements. *Eur J For Res*, 127, 3: 235–245
- Michelot A., Simard S., Rathgeber C., Dufréne E., Damesin C. 2012. Comparing the intra-annual wood formation of three European species (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris*) as related to leaf phenology and non-structural carbohydrate dynamics. *Tree Physiology*, 32, 8: 1033–1045
- Moser L., Fonti P., Buntgen U., Esper J., Luterbacher J., Franzen J., Frank D. 2010. Timing and duration of European larch growing season along altitudinal gradients in the Swiss Alps. *Tree Physiology*, 30, 2: 225–233
- Prislán P., Gričar J., Čufar K. 2014a. Wood sample preparation for microscopic analysis. In http://streess-cost.eu/images/stories/Documents/protocol_wood_sample_preparation_for_microscopic_analysis.pdf. (Ljubljana: University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology; Slovenian Forestry Institute: University of Zaragoza, Department of Geography and Regional Planning).
- Prislán P., Gričar J., de Luis M., Smith K.T., Čufar K. 2013. Phenological variation in xylem and phloem formation in *Fagus sylvatica* from two contrasting sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 180, 0: 142–151
- Prislán P., Martínez Castillo E., Krže L., Habjan P., Merela M., Reijnen H. 2014b. Wood sample preparation for microscopic analysis: based on a protocol by Peter Prislán. In http://streess-cost.eu/images/stories/films/STReESS_Film_Peter_Prislán.mp4. (Ljubljana: University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology; Slovenian Forestry Institute: University of Zaragoza, Department of Geography and Regional Planning).
- Quinn G.P., Keough M.J. 2002. Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge University Press: 557 str.
- Romagnoli M., Cherubini M., Prislán P., Gricar J., Spina S., Cufar K. 2011. Main phases of wood formation in chestnut (*Castanea sativa*) in Central Italy - comparison of seasons 2008 and 2009. *Drv Ind*, 62, 4: 269–275
- Rossi S., Deslauriers A., Morin H. 2003. Application of the Gompertz equation for the study of xylem cell development. *Dendrochronologia*, 21, 1: 33–39
- Rossi S., Anfodillo T., Menardi R. 2006. Trephor: a new tool for sampling microcores from tree stems. *IAWA Journal*, 27, 1: 89–97
- Rossi S., Girard M.J., Morin H. 2014. Lengthening of the duration of xylogenesis engenders disproportionate increases in xylem production. *Global Change Biology*, 20, 7: 2261–2271
- Rossi S., Deslauriers A., Gričar J., Seo J.W., Rathgeber C.W.G., Anfodillo T., Morin H., Levanič T., Oven P., Jalkanen R. 2008. Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates. *Global Ecology and Biogeography*, 17, 6: 696–707
- Rossi S., Anfodillo T., Cufar K., Cuny H., Deslauriers A., Fonti P., Frank D., Gricar J., Gruber A., King G., Krause C., Morin H., Oberhuber W., Prislán P., Rathgeber C. 2013. A meta-analysis of cambium phenology and growth: linear and nonlinear patterns in conifers of the northern hemisphere. *Ann Bot*, 112, 9: 1911–1920
- Schiestl-Aalto P., Kulmala L., Mäkinen H., Nikinmaa E., Mäkelä A. 2015. CASSIA – a dynamic model for predicting intra-annual sink demand and interannual growth variation in Scots pine. *New Phytologist*, 206, 2: 647–659
- Schmitt U., Möller R., Eckstein D. 2000. Seasonal wood formation dynamics of beech (*Fagus sylvatica* L.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) as determined by the "pinning" technique. *Journal of Applied Botany*, 74, 10–16
- Schmitt U., Jalkanen R., Eckstein D. 2004. Cambium dynamics of *Pinus sylvestris* and *Betula* spp. in the northern boreal forest in Finland. *Silva Fennica*, 38, 2: 167–178
- Swidrak I., Gruber A., Oberhuber W. 2014. Xylem and phloem phenology in co-occurring conifers exposed to drought. *Trees*, 28, 4: 1161–1171
- Taiz L., Zeiger E. 2006. Plant physiology. 4th ed. Sunderland, Massachusetts Sinauer Associates: 764 str.
- van der Werf G.W., Sass-Klaassen U., Mohren G.M.J. 2007. The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on a dry site in the Netherlands. *Dendrochronologia*, 25: 103–112

SPREMLJANJE STANJA GOZDNIH CEST ZA RACIONALNO NAČRTOVANJE NJIHOVEGA VZDRŽEVANJA

dr. Boštjan Hribernik*, prof. dr. Igor Potočnik**

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

Ključne besede: gozdne ceste /večnamenska raba gozdnih cest/ vzdrževanje gozdnih cest/ poškodbe gozdnih cest

Keywords: forest roads, multiple use of forest roads, forest road maintenance, forest road damage

Abstract

Forest road maintenance is necessary to ensure their multi-purpose use and to maintain the value of the investment represented by forest road construction. Maintenance work represents the current annual and periodic maintenance work, which restores the carrying capacity of forest roads. Maintenance work also represents the current winter maintenance work, which provides winter transportability of forest roads. The system of forest road maintenance financing is legally defined. The amount of funding needed is determined on the assumption that forest roads are properly constructed and regularly maintained. The actual state of forest roads, which was determined through an inventory of damage on selected hectometric segments, shows significant deviation from the ideal state. Identified damage to the lower and upper road layers and to the forest road drainage system show the need for major investments in restoring the forest road carrying capacity. Results of past maintenance work analysis showed that in the period examined 29.9 % of funds were spent for winter road maintenance and 47.8 % together for current annual and periodic maintenance work. The remaining 22.3 % of the funds were spent for investment projects on forest roads. Due to limited funds and because of the high demand for reconstruction of the forest road carrying capacity, it is necessary to restrict the spending on winter maintenance work, to perform the necessary current annual and periodic maintenance work and to ensure investment funding from other sources.

Uvod

Gospodarjenje z gozdovi in večnamenska raba gozdov nista možna brez izgrajenega omrežja gozdnih cest. Zaradi rabe gozdnih cest in delovanja naravnih dejavnikov pa se na gozdnih cestah pojavljajo poškodbe, ki jih je potrebno z izvedbo vzdrževalnih del

odpraviti, saj le redno in ustrezno vzdrževane gozdne ceste zagotavljajo njihovo trajno in večnamensko rabo (Potočnik, 1992). Poleg velike skupne dolžine predstavlja dodatni problem zaradi standarda vzdrževanja negozdarska raba gozdnih cest, ki jo narekuje večnamenska vloga gozdov.

Z ekonomskega vidika je gradnja gozdne ceste investicija, za katero veljajo ekonomska načela (Potočnik, Šinko, Winkler 1991). Ekonomsko je učinkovita v primeru, ko so koristi gozdne ceste večje od stroškov gradnje, vzdrževanja in škodljivih vplivov na okolje. Redno vzdrževanje gozdnih cest je ključnega pomena za trajno in ekonomično rabo, skrbno načrtovanje in izvedba vzdrževalnih del pa za ohranjanje nosilnosti vozišč gozdnih cest.

Vzdrževanje gozdnih cest sestavljajo ukrepi tekočega letnega in zimskega vzdrževanja ter periodičnega vzdrževanja. Ukrepi tekočega vzdrževanja se izvajajo vsako leto in so namenjeni ohranjanju nosilnosti vozišč, ukrepi periodičnega vzdrževanja pa se izvajajo v daljših časovnih periodah in so namenjeni obnovi nosilnosti vozišč gozdnih cest.

Način zagotavljanja sredstev za vzdrževanje gozdnih cest določa Zakon o gozdovih (1993). Višina potrebnih sredstev za vzdrževanje gozdnih cest je izračunana ob podmeni, da so le-te ustrezno načrtovane in izgrajene, da je prometna obremenitev v mejah nosilnosti vozišča ceste in da je vpliv naravnih dejavnikov normalen.

Zaradi omejenega obsega razpoložljivih sredstev za vzdrževanje gozdnih cest je pomembno zagotoviti ustrezno razmerje med posameznimi vrstami ukrepov za njihovo vzdrževanje.

Program in metode dela

V raziskavi smo proučevali preteklo vzdrževanje in ob-

*bostjan.hribernik@bf.uni-lj.si **igor.potocnik@bf.uni-lj.si

stoječe stanje gozdnih cest v občini Črna na Koroškem. Pri analizi preteklega vzdrževanja smo uporabili podatke evidence izvedenih del na gozdnih cestah (Evidenca vzdrževalnih del ..., 2014) in katastra gozdnih cest (Kataster gozdnih cest, 2003).

Analizirali smo porabo sredstev za vzdrževanje gozdnih cest v občini Črna na Koroškem v obdobju od leta 1999 do leta 2013. Za izračun realne vrednosti izvedenih vzdrževalnih del na gozdnih cestah smo dejansko letno porabo revalorizirali z indeksom gradbenih stroškov (Indeksi gradbenih stroškov, 2015), pri tem smo za izhodišče vzeli 31. 12. 2013. Evidentirana vzdrževalna dela na gozdnih cestah smo v skladu z metodologijo za izračun povprečnih vzdrževalnih stroškov (Uredba o pristojbini ..., 1994) razdelili na skupine, ki jih predstavljajo dela tekočega letnega in zimskega vzdrževanja ter periodičnega vzdrževanja. Vsa druga izvedena in obračunana dela smo opredelili kot drugo porabo sredstev za vzdrževanje gozdnih cest.

Pri razporeditvi stroškov po posameznih vrstah vzdrževanja smo upoštevali naslednjo delitev (Hribernik, 2004):

- tekoče letno vzdrževanje: stroški profiliranja vozišča z grederjem, stroški ročnega dela (čiščenje brežin, krpanje udarnih jam, čiščenje nanosov materiala na cestišče, čiščenje sistema odvodnjavanja), stroški strojnega čiščenja nanosov materiala z rovkopačem in odvoza materiala s kamionom;
- tekoče zimsko vzdrževanje: stroški priprave deponij za posipni material, stroški odstranjevanja snega in posipavanja vozišča;
- periodično vzdrževanje: stroški nabave, prevoza in razgrinjanja gramoz, stroški komprimiranja vozišča in sanacije mostov;
- druga poraba sredstev za vzdrževanje gozdnih cest: vsi drugi evidentirani stroški, ki niso uvrščeni v eno izmed naštetih skupin vzdrževalnih del.

Stanje smo analizirali na podlagi izdelanega katastra gozdnih cest, ki ga vodi Zavod za gozdove Slovenije (2003). Vse gozdne ceste smo razdelili na hektometrskе odseke in z naključnim izborom s pomočjo računalnika izbrali 5 % odsekov, na katerih smo ugotavljali stanje s popisom naslednjih poškodb:

- poškodbe spodnjega ustroja: erozija, plazenje in poškodbe bankin;
- poškodbe zgornjega ustroja: udarne jame, načeta obrabna plast, valovito vozišče, kolesnice, erozijski žlebovi, vraščanje rastlin v vozišče in nanos materiala;
- poškodbe sistema odvodnjavanja: poškodbe jarkov, koritnic, cevni propustov in dražnikov.

Za snemanje na terenu smo predhodno oblikovali snemalni list. Izbrane odseke smo na terenu določili s pomočjo karte in števca na kolesu ali v avtomobilu.

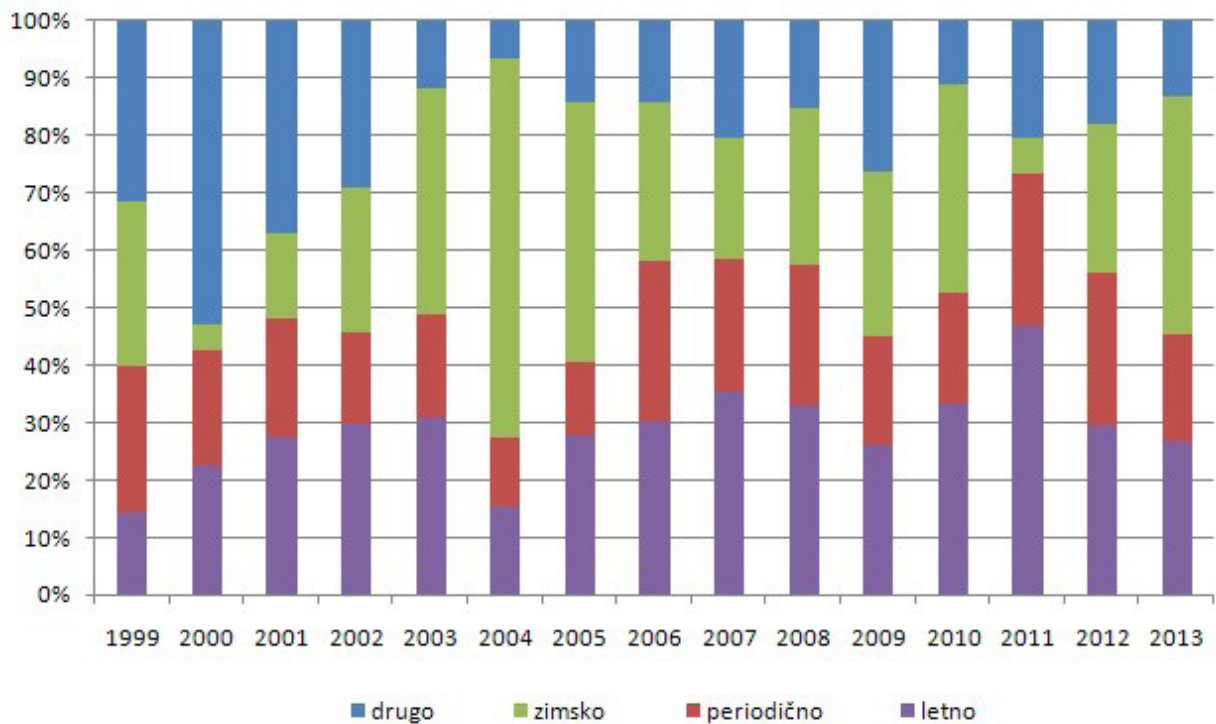
Rezultati raziskovanja

Na podlagi katastra gozdnih cest (Kataster gozdnih cest ..., 2003) je bilo v območju raziskovanja skupaj evidentirano 292,9 km gozdnih cest. Pri ugotavljanju stanja gozdnih cest je bilo terensko snemanje izvedeno na 147 izbranih hektometrskih odsekih gozdnih cest.

Med poškodbami spodnjega ustroja je bila najpogostejše evidentirana erozija (34,0 %), ki se kaže kot posledica skupnega delovanja padavinske vode, prometa in neustrezne gradnje. Pogoste so tudi poškodbe bankin (20,4 %), katerih glavni vzrok je spravilo lesa na gozdno cesto. Plazenje se pojavlja v manjši meri (8,2 %), vendar je za odpravo posledic potrebno zagotoviti največ sredstev. Poškodbe spodnjega ustroja gozdne ceste se pojavljajo ločeno, na posameznih odsekih gozdnih cest pa se tudi akumulirajo. Z vidika vzdrževanja je kritičnih 2,7 % popisanih odsekov, na katerih so hkrati prisotne vse tri vrste poškodb spodnjega ustroja. Ti odseki zahtevajo še posebej skrbno načrtovanje in izvedbo vzdrževalnih del, sanacija pa predstavlja veliko porabo sredstev za vzdrževanje gozdnih cest.

Najpogostejše poškodbe zgornjega ustroja so načeta obrabna plast (84,4 %), vraščanje rastlin (84,4 %) in erozijski žlebovi (70,1 %). Navedene poškodbe so rezultat neustrezne gradnje in rabe ter pomanjkljivega vzdrževanja gozdnih cest. Pogostost pojavljanja drugih poškodb zgornjega ustroja je bistveno manjša: valovito vozišče (29,3 %), udarne jame (19,0 %), kolesnice (18,4 %) in nanosi materiala (17,0 %). Pri popisu stanja gozdnih cest smo odkrili, da hektometrskih odsekov brez poškodb zgornjega ustroja ni. Podobno kot pri poškodbah spodnjega ustroja prihaja tudi pri poškodbah zgornjega ustroja do hkratnega pojava več poškodb. Kritičnih je 2,1 % popisanih odsekov, na katerih je prisotnih šest oziroma vseh sedem vrst poškodb spodnjega ustroja, ki smo jih popisovali.

Pomemben vzrok poškodb spodnjega in zgornjega ustroja ceste so poškodbe sistema odvodnjavanja, saj se posledice delovanja površinske vode kažejo kot površinsko izpiranje finih delcev, poglobljanje udarnih jam in kolesnic ter mehčanje zgornjega in spodnjega ustroja (Dobre, 1995). Pri popisu stanja gozdnih cest smo ugotovili, da so dražniki vgrajeni samo na 4,1 % vzorčnih odsekov, kar je rezultat težnje po strojnem vzdrževanju gozdnih cest. Brez urejenega jarka ali koritnice je 43,5 % popisanih hektometrskih odsekov. Tu se voda iz odkopne brežine prosto steka na vozišče, kar dodatno vodi k poškodbam zgornjega ustroja gozdne ceste. Glede na specifične hidrološke in geološke razmere obravnavanega območja pa je še posebej skrb vzbujajoče dejstvo, da 69,4 % popisanih odsekov gozdnih cest nima vgrajenih cevni propustov.



Slika 1: Struktura porabe sredstev po skupinah vzdrževalnih del

Pri analizi skupne poškodovanosti smo ugotovili, da imajo vsi popisani odseki gozdnih cest poškodbe zgornjega ustroja. Poškodbe zgornjega ustroja in sistema odvodnjavanja nastopajo na 49,0 % popisanih odsekov in brez ustreznega ukrepanja bo tu prišlo še do poškodb spodnjega ustroja gozdnih cest. Poškodbe spodnjega in zgornjega ustroja se ob urejenem sistemu odvodnjavanja pojavljajo zgolj na 2,2 % odsekov. Z vidika rabe in vzdrževanja pa je kritičnih 40,1 % odsekov, kjer se hkrati pojavljajo poškodbe spodnjega in zgornjega ustroja ter sistema odvodnjavanja.

Analiza preteklega vzdrževanja gozdnih cest je bila narajena za obdobje od leta 1999 do leta 2013. V tem obdobju je bilo ob upoštevanju realne vrednosti opravljenih del na vseh gozdnih cestah skupaj porabljenih 2.601.147,79 € oziroma 569,49 €/km/leto. Sredstva so bila porabljena za različne vrste vzdrževalnih del in za druge investicije na gozdnih cestah (Slika 1).

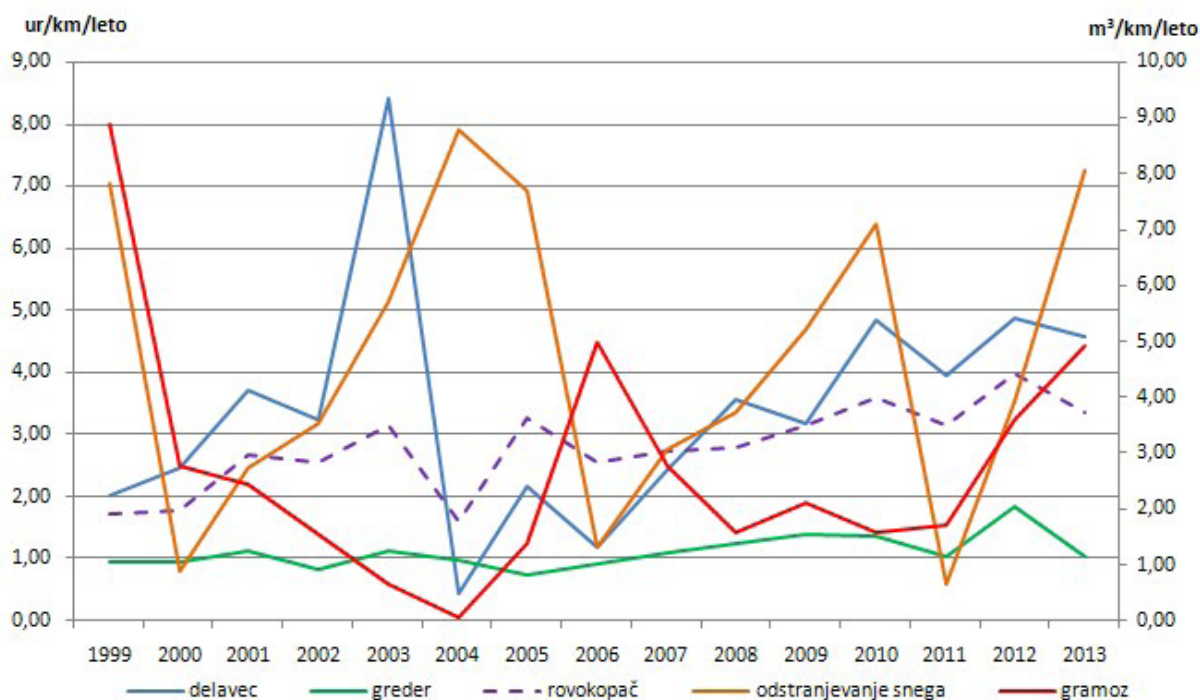
Struktura porabe sredstev ni vnaprej podrobno opredeljena in je odvisna od vremenskih razmer v posameznem letu. V primeru obilnih snežnih padavin je poraba sredstev za zimsko vzdrževanje višja, prav tako je višja poraba sredstev za tekoče letno vzdrževanje v primeru močnejših deževij v preostalem delu leta. Pomemben delež porabe v posameznem letu predstavlja poraba sredstev za razna investicijska dela, ki pa ne predstavljajo neposrednega vzdrževanja gozdne ceste. Za izvedbo ukrepov tekočega letnega in periodičnega vzdrževanja, s katerimi se ohranja in obnavlja nosilnost vozišč gozdnih cest, je bilo v proučevanem obdobju porabljenih 1.457.622,87 € oziroma 319,13 €/km/leto. Pri tem predstavljajo 90,6 % vseh stroškov tekočega in periodičnega vzdrževanja stroški delavca, gramoza,

grederja, rovokopača in stroški odstranjevanja snega. Višina stroškov po letih variira zaradi različnega obsega del ter sprememb cen dela in materiala. Za prikaz izvedbe vzdrževalnih del je zato pomembnejši prikaz dejanskega obsega dela (Slika 2).

Poraba časa za odstranjevanje snega je bila velika v letih 1999, 2004, 2010 in 2013, največja pa v letu 2004, ko je znašala 7,90 ure/km. Odstranjevanje snega je odvisno od pogostosti sneženja in višine novozapadlega snega. Praviloma se izvaja na gozdnih cestah, ki odpirajo kmetije in zaselke, kjer se zaradi dnevnih migracij v službo in šolo zagotavlja stalna prevoznost. Obseg del delavca se je v proučevanem obdobju povečal iz 2,02 ure/km na 4,58 ure/km. Obseg je deloma pogojen z uporabo grederja in rovokopača, kjer dopolnjuje izvedbo strojnega vzdrževanja gozdnih cest, sicer delavec opravlja samostojno delo pri čiščenju brežin. Povprečen obseg del grederja znaša 1,11 ure/km/leto, med posameznimi leti pa variira od 0,73 ure/km do 1,86 ure/km. V proučevanem obdobju pa se je podvojil obseg del rovokopača in je v letu 2012, ko je bil največji, znašal 3,99 ure/km. Poraba gramoza je bila največja v letu 1999 (8,87 m³/km), povprečna višina porabe v proučevanem obdobju pa znaša 2,73 m³/km/leto. Za proučevano obdobje lahko ugotovimo, da je obseg gramoziranja odvisen od porabe časa za odstranjevanje snega, saj se povečan obseg zimskega vzdrževanja odraža z zmanjšanjem obsega gramoziranja.

Razprava

Vzdrževanje gozdnih cest se izvaja z ukrepi tekočega in periodičnega vzdrževanja. Potreben obseg del pri tem temelji na podmeni, da so gozdne ceste ustrezno izgrajene in redno vzdrževane. Analiza obstoječe-



Slika 2: Dejanski obseg izvedenih del na gozdnih cestah

ga stanja gozdnih cest, ki je bila narejena s popisom stanja na izbranih hektometrskih odsekih, pa kaže na bistveno odstopanje stanja gozdnih cest od modelnega. Poškodbe spodnjega ustroja so prisotne na 42,2 % odsekov gozdnih cest, poškodbe zgornjega ustroja pa na vseh odsekih gozdnih cest. Dodaten problem predstavlja neurejen sistem odvodnjavanja, kjer na 43,5 % odsekov gozdnih cest ni urejenih jarkov in koritnic, cevni propusti pa manjkajo na 69,4 % odsekov gozdnih cest. Padavinska voda se v tem primeru prosto odteka po vozišču, posledica pa so dodatne poškodbe spodnjega in zgornjega ustroja gozdne ceste.

Breme pretekle gradnje gozdnih cest, katere značilnost je velik obseg in slaba kvaliteta gradnje, na obstoječem omrežju gozdnih cest ostaja. Kaže se s porabo sredstev za izvedbo investicijskih del na gozdnih cestah, katerih delež je v proučevanem obdobju znašal 22,3 %. Podobno kot zagotavljanje visokega standarda zimskega vzdrževanja tudi financiranje investicijskih del na gozdnih cestah ni možno s sredstvi, ki so namenjena osnovnemu vzdrževanju gozdnih cest.

Analiza preteklega vzdrževanja po posameznih vrstah del posredno kaže na stanje gozdnih cest. Zaradi neurejenega sistema odvodnjavanja so pogosti nanosi materiala na gozdne ceste, ki jih je treba odstraniti z rovokopačem in s pomočjo ročnega dela. Povprečno je bilo na kilometer gozdnih cest letno obračunano 2,81 ure/km rovokopača, grederja pa 1,11 ure/km. Ob majhni količini gramozja, ki je bil v preteklem obdobju porabljen za izvedbo gramoziranja (2,73 m³/km/leto), je majhna poraba časa grederja pričakovana, saj se ta večinoma uporablja samo za profiliranje vozišča s koritnico. Izra-

čunana poraba gramozja je premajhna za izvedbo periodičnega vzdrževanja in dolgoročno ne zagotavlja ohranjanja nosilnosti vozišč gozdnih cest.

Glede na ugotovljeno stanje gozdnih cest in preteklo porabo sredstev za njihovo vzdrževanje je treba za trajno ohranjanje nosilnosti vozišč natančno opredeliti razmerja med posameznimi vrstami vzdrževanja in na ta način zagotoviti zadosten obseg periodičnega vzdrževanja, s katerim se obnavlja nosilnost vozišč gozdnih cest. Za zagotavljanje stalne prevoznosti in izvedbo del, ki predstavljajo dokončanje gradnje gozdnih cest, pa je nujno zagotoviti dodatne vire sredstev.

Viri:

- Dobre A. 1995. Gozdne prometnice. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 70 str.
- Evidenca vzdrževalnih del na gozdnih cestah. 2014. Slovenj Gradec, Zavod za gozdove Slovenije.
- Hribnik B. 2004. Model optimiranja vzdrževanja gozdnih cest za zagotavljanje njihove mnogonamenske rabe: magistrsko delo. Ljubljana, samozal.: 112 str.
- Indeks gradbenih stroškov, 2015. Statistični urad Republike Slovenije http://pxweb.stat.si/pxweb/Database/Ekonomsko/19_gradbenistvo/04_19576_stroski/04_19576_stroski.asp (19. 1.2015)
- Kataster gozdnih cest, 2003. Slovenj Gradec, Zavod za gozdove Slovenije.
- Potočnik I., Šinko M., Winkler I. 1991. Ekonomska narava naložb v gozdne ceste. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 38: 199-234.
- Potočnik I. 1992. Ekonomski in tehnični vidiki vzdrževanja gozdnih cest: magistrsko delo. Ljubljana, samozal.: 129 str.
- Uredba o pristojbini za vzdrževanje gozdnih cest. 1994. Ur. l. RS št. 38/1994 (20/1995, 42/1998, 12/1999, 25/2002, 35/2003, 31/2005, 9/2006, 32/2007, 36/2009, 103/2010, 35/2012).
- Zakon o gozdovih. Ur. l. RS št. 30/1993(56/1999, 110/2002, 115/2006, 110/2007, 106/2010, 63/2013, 101/2013, 24/2015).

MONITORING BIOTSKIH IN ABIOTSKIH PROCESOV RAZGRADNJE LESA NA PROSTEM

Monitoring of biotic and abiotic degradation processes of wood in outdoor exposure

Davor Kržišnik, dr. Boštjan Lesar, Nejc Thaler, Mojca Žlahtič, prof. dr. Miha Humar*

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

Ključne besede: les, življenjska doba lesa, vlažnost lesa, lesne glive, terenski testi

Keywords: wood, service life, wood moisture, wood decay fungi, field tests

Summary

Wood in outdoor applications is exposed to various degradation factors. Fungi are a predominant reason for the failure of wooden constructions in Central Europe. Ljubljana has some of the most severe conditions for use of wood in outdoor applications in Europe. Therefore, special emphasis should be placed on the proper use of wood. In order to elucidate service life phenomena of wood, several wooden species were exposed in use classes 3, 4, and 5. The decay was monitored regularly. In order to elucidate the correlation between wood moisture content and service life, a model house was built as well. Several parameters were monitored (wood moisture content, temperature, thermal conductivity, surface moisture, etc.) and approximately 800,000 data recordings were made each year. The results of the monitoring showed that nondurable wood (spruce, beech) degrades after 6 years of exposure in above ground applications. The service life of wood in sea water applications is considerably shorter. All non-treated wood tested was degraded after the first year of exposure.

Uvod

Slovenija je relativno bogata z lesom. Žal ga ne znamo oziroma ne zmoremo v celoti izkoristiti. Letno tako priraste več lesa kot ga uspemo porabiti (Piškur 2012). Še posebej veliko lesa je na voljo po nedavnem žledolomu. Ta les ni primeren za vse namene uporabe. Iz njega lahko izdelamo lesne kompozite ali pa ga uporabimo v nekonstrukcijske namene v grad-

beništvu. Eden izmed neizkoriščenih potencialov je ravno raba lesa v gradbeništvu. To področje je med najhitreje rastočimi panogami v Sloveniji, z izrednim potencialom za rast. V zadnjem obdobju je še posebej aktualna energetska sanacija stavb iz 60. in 70. let prejšnjega stoletja. Eden izmed ključnih podatkov, ki preprečuje širšo rabo lesa, je pomanjkanje ustreznih podatkov o življenjski dobi uporabljenega lesa in intervalih vzdrževanja. Ti podatki so nujni za načrtovanje investicij (DGNB system 2015). Ker so ti podatki močno odvisni od lokalnih pogojev, jih moramo določiti za vsako pokrajino posebej. Te informacije so še zlasti pomembne za širše osrednjeslovensko področje, saj vremenski pogoji v tem okolju sodijo med najbolj neugodne za rabo lesa na prostem. V mednarodni primerjavi različnih klim se je izkazalo, da klima v okolici Ljubljane sodi med najbolj ugodne za razvoj gliv razkrojevalk (Brischke in Rapp 2008).

V našem podnebnem pasu les ogrožajo predvsem glive, zato so bili eksperimenti na našem terenskem polju in modelnem objektu osredotočeni predvsem nanje. V naravi so procesi razgradnje zaželeni, ko les uporabljamo v komercialne namene, pa želimo razkroj čim bolj upočasniti. Najpogostejša rešitev, s katero podaljšamo življenjsko dobo lesa, je impregnacija neodpornih lesnih vrst z biocidi ali uporaba tropskih lesnih vrst. Tako impregnacije z biocidi kot tudi uporabe tropskih vrst ne uvrščamo med okolju prijazne, zato potekajo raziskave, ki obravnavajo možnosti okolju prijazne zaščite lesa. Če les uporabljaj-

*miha.humar@bf.uni-lj.si

mo v gradbene namene, moramo poznati življenjsko dobo nezaščitenega in zaščitenega lesa v posameznem okolju. Napovedovanje življenjske dobe lesa na prostem postaja vedno bolj pomembno. Zahtevajo ga različni gradbeni predpisi po vsem svetu. Za Slovenijo je najpomembnejša evropska direktiva o gradbenih proizvodih (European Construction Products Directive, CPD 89/106/EEC), ki v aneksu I podaja zahteve za mehansko odpornost, trdnost in varnost med uporabo. V preteklosti se je že izkazalo, da so lahko rezultati laboratorijskih testiranj življenjske dobe zaščitenega lesa zavajajoči (Brischke in sod. 2013). V laboratoriju namreč ni možno v celoti simulirati naravnih razmer za delovanje vseh organizmov, ki povzročajo razkroj lesa.

Z namenom spremljanja življenjske dobe lesa in lignoceluloznih materialov smo v letu 2006 začeli s terenskimi testiranjmi. V letu 2013 je bil terenski test nadgrajen še s postavitvijo modelnega objekta, kjer poleg življenjske dobe lahko spremljamo še številne druge parametre.

Materiali in metode

Terensko polje in modelni objekt sta zasnovana za testiranje lesa in lesnih kompozitov, poleg tega pa lahko testiramo tudi druge materiale kot so: biocidni proizvodi, premazi, hibridi, zlitine, lepilne mešanice, plastične mase, ... V našem klimatskem pasu poleg abiotičnih dejavnikov na les delujejo tudi biotični dejavniki razkroja, ki so v večini primerov pomembnejši od abiotičnih. V našem podnebnem pasu les ogrožajo predvsem glive, zato smo se na našem terenskem polju in modelnem objektu osredotočili predvsem nanje.

Terenska testna polja

Terenska testiranja potekajo na treh lokacijah: (1) na terenskem polju Oddelka za lesarstvo v Ljubljani, (2) na terenskem polju podjetja Silvaproduct d.o.o. na Igu in (3) v Luki Koper.

Na terenskem polju Oddelka za lesarstvo (v stiku z zemljo in nad zemljo) aktivnosti že potekajo od leta 2006, na terenu se nahaja nekaj tisoč vzorcev, ki so izpostavljeni od 1 do 9 let. Na terenskem polju Ig, kjer testiramo les v stiku z zemljo in nad zemljo, testiranja potekajo od leta 2009. Terenska testiranja lesa v stiku z zemljo (četrti razred izpostavitve (SIST EN 335-1/2 (ECS, 1992)), na obeh izpostavah potekajo v skladu s standardom EN 252 (ECS, 2004). Predvsem na terenskem polju Oddelka za lesarstvo pa poteka več vrst testiranj nad zemljo v tretjem razredu izpostavitve (nepokrito na prostem, pogosto močenje) (SIST EN 335-1/2 (ECS, 1992)). V Luki Koper terenska testiranja odpornosti lesa na morske organizme (SIST EN (ECS, 275)) potekajo že pet let.

Za določanje življenjske dobe lesa v tretjem razredu največ uporabljamo dvoslojni test (ang. double layer test). Pet enako obdelanih vzorcev je zloženih v spodnjo in pet v zgornjo vrsto. Vzorci v zgornji vrsti so za polovico vzorca zamaknjeni (Augusta in Rapp 2003). Poleg omenjenih potekajo tudi testiranja vzorcev lesa na stojalih, kjer vzorci lesa prosto visijo, kar omogoča takojšnje odtekanje vode, s tem pa hitro sušenje vzorcev in manjšo možnost za vzpostavitev ugodnih pogojev za razvoj in rast gliv.

V vseh primerih stopnjo razkroja ocenjujemo letno. Vsak vzorec smo si natančno ogledali in ocenili stopnjo, kot to predpisuje standard (SIST EN 252) (Preglednica 1).

Preglednica 1: Ocene stopnje razkroja vzorcev (Rapp in Augusta 2004; SIST EN 252 2004)

Ocena	Razvrstitev	Opis preizkušanca
0	Ni znakov razkroja	Na preizkušancu ni zaznavnih sprememb
1	Neznaten razkroj	Na vzorcu so vidni znaki razkroja, vendar razkroj ni intenziven in je zelo prostorsko omejen: - Spremembe, ki se pokažejo predvsem kot sprememba barve ali zelo površinski razkroj, mehčanje lesa je najpogostejši kazalec, razkroj sega do 1 mm v globino.
2	Zmeren razkroj	Jasne spremembe v zmernem obsegu: - Spremembe, ki se kažejo kot mehčanje lesa 1 mm do 3 mm globoko na 1 cm ² ali večjem delu vzorca.
3	Močen razkroj	Velike spremembe: - Izrazit razkroj lesa 3 mm do 5 mm globoko na velikem delu površine (večje od 20 cm ²), ali mehčanje lesa globlje kot 10 mm na površini, večji od 1 cm ² .
4	Propadanje	Preizkušanec je močno razkrojen: - Ob padcu z višine 0,5 m se zlomi.



Slika 1: Terensko polje na Oddelku za lesarstvo, BF. Prikazan je dvoslojni test, za določanje življenjske dobe lesa v tretjem razredu uporabe

V Luki Koper potekajo testiranja odpornosti na morske škodljivce kot so ladijska svedrovka in mokrica. Testiranje poteka tako, da vzorce pritrdimo na stojalo in jih skupaj s stojalom potopimo v morje na globino približno 6 m, kot zahteva standard SIST EN 275 (2004). V določenih obdobjih vzorce izoliramo, jih s tračnim žagalnim strojem prežagamo na pol in ocenimo poškodovanost (Slika 2).



Slika 2: Vzorca na stojalu po enoletnem testiranju v morski vodi v skladu s standardom SIST EN 275

Modelni objekt za spremljanje življenjske dobe in kvalitete toplotnega ovoja

Namen objekta je projektantom arhitektom in uporabnikom zagotoviti natančne podatke o videzu lesa, intervalih vzdrževanja lesa, življenjski dobi lesa, obnašanju materialov in izolativnosti stenskih sistemov. Konstrukcija objekta (3 m × 3 m) je izvedena v skeletnem načinu in v celoti (tla, stene in streha) izolirana s celulozno izolacijo ZIMICELL. Sestava zunanjih sten, strehe in tal sledi sodobni leseni skeletni gradnji z uporabo naravnih materialov. V objektu je vgrajeno stavbno pohištvo podjetja M SORA iz termično modificiranega lesa.

Modelni objekt je zasnovan tako, da omogoča spremljanje življenjske dobe lesa in lignoceluloznih mate-

rialov v realnih pogojih, izpostavljenih na vseh štirih straneh fasade, strehi in terasi. Na fasadi in terasi je vgrajenih 8 vrst lesa različnih obdelav, skupaj 24 različnih materialov in predstavlja odlično platformo za testiranje v realnih pogojih. Na objektu spremljamo barvne spremembe, prisotnost gliv modrivk in razkrojevalk, vlažnost konstrukcijskih, fasadnih in terasnih elementov, temperaturne prehode, korozijo pritrdilnega materiala, pojav razpok, toplotni tok ... V objektu spremljamo klimo, hlapne organske spojine s poudarkom na formaldehidu, relativno zračno vlažnost, temperaturo ... Skupno je v objektu vgrajenih preko 120 senzorjev, ki merijo vlažnosti lesa (uporovno merjenje), 10 temperaturnih senzorjev, 10 senzorjev vlažnosti zraka in 10 senzorjev merjenja pomikov (razpok). Letno tako samo na modelnem objektu opravimo preko 800.000 meritev.

Celoten objekt je zasnovan tako, da omogoča menjavo testnih materialov in nadgradnjo merjenih parametrov.



Slika 3: Modelni objekt za spremljanje življenjske dobe lesa in kvalitete toplotnega ovoja

Ob zgradbi Oddelka za lesarstvo je postavljena vremenska postaja, ki omogoča spremljanje vremenskih podatkov na terenskem polju in pri modelnem objektu. Podatki nam omogočajo analizo vpliva vremena na odpornost in življenjsko dobo lesa, izpostavljenega na terenskem polju in v modelnem objektu. Za spremljanje pogojev med testiranjem lesa v zemlji (na obeh lokacijah) imamo merilne naprave za spremljanje in beleženje temperature in vlažnosti zemlje.

Rezultati in razprava

Življenjska doba lesa na prostem je eden izmed ključnih podatkov, ki prispeva k odločitvi za posamezen material. Kljub dolgoletnemu testiranju je bilo z izjemo testiranja v morski vodi (5. razred uporabe) le-to večino-

ma prekratko, da bi prišlo do propada testiranih materialov v celoti. V praksi se je izkazalo, da je smiselno rezultate lastnih meritev primerjati tudi s podatki iz literature. Pred časom je tako izšel pregledni prispevek s podatki o življenjski dobi številnih lesnih vrst, ki so bile izpostavljene dejavnikom razkroja nad zemljo (Brischke in sod. 2013).

Tekom našega eksperimenta sta v izpostavitvi nad zemljo najhitreje propadli smrekovina in bukovina. Do popolnega propada je prišlo po 6 letih izposta-

vitve (Preglednica 2). V primerjavi naših podatkov s podatki iz literature vidimo, da je smrekovina na Švedskem propadla po 12 letih izpostavitve, po drugi strani pa so norveški strokovnjaki smrekovino po šestih letih izpostavitve na Norveškem ocenili s povprečno oceno 2,0, kar pomeni, da so se na lesu pojavili prvi globlji žepki razkroja (Brischke in sod. 2013). Ta podatek jasno nakazuje, da so klimatski pogoji v Sloveniji bistveno primernejši za razvoj gliv kot v Skandinaviji, saj so v Sloveniji vzorci že povsem propadli po 6 letih.

Preglednica 2: Stopnja razkroja izbranih materialov, ki so izpostavljeni na terenskih poljih Oddelka za lesarstvo, v odvisnosti od načina izpostavitve

Lesna vrsta		Stopnja razkroja [ocena/leto]	Življenjska doba [leta]
3. razred uporabe			
<i>Picea abies</i>	Smreka	0,67	6
<i>Fagus sylvatica</i>	Bukev	0,67	6
<i>Quercus spp.</i>	Hrast J	0,19	n.p.
<i>Larix decidua</i>	Macesen J	0,07	n.p.
<i>Pinus sylvestris</i>	Rdeči bor J	0,00	n.p.
<i>Castanea sativa</i>	Kostanj J	0,00	n.p.
S Silvanolinom impregnirana smreka		0,00	n.p.
4. razred uporabe			
<i>Picea abies</i>	Smreka	0,71	n.p.
<i>Larix decidua</i>	Macesen J	0,45	n.p.
<i>Pinus sylvestris</i>	Rdeči bor B	0,58	n.p.
S Silvanolinom impregnirana smreka		0,00	n.p.
5. razred uporabe			
<i>Picea abies</i>	Smreka	4,00	1
<i>Pinus sylvestris</i>	Rdeči bor B	4,00	1
<i>Larix decidua</i>	Macesen J	4,00	1
<i>Quercus sp.</i>	Hrast J	4,00	1
<i>Castanea sativa</i>	Kostanj J	4,00	1
S Silvanolinom impregnirana beljava bora		0,00	n.p.

n.p. – ni podatka. Vzorci še niso v celoti propadli / B – beljava; J - jedrovina

Če med seboj primerjamo ostale lesne vrste, kjer še ni prišlo do propada, lahko intenziteto razkroja ocenimo s povprečnim letnim napredkom razkroja. Le-ta je najhitrejši pri smrekovini in bukovini (0,67), sledita hrastovina (0,19) in macesnovina (0,07), najbolje pa sta se obnesli jedrovini kostanja in bora, kjer po petih letih še ni bilo opaziti znakov razkroja (Preglednica 2). Tudi impregnacija z baker-etanolaminskimi proizvodi je učinkovito ustavila razkroj.

Razkroj v stiku z zemljo (4. razred uporabe) je bil pričakovano hitrejši. Do prvih znakov razkroja je prišlo že v prvih letih, vendar nobena izmed testiranih vrst iglavcev v petih letih ni v celoti propadla. Zanimivo je,

da je razkroj hitreje potekal na lesu smreke (0,71) kot na beljavi bora (0,58), kljub temu, da standard SIST EN 335 (2006) smrekovino uvršča v višji razred odpornosti kot beljavo bora. Po pričakovanju se je nekoliko bolje odrezala jedrovina macesna (0,45) (Preglednica 2). Razkroj v stiku z zemljo lahko učinkovito preprečimo z uporabo bakrovih pripravkov.

Najhitreje pa je razkroj potekal v morski vodi (5. razred uporabe). V tem primeru je do razkroja prišlo že v prvem letu izpostavitve, ne glede na to, kako odporno lesno vrsto smo uporabili. Edini testirani obstojni material je bila beljava bora, zaščiten z baker-etanolaminskimi pripravki Silvanolin (Preglednica 2).

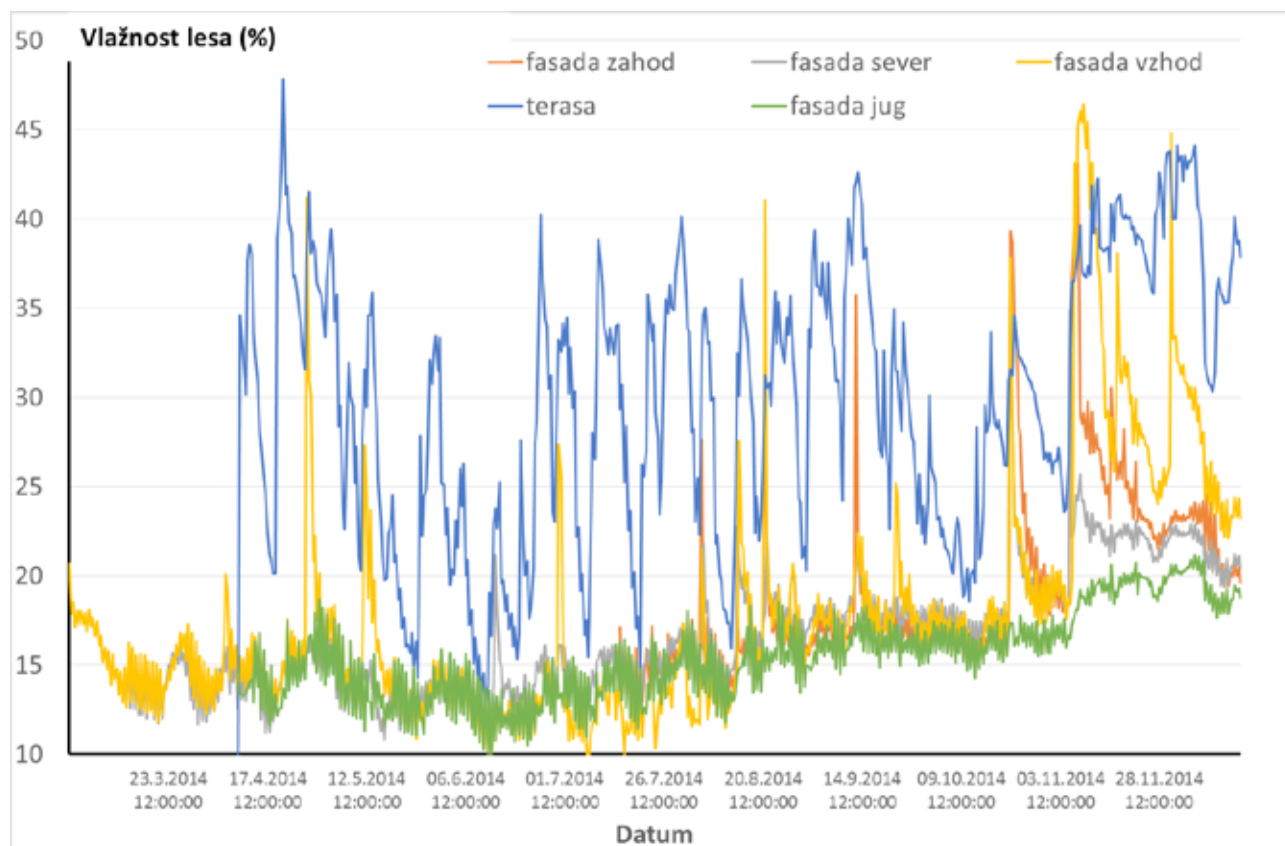
Namen spremljanja lastnosti lesa na zunanjih testih ni le ugotoviti, kako dolgo bodo zdržali posamezni materiali, temveč tudi določiti, kateri parametri vplivajo na odpornost lesa na prostem. V preteklosti so največji vpliv pripisovali fungicidnim komponentam lesa ali naravni odpornosti. Izkazalo se je, da ima naravna odpornost prevladujoč vpliv na življenjsko dobo lesa v stiku z zemljo, pri uporabi v nižjih razredih uporabe pa na življenjsko dobo vpliva še sposobnost, da les ostane suh (Brischke in sod. 2014). Zato na več vzorcih spremljamo vlažnost tudi na modelnem objektu na Oddelku za lesarstvo. V preglednici 3 so prikazani rezultati po slabem letu beleženja. Do razlik v številu dni meritev prihaja zaradi dejstva, da zaradi zahtevnosti

vzpostavitve senzorjev vseh senzorjev nismo namestili istočasno.

Iz preglednice 3 je jasno viden vpliv načina vgradnje. Smrekovina, ki je bila postavljena na teraso, je imela povprečno vlažnost skoraj še enkrat višjo kot smrekovina, vgrajena v fasado. Kar 180 dni je bila vlažnost smrekovine na terasi višja od 25 %, kar je meja, ko se na lesu že pojavijo pogoji, ugodni za razvoj razkroja. V primeru fasade je bilo število takšnih dni najnižje na severni in južni fasadi, najvišje pa na vzhodni. Razlog za te razlike je v izvedbi konstrukcije. Severna in južna stran imata manjši nadstrešek, medtem ko ga vzhodna in zahodna stran nimata.

Preglednica 3: Podatki o vlažnosti smrekovine v odvisnosti od izpostavitve na modelnem objektu. Vsi vzorci so bili izpostavljeni v tretjem razredu izpostavitve na modelnem objektu

	terasa	Fasada sever	Fasada jug	Fasada zahod	Fasada vzhod
Število dni meritev	253	281	254	330	296
povprečje	29,9	16,7	15,5	13,5	17,8
št. dni z u > 25 %	180	2	0	19	39
št. dni z u > 20 %	224	51	12	52	64



Slika 4: Gibanje vlažnosti smrekovega lesa v odvisnosti od mesta vgradnje

Seveda pa se pri tem postavlja vprašanje, kako dinamika vlage v lesu vpliva na razvoj gliv v lesu. Leto in pol izpostavitve je še prekratko, da bi se pojavile glive razkrojevalke, zato pa smo spremljali pojav gliv modrivk in plesni (Preglednica 4). Z vizualno oceno je med seboj zelo težko ločiti glive modrivke od plesni.

Primerjava podatkov v preglednicah 3 in 4 jasno prikaže povezanost med vlažnostjo lesa in pomodrelstjo lesa. Najintenzivnejše modrenje se je pojavilo na terasi, kjer smo zabeležili tudi najvišjo vlažnost. Izrazito modrenje oziroma plesenje smo zabeležili že po prvih tednih izpostavitve. Bistveno manj intenzivno je

bilo modrenje na fasadi. Na fasadi najizraziteje izstopa južna stran, kjer smo zabeležili le šibke znake modrenja. Po drugi strani pa smo bistveno intenzivnejše modrenje zabeležili na preostalih, predvsem severni in zahodni fasadi.

Razlog za pojav modrenja in plesnenja na severni fasadi kljub primerljivi vlažnosti lesa v primerjavi z južno fasado lahko pripišemo sončnemu obsevanju z juga.

Preglednica 4: Povprečna ocena pomodrelosti smrekovih letev od izpostavitve na modelnem objektu. Vsi vzorci so bili izpostavljeni v tretjem razredu izpostavitve na modelnem objektu

tedni po vgradnji	terasa	Fasada sever	Fasada jug	Fasada zahod	Fasada vzhod
5	1,8	0,2	0,0	0,0	0,0
10	2,5	1,1	0,0	1,7	1,6
20	/	2,7	0,0	2,4	1,9
30	/	3,2	0,2	2,7	2,1
55	/	3,1	0,2	3,5	2,3

/ zaradi intenzivne fotodegradacije lesa nismo uspeli ločiti modrenja od barvnih sprememb zaradi delovanja žarkov UV.

Zaključki

Les na prostem je izpostavljen delovanju biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja. Na hitrost propadanja imajo velik vpliv mesto uporabe in odpornost lesa. Neodporne lesne vrste prično relativno hitro propadati. Tako smrekovina in bukovina v Sloveniji propadeta že po 6 letih uporabe na prostem. Najhitreje pa je propadanje v morski vodi. Poleg gliv razkrojevalk pa les pogosto razvrednotijo tudi glive modrivke. Na pojav teh gliv v veliki meri vpliva izpostavljenost vlaženju in izpostavljenost površin sončnemu obsevanju.

Zahvala

Avtorji se zahvaljujemo Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije za podporo programske skupine P4-0015, Mreže infrastrukturnih centrov univerze v Ljubljani MRIC UL - IC LES PST in projekta L4-5517. Operacija je delno sofinancirana iz Evropskega razvojnega sklada Raziskovalni vavčer – Silva-produkt d.o.o. in Tadej Zimic s.p. 500154.

Viri:

- Anonymus. 1989. European Construction Products Directive Official journal of European Community, CPD 89/106/EEC
- Augusta U., Rapp A. O. 2003. The natural durability of wood in different use classes. International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 03-10457. 15.
- Brischke C., Meyer L., Alfredsen G., Humar M., Francis L., Fløte P.-O., Larsson P.B. 2013. Natural durability of timber exposed above ground : a survey. *Drvena industrija*, 64, 2: 113-129.
- Brischke C., Rapp A.O. 2008. Dose-response relationships between wood moisture content, wood temperature and fungal decay determined for 23 European field test sites. *Wood science and technology*, 42, 6: 507-518
- Brischke C., Meyer L., Hesse C., Van Acker J., De Windt I., Van den Bulcke J., Conti E., Humar M., Viitanen H., Kutnik M., Mallassenet L. 2014. Moisture dynamics of wood and wood-based products – Results from an inter-laboratory test. Stockholm: International Research Group on Wood Preservation (IRG), Document No.: IRG/WP/14-20539.
- DGNB system, 2015. <http://www.dgnb-system.de/si/> (15.3.15)
- European Committee for Standardisation., 2004. Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact. EN 252, Bruselj.
- European Committee for Standardisation., 2006. Durability of wood derived materials - definition of hazard classes of biological attack - part 1 and 2. EN 335-1/2, Bruselj.
- European Committee for Standardisation., 2004. Zaščitna sredstva za les – Ugotavljanje preventivne učinkovitosti zaščitnega sredstva proti morskim organizmom, Slovenski inštitut za standardizacijo. SIST EN 275, Bruselj.
- Piškur M. 2012. Poraba industrijskega okroglega lesa v Sloveniji. *Gozdarski vestnik*, 70, 4: 179-182.

SPREMLJANJE UTRJEVANJA UTEKOČINJENEGA LESA IN LEPLJENJA LESA Z UTEKOČINJENIM LESOM

Monitoring of curing of liquefied wood and bonding of wood with liquefied wood

dr. Aleš Ugovšek^{1*}, prof. dr. Milan Šernek²

¹ M SORA d.d., Trg svobode 2, 4226 Žiri, Slovenija

² Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina C. VIII/34, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: lepilni spoj, lepilo, lepljen les, utekočinjen les, utrjevanje

Keywords: adhesive bond, adhesive, bonded wood, liquefied wood, curing

Abstract

Liquefied wood is a potential alternative to the synthetic adhesives which are used for the bonding of wood. Despite the ability of liquefied wood to self-crosslink, bonds formed during the bonding of wood with liquefied wood do not achieve sufficient shear strength and have poor resistance to water. For this reason the process of the curing of liquefied wood, the influence of various parameters on the shear strength of bonds, and the structure of bonds formed during the bonding were analyzed. It was found that the chemical curing of liquefied wood started after water and solvent had been removed from it. When bonding wood, the curing of liquefied wood takes place faster because, in addition to evaporation, the transition of both vaporous components from the liquefied wood to the lamellas also occurs. During the bonding of 5 mm thick beech lamellas with liquefied wood having a negative pH, at optimal bonding conditions (180 °C, 12 min), a specific type of bond was formed. It consisted of a central part of carbonized wood cells of the bonded lamellas and the cured liquefied wood, and a narrow layer of partly delignified wood cells at the border between the central part and bonded lamella.

Uvod

Sintetična lepila so poleg lesa ključni material pri proizvodnji lepljenih lesnih kompozitov. Večji del teh lepil je sintetiziranih iz naftnih derivatov, med katerimi je tudi potencialno kancerogen formaldehid. Naraščanje cene surove nafte, neobnovljivost tega vira, ekološka oporečnost in škodljivost nekaterih sintetičnih lepil

so razlogi, zaradi katerih je bilo v zadnjih desetletjih opravljenih mnogo raziskav na področju izdelave lepil iz naravnih in obnovljivih virov. Ta lepila lahko v grobem razdelimo na lepila na osnovi rastlin in njihovih produktov (Ugovšek in Šernek 2010a) ter materialov živalskega izvora (Ugovšek in Šernek 2010b). Med rastlinske produkte spadajo tudi produkti, pridobljeni iz lesa in sicer tanin, lignin in utekočinjen les (UL) (Ugovšek in Šernek 2009). UL je produkt solvolize lesa ob prisotnosti katalizatorja, pri čemer je med procesom utekočinjanja potrebna povišana temperatura. Med utekočinjanjem prihaja do depolimerizacije osnovnih komponent lesa, pri čemer najprej razpadejo lignin, hemiceluloze in amorfni del celuloze ter v kasnejši fazi kristalinični del celuloze (Zhang in sod. 2012).

Poleg kemijskih analiz utekočinjanja lesa so bile raziskave usmerjene tudi v uporabo UL za končne produkte. Največkrat se je UL uporabljal za sintezo fenol-formaldehidnih, poliuretanskih in epoksi smol (Wei in sod. 2004; Kishi in sod. 2011; Pan 2011), ogljikovih vlaken (Ma in Zhao 2010), t.i. lesne keramike (Hirose in sod. 2001), poliuretanskih pen (Alma in Shiraishi 1998), premazov za les (Budija in sod. 2009a; Budija in sod. 2009b; Ugovšek in sod. 2012) in lepil za lepljenje lesa. V slednjem primeru je bil UL uporabljen na tri različne načine: kot del sintetiziranega lepila (Malda in sod. 1997), kot del lepilne mešanice s komercialnim lepilom (Ugovšek in sod. 2010; Čuk in sod. 2011; Wu in Lee 2010) ali kot samostojen material za lepljenje lesa (Ugovšek in sod. 2011a; Ugovšek in Šernek 2013a; Ugovšek in sod. 2013). Pri lepljenju

* ales.ugovsek@gmail.com; tel: 04 50 50 241

lesa z UL kot samostojnim materialom se je s časom manjšala strižna trdnost suhih spojev (Šernek in sod. 2011), poleg tega pa so preskušanci izkazali slabo vodoodpornost (Ugovšek in sod. 2011b) kljub temu, da je UL sposoben samozamreženja (Budija in sod. 2009b).

Namen raziskav, ki so v tem prispevku povzete po že objavljenih raziskavah v tujih in domačih znanstvenih revijah, je bil spremljati proces utrjevanja UL, izboljšati strižno trdnost spojev z optimizacijo procesa utekočinjanja in parametrov lepljenja in ugotoviti razloge za nezadostno strižno trdnost ter slabo vodoodpornost spojev lesa, lepljenega z UL.

Materiali in metode

Utekočinjanje lesa

Za utekočinjanje lesa so bili uporabljeni manjši delci (do 0,237 mm) topolove (*Populus nigra* L.) žagovine, ki je bila pred tem posušena v laboratorijskem sušilniku (103 °C, 24 h). Utekočinjanje lesa je potekalo v 1000 mL steklenem reaktorju, in sicer 120 min pri 180 °C. Kot reagent za utekočinjanje je bil uporabljen etilen glikol (EG) (p. a., Sigma-Aldrich, Nemčija) in kot katalizator 97 % žveplove (VI) kislina (p. a., Sigma-Aldrich, Nemčija). Masno razmerje med topolovino in EG je bilo 1:3, dodatek žveplove kisline pa je znašal 3 % glede na maso EG. Parametri in količine materiala so bili izbrani in določeni na podlagi optimizacije procesa utekočinjanja (Ugovšek in sod. 2011a). Po končanem utekočinjanju je bil UL razredčen z zmesjo 1,4-dioksana in vode (masno razmerje 4:1) ter s pomočjo podtlaka prefiltriran preko filtrirnih papirjev (Sartorius filter disks, Grade 388). V nadaljevanju sta bila z rotavaporjem (Büchi rotavapor R-210) in vakuumsko črpalko (Vacuubrand, PC 3003 VARIO) pri 55 °C ter prilagojenem višanju podtlaka od 100 kPa do 1 kPa odstranjena 1,4-dioksan ter voda. Po odstranitvi 1,4-dioksana in vode je bil pri 120 °C in podtlaku 1 kPa odstranjen večji del EG. Masa UL je bila med odparevanjem EG spremljana gravimetrično. Tak utekočinjen les, s končnim masnim razmerjem med topolovino in EG 1:1, je bil uporabljen za nadaljnje raziskave.

Spremljanje utrjevanja utekočinjenega lesa

Proces utrjevanja UL je bil proučevan z diferenčno dinamično kalorimetrijo (DSC) pri dinamičnih temperaturnih pogojih, hitrosti segrevanja 10 °C/min ter ob preprihovanju z dušikom (Ugovšek in Šernek, 2013b). Meritve so bile opravljene s kalorimetrom HP DSC 1 (Mettler Toledo).

Kemijske spremembe, ki so nastale po utrjevanju UL, so bile proučevane s Fourierjevo transformacijsko infrardečo (FT-IR) spektroskopijo. Meritve so bile opravljene z FT-IR spektrometrom Spectrum One (Perkin-Elmer Instruments) v ATR tehniki (Ugovšek in sod. 2011a).

Reološki vidik utrjevanja UL je bil proučevan z reometrijo. Z reometrom Ares G2 (TA Instruments) ter uporabo aluminijastih in bukovih vzporednih diskov je bil na podlagi elastičnega strižnega modula primerjan proces utrjevanja UL, nanesenega med različne substrate (Ugovšek in Šernek 2013b).

Utrjevanje UL med procesom lepljenja 5 mm debelih bukovih (*Fagus sylvatica* L.) lamel pri različnih temperaturah lepljenja je bilo spremljano z dielektrično analizo (DEA). Z LCR metrom Agilent 4285A je bila izmerjena prevodnost in izračunana stopnja utrjenosti v odvisnosti od temperature spoja. Temperatura spoja je bila spremljana s termočlenom, povezanim z enoto Agilent 34970A (Ugovšek in Šernek 2013b).

Lepljenje lesa z utekočinjenim lesom

Bukove (*Fagus sylvatica* L.) lamele debeline 5 mm, dolžine 500 mm in širine 150 mm, so bile zlepljene z UL, pri čemer je nanos UL v vseh primerih znašal 200 g/mm². V tem delu raziskav je bil proučevan vpliv vrednosti pH UL (pH je bil prilagojen z dodajanjem 10 M vodne raztopine NaOH) ter temperature in časa lepljenja na strižno trdnost spojev, zlepljenih z UL (Ugovšek in Šernek 2013a). Lepljenje in strižni testi so bili izvedeni v skladu s standardom EN 205 (2003).

Zgradba spoja pri lesu, lepljenem z utekočinjenim lesom

Spoj, nastal med lepljenjem lesa z UL, je bil proučevan s svetlobno mikroskopijo (SM), FT-IR mikrospektroskopijo, elementno CNS (ogljik, dušik, žveplo) analizo in vrstično elektronsko (SEM) mikroskopijo. Za potrebe SM so bili izdelani preparati, ki so vsebovali zlepljeni lameli s spojem in so bili obarvani s kombinacijo barvil safranin in astra modro. Preparati so bili proučevani s svetlobnim mikroskopom Nikon Eclipse E800, video kamero Nikon digital sight DS-Fil in programsko opremo NIS-ELEMENTS BR 3.0 (Ugovšek in sod. 2013).

FT-IR mikrospektroskopska analiza je bila izvedena s pomočjo mikroskopa Multiscope FT-IR Microscope (Perkin Elmer), povezanega z FT-IR spektrometrom Spectrum One (Perkin Elmer) (Ugovšek in sod. 2013).

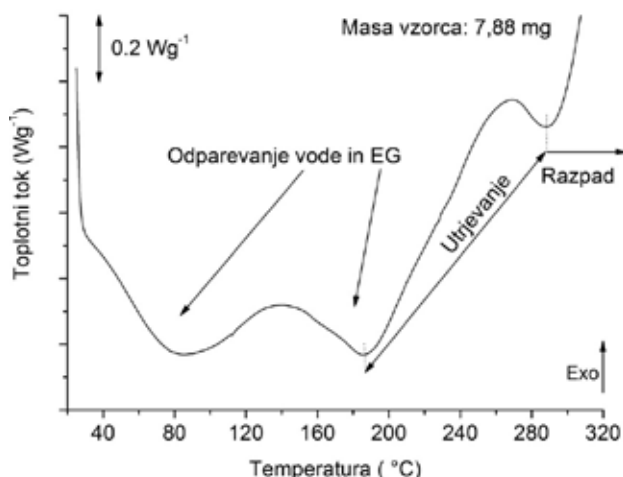
S CNS elementno analizo je bila z napravo LECO 2000-CNS analyser v helijevi atmosferi pri 1350 °C določena količina ogljika v lepljeni lameli, UL in formiranem spoju (Ugovšek in sod. 2013).

SEM mikroskopija je bila izvedena na vrstičnem mikroskopu JEOL 5500 LV. Površina vzorcev je bila napašena z zlatom z napravo SCD 005 Coll Sputter Coater (BAL-TEC) (Ugovšek in sod. 2013).

Rezultati in razprava

Utrjevanje utekočinjenega lesa

Potek utrjevanja UL je bil proučevan z DSC v temperaturnem območju med 25 °C in 320 °C (Slika 1). Ugotovljeno je bilo, da je utrjevanje UL sestavljeno iz dveh zaporednih faz – začetne fizikalne faze z odparevanjem vode in EG ter nadaljnje faze - kemijskega utrjevanja UL. Odparevanje obeh hlapnih komponent je izraženo v obliki dveh zaporednih endotermnih signalov. Kemijsko utrjevanje se je v proučevanem primeru začelo pri približno 185 °C, kar je na termogramu prikazano v obliki izrazitega eksotermnega signala, ki se zaključi pri približno 290 °C. Po tej temperaturi je utrjen UL pričel postopno razpadati. Signal z vrhom pri 140 °C, ki je opazen med obema endotermnima signaloma, ne predstavlja reakcije utrjevanja, ampak je del bazne linije odparevanja EG z vsebnostjo vode (Ugovšek in Šernek 2013b).

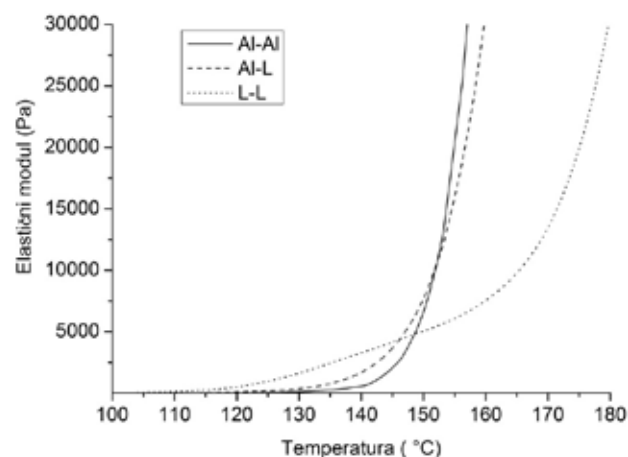


Slika 1: Termogram s fizikalnimi prehodi in kemijskimi spremembami, do katerih je prišlo med procesom utrjevanja UL (prirejeno po Ugovšek in Šernek 2013b)

Figure 1: Thermogram of physical transitions and chemical changes that occurred during the curing process of liquefied wood (according to Ugovšek and Šernek 2013b)

Med utrjevanjem UL je prišlo do sprememb v njegovi kemijski sestavi. Z FT-IR spektroskopijo je bilo na osnovi primerjave spektrov tekočega in utrjenega UL zaznati izrazitejše spremembe trakov pri valovnih številih 883 cm^{-1} , 1020 cm^{-1} , 1050 cm^{-1} , 1090 cm^{-1} in 1120 cm^{-1} (Ugovšek in sod. 2011a). Zmanjšanje intenzitete trakov pri 883 cm^{-1} in 1050 cm^{-1} je bilo pripisano vezem v derivatih celuloze oz. njihovi degradaciji (Morohoshi 1991; Ibrahim in sod. 2006; Gierlinger in sod. 2008), medtem ko je bilo izginotje traku pri 1120 cm^{-1} pripisano zmanjšanju števila -OH skupin kot posledici izhajanja EG med utrjevanjem (Budija in sod. 2009b). Novonastala trakova pri 1020 cm^{-1} in 1090 cm^{-1} sta bila pripisana vibracijam C-O etrskih vezi (Budija in sod. 2009b), kot posledica nastanka novih komponent preko reakcije etrenja.

Reološki vidik utrjevanja UL je bil analiziran z reometrijo. Z uporabo vzporednih aluminijastih in lesenih diskov je bil dodatno proučevan vpliv substrata na utrjevanje UL (Slika 2).



Slika 2: Vpliv različnih substratov (Al – aluminij in L – les) na utrjevanje UL, ponazorjeno s spremembami elastičnega modula v odvisnosti od temperature

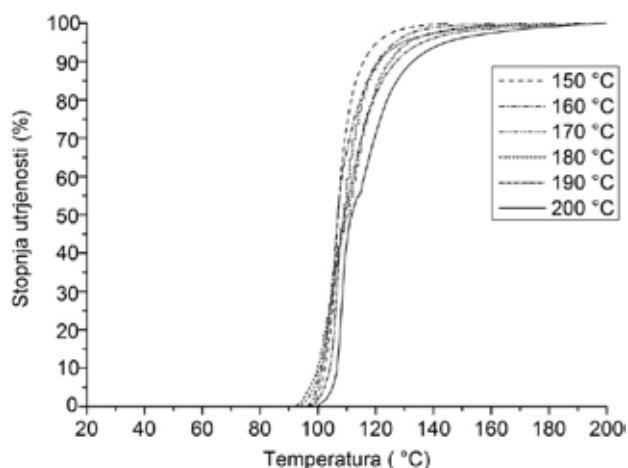
Figure 2: The influence of different substrates (Al - aluminium and L - wood) on curing of liquefied wood, presented by means of the changes of elastic modulus as a function of temperature

Iz temperaturnega izseka med 100 °C in 180 °C je razvidno, da substrat vpliva na pričetek utrjevanja UL. Najhitreje se je proces utrjevanja pričel med lesenima diskoma (~ 105 °C) in najkasneje med aluminijastima (~ 120 °C). Razlike so posledica intenzivnejše začetne fizikalne faze (oddajanje vode in EG) opisane pri utrjevanju UL z DSC, saj je bilo poleg odparevanja hlapnih komponent v primeru lesenih diskov prisotno tudi njihovo prehajanje iz UL v površino lesa (Ugovšek in Šernek 2013b). V nadaljevanju procesa utrjevanja je mogoče opaziti pospešen proces utrjevanja UL med aluminijastima diskoma in nekoliko počasnejši med lesenima. Slednje je bilo pripisano hitrejšemu segrevanju aluminijastih diskov zaradi boljše toplotne prevodnosti aluminija v primerjavi z lesom.

Podobno kot v primeru reometrije, se je utrjevanje UL med procesom lepljenja lesa pričelo pri temperaturi okoli 100 °C (Slika 3). Z DEA je bilo ugotovljeno, da se proces utrjevanja UL oz. formacije spoja pri vseh temperaturah stiskanja prične pri podobni temperaturi. To je bilo povezano s pričetkom odparevanja vode ter difuzije vode in EG iz UL v lepljene lamele. Iz rezultatov DEA ni mogoče določiti natančnega začetka kemijskega utrjevanja UL, je pa razvidno, da izhajanje vode in EG bistveno vpliva na pričetek utrjevanja UL in formacijo spoja med lepljenjem lesa (Ugovšek in Šernek 2013b).

Slika 3: Utrjevanje UL med lepljenjem 5 mm debelih bukovih (*Fagus sylvatica* L.) lamel pri različnih temperaturah lepljenja, prikazano s spremembami stopnje utrjenosti spoja v odvisnosti od njegove temperature

Figure 3: Curing of liquefied wood during the bonding of 5 mm thick beech (*Fagus sylvatica* L.) lamellas at different press temperatures shown by means of changes of degree of cure of bond line as a function of its temperature



Vpliv parametrov lepljenja na strižno trdnost zlepljenih spojev

Temperatura in čas stiskanja v vroči stiskalnici sta pri lepljenju lesa z lepili na osnovi naravnih materialov ena izmed pomembnejših parametrov in sta ključnega pomena za zagotavljanje zadostne strižne trdnosti lepljenih spojev (Li in sod. 2004; Geng in Li 2006; Wang in sod. 2008; D'Amico in sod. 2010). V raziskavah je bil proučevan vpliv obeh parametrov na kakovost lepljenja ter dodatno še vpliv vrednosti pH UL na trdnost spojev (Preglednica 1). Opažena sta bila namreč sorazmerno visok delež loma po lesu ob nizki

strižni trdnosti ter poškodbe površin lamel, ki so bile med lepljenjem v stiku z UL (Ugovšek in sod. 2011b). Ugotovljeno je bilo, da višanje vrednosti pH UL pri 15 min lepljenju lesa pri 200 °C negativno vpliva na strižno trdnost spojev. Pri lepljenju z UL z začetno negativno (neg.) vrednostjo pH so bile izmerjene vrednosti okoli 7 N/mm², medtem ko so se v primeru višjih vrednosti pH trdnosti bistveno znižale oziroma so preskušanci razpadli še pred testiranjem. Slednje je bilo pripisano zmanjšani reaktivnosti UL. Negativna vrednost pH je kljub splošnemu nepoznavanju tega pojava logična, saj je pH definiran kot negativni desetiški logaritem aktivnosti H⁺ ionov v raztopini ($\text{pH} = -\log[a(\text{H}^+)]$). V primeru snovi z molarnostjo ≥ 1 je torej njihova vrednost $\text{pH} \leq 0$ (Ugovšek in Šernek 2011).

Poleg vpliva vrednosti pH UL je bil ugotovljen tudi vpliv temperature in časa stiskanja. Izmerjene strižne trdnosti so se večale z višanjem temperature in daljšanjem časa lepljenja. Na podlagi rezultatov je bilo ugotovljeno, da sta optimalna temperatura in čas lepljenja za zagotavljanje maksimalne strižne trdnosti okoli 7 N/mm² pri lepljenju 5 mm bukovih lamel z UL z neg. vrednostjo pH 180 °C in 12 min (Ugovšek in Šernek 2013a). V vseh primerih je bil opažen visok delež loma po lesu, ki je bil prisoten zaradi specifične zgradbe spoja, opisane v poglavju 3.3.

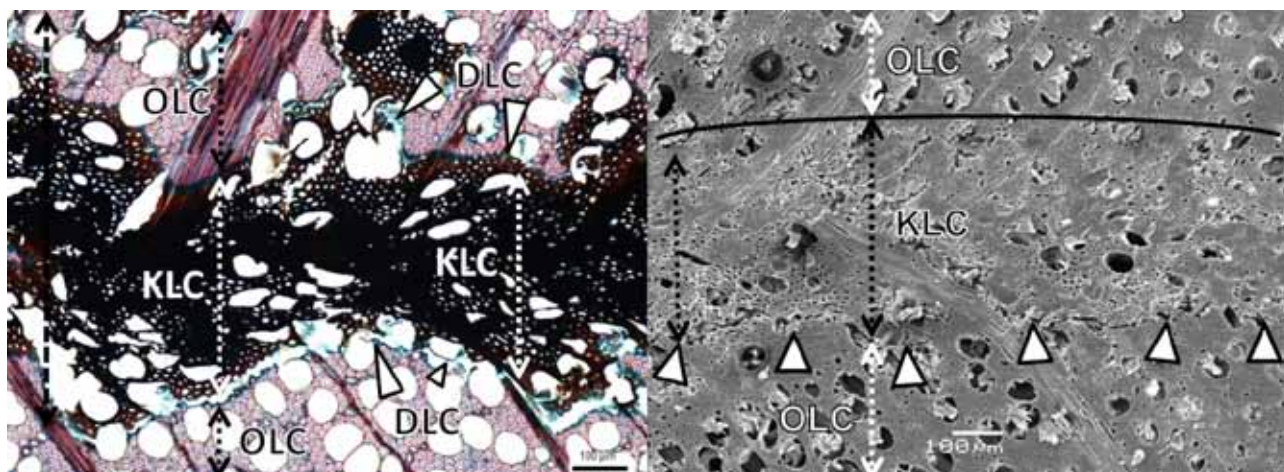
Zgradba spoja

Zgradba spoja, nastalega med lepljenjem bukovih lamel z UL, je bila zelo netipična v primerjavi s spoji, nastalimi pri lepljenju lesa s sintetičnimi lepili ali v primerjavi z modelom spoja, ki ga je predstavil Marra (1992). Pri formiranem spoju ni bilo opaziti lepilnega filma ter tipične stične površine med lepilom in lepljencem, celice lepljenih lamel, ki so bile v stiku z UL, pa so bile vidno poškodovane (Slika 4).

VPLIV VREDNOSTI pH UL			VPLIV TEMPERATURE LEPLJENJA			VPLIV ČASA LEPLJENJA		
Vrednost pH UL (200 °C, 15 min)	Strižna trdnost (N/mm ²)	Lom po lesu (%)	Temperatura lepljenja (neg. pH, 15 min)	Strižna trdnost (N/mm ²)	Lom po lesu (%)	Čas lepljenja (neg. pH, 180 °C)	Strižna trdnost (N/mm ²)	Lom po lesu (%)
neg.	7,0 (0,9)	85 (24)	150 °C	4,6 (0,8)	88 (18)	3 min	0 (0)	0 (0)
0,24	4,3 (1,8)	23 (28)	160 °C	5,7 (0,7)	85 (27)	6 min	1,6 (2,1)	15 (17)
1,63	3,9 (1,1)	0 (0)	170 °C	5,5 (1,0)	78 (32)	9 min	5,1 (0,9)	65 (38)
2,80	0 (0)	0 (0)	180 °C	6,8 (0,7)	100 (0)	12 min	7,2 (0,5)	100 (0)
5,20	0 (0)	0 (0)	190 °C	6,9 (0,4)	100 (0)	15 min	6,3 (0,4)	93 (17)
			200 °C	6,5 (0,7)	100 (0)	18 min	7,0 (1,0)	100 (0)

Preglednica 1: Vpliv vrednosti pH UL ter temperature in časa stiskanja na strižno trdnost spojev, testiranih po 7 dneh klimatiziranja pri standardnih pogojih ((20 ± 2) °C in 65 % relativne zračne vlažnosti) (prirejeno po Ugovšek in Šernek 2013a)

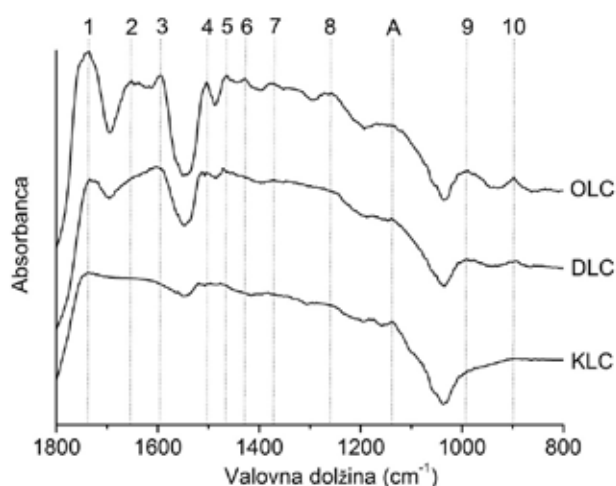
Table 1: Influence of pH value of liquefied wood, press temperature and pressing time on the shear strength of bonds tested after 7 days of conditioning in standard climate (20 ± 2 °C and 65% relative humidity) (according to Ugovšek and Šernek 2013a)



Slika 4: Spoj lesa, lepljenega 15 min pri 200 °C z UL, zgrajen iz centralnega dela delno karboniziranih lesnih celic (KLC) in šibkega sloja delno delignificiranih lesnih celic (DLC) na meji med KLC in originalnimi lesnimi celicami lepljene lamele (OLC), kjer je prihajalo do razpok (levo – slika spoja, pridobljena s svetlobno mikroskopijo, desno – slika spoja, pridobljena z vrstično elektronsko mikroskopijo) (prirejeno po Ugovšek in sod. 2013)

Figure 4: The bond of wood bonded for 15 min at 200 °C with liquefied wood, consisting of the central part of partially carbonized wood cells (KLC) and a weak layer of partly delignified wood cells (DLC) on the border between KLC and original wood cell of bonded lamellas (OLC), where the cracks occurred (left – microscopic image of bond obtained by light microscopy, right - microscopic image of bond obtained by scanning electron microscopy) (according to Ugovšek et al. 2013)

Pri nižjih temperaturah (150 °C) in krajših časih lepljenja (6 min pri 180 °C) so se celice lamel, ki so bile v stisku z UL, delno delignificirale (modro obarvane celice – DLC). Pri temperaturah 180 °C in več ter časih lepljenja 12 min in več, pa so bile te celice delno karbonizirane (KLC). Na meji med lepljeno lamelo (originalne lesne celice – OLC) in KLC je ostal ozek pas DLC, kjer je prihajalo do razpok (Ugovšek in sod., 2013). Delna delignifikacija in delna karbonizacija sta bili dokazani z FT-IR mikrospektroskopijo (Slika 5) in CNS elementno analizo.



Slika 5: Izsek FT-IR spektrov lepljene lamele (OLC), delno delignificiranega sloja (DLC) in spoja z delno karboniziranim tkivom (KLC) na območju valovnih števil med 1800 cm⁻¹ in 800 cm⁻¹ (prirejeno po Ugovšek in sod., 2013)

Figure 5: Part of the FT-IR spectra of bonded lamella (OLC), the delignified layer (DLC) and a bond with partially carbonized tissue (KLC) at the wavenumber range between 1800 cm⁻¹ and 800 cm⁻¹ (according to Ugovšek et al., 2013)

Na podlagi sprememb trakov pri spektrih OLC, DLC in KLC je bilo potrjeno, da je prišlo do delne delignifikacije oz. degradacije lignina, kar je na spektrih vidno v obliki znižanja intenzitete trakov, označenih s številkami 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 (Faix 1991; Pandey in Pitman 2003). Poleg tega je prišlo še do degradacije hemiceluloz, opazne z znižanjem intenzitete traku 1 (Pandey in Pitman 2003; Pan in sod. 2007) in amorfnega dela celuloze ali polisaharidov (znižanje intenzitete traku 10) (Michell 1990, Fackler in sod. 2011). Na delno karbonizacijo je opozoril nastanek traku A na spektru KLC, ki je karakterističen za pirone, ki nastajajo pri procesu karbonizacije (Ahmad in sod. 2007).

Delna karbonizacija je bila dodatno potrjena s CNS elementno analizo z določitvijo deleža ogljika v lepljeni lameli (45,1 %), UL (47,1 %) in nastalem spoju s KLC (51,5 %). Delež ogljika v nastalem spoju je bil večji tako v primerjavi z deležem v lameli kot tudi z deležem v UL, kar potrjuje, da je med lepljenjem bukovih lamel z UL prišlo do delne karbonizacije spoja (Ugovšek in sod. 2013). Nezadostna strižna trdnost spojev (~ 7 N/mm²), slaba vodoodpornost in visok delež loma po lesu so bili pripisani specifični zgrabi spoja s šibkim členom v obliki ozkega pasu delignificiranih celic, kjer je prihajalo do razpok v spoju.

Sklep

Utekočinjen les zaradi svoje sestave, ki temelji na uporabi naravnega materiala – lesa, predstavlja alternativo sintetičnim lepilom za uporabo pri lepljenju lesa in lesnih kompozitov. Kljub njegovi sposobnosti samozamreženja pa spoji pri lesu, lepljenem z uteko-

činjenim lesom, ne dosejajo zadostne strižne trdnosti, pri čemer je prisoten visok delež loma po lesu, spoji pa so slabo vodoodporni. V raziskavah je bil spremljan potek utrjevanja utekočinjenega lesa ter vpliv različnih parametrov lepljenja na strižno trdnost spojev, z analizo zgradbe spoja pa so bili ugotovljeni razlogi za naštete pomanjkljivosti nastalih spojev.

Z diferenčno dinamično kalorimetrijo je bilo ugotovljeno, da utekočinjen les utrjuje v dveh fazah. V začetni fizikalni fazi je bilo prisotno odparevanje vode in topila (etilen glikol), temu pa je po ~ 185 °C sledilo kemijsko utrjevanje. Pri lepljenju lesa je porozna površina omogočala še dodatno prehajanje vode in topila, s čimer je bila skrajšana fizikalna faza in je utrjevanje nastopilo hitreje. Za lepljenje 5 mm debelih bukovih lamel z utekočinjenim lesom, ki je imel negativno vrednost pH, so bili določeni optimalni parametri lepljenja in sicer temperatura lepljenja 180 °C in čas lepljenja 12 min. Pri teh pogojih je bila dosežena strižna trdnost ~ 7 N/mm², po namakanju v hladni vodi pa so se spoji večinoma razslojili. Razlog za nezadostno trdnost in slabo vodoodpornost je bil pripisan specifični zgradbi spoja. Ta je bil zgrajen iz centralnega delno karboniziranega tkiva celic lepljene lamele in utrjenega utekočinjenega lesa ter ozkega sloja delno delignificiranih celic lesa na meji med osrednjim delom in lepljeno lamelo. V tem delu je zaradi degradacije lignina prihajalo do razpok in šibkega člena v nastalem spoju.

Zahvala

Prispevek je nastal v okviru temeljnega raziskovalnega projekta J4-2177 »Razvoj okolju prijaznih lepil iz obnovljivih rastlinskih polimerov« ter raziskovalnega programa P4-0015 »Les in lignocelulozni kompoziti«, ki ju financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS. Avtorja se zahvalujeta prof. dr. Mihi Humarju, dr. Francu Budiji, dr. Andrijani Sever Škapin in dr. Mirku Karižu za pomoč in sodelovanje pri raziskavah.

Viri:

- Ahmad A. L., Loh M. M., Aziz J. A. 2007. Preparation and characterization of activated carbon from oil palm wood and its evaluation on methylene blue adsorption. *Dyes and pigments*, 75, 2: 263-272
- Alma M.H., Shiraishi N. 1998. Preparation of polyurethane-like foams from NaOH-catalyzed liquefied wood. *European journal of wood products*, 56, 4: 245-246
- Budija F., Bradeško D., Kričej B., Tavzes Č., Sever Škapin A., Petrič M. 2009a. Priprava in karakterizacija dvokomponentnega poliuretanskega površinskega sistema na vodni osnovi iz utekočinjenega topolovega lesa. *Les*, 61, 5: 274-281
- Budija F., Tavzes Č., Zupančič-Kralj L., Petrič M. 2009b. Self-crosslinking and film formation ability of liquefied black poplar. *Biore-source technology*, 100: 3316-3323
- Čuk N., Kunaver M., Medved S. 2011. Properties of particleboards made by using an adhesive with added liquefied wood. *Materiali in tehnologije*, 45, 3: 241-245
- D'Amico S., Hrabalova M., Müller U., Berghofer E. 2010. Bonding of spruce wood with wheat flour glue-Effect of press temperature on the adhesive bond strength. *Industrial crops and products*, 31: 255-260
- EN 205. Adhesives - Wood adhesives for non-structural applications - Determination of tensile shear strength of lap joints. 2003: 13 str.
- Fackler K., Stevanic J.S., Ters T., Hinterstoisser B., Scwanninger M., Salmén L. 2011. Localisation and characterisation of incipient brown-rot decay within spruce wood cell walls using FT-IR imaging microscopy. *Enzyme and microbial technology*, 47: 257-267
- Faix O. 1991. Classification of lignins from different botanical origins by Ft-Ir Spectroscopy. *Holzforchung*, 45: 21-27
- Geng X. L., Li K.C. 2006. Investigation of wood adhesives from kraft lignin and polyethylenimine. *Journal of adhesion science and technology*, 20: 847-858
- Gierlinger N., Goswami L., Schmidt M., Burgert I., Coutand C., Rogge T., Schwanninger M. 2008. In situ FT-IR microscopic study on enzymatic treatment of poplar wood cross-sections. *Bio-macromolecules*, 9, 8: 2194-2201
- Hirose T., Fan T. X., Okabe T., Yoshimura M. 2001. Effect of carbonization temperature on the basic properties of woodceramics impregnated with liquefied wood. *Journal of materials science*, 36, 17: 4145-4149
- Brahim M., Alaam M., El-Haes H., Jalbout A. F., de Leon A. 2006. Analysis of the structure and vibrational spectra of glucose and fructose. *Eclética química*, 31, 3: 15-21
- Kishi H., Akamatsu Y., Noguchi M., Fujita A., Matsuda S., Nishida H. 2011. Synthesis of epoxy resins from the alcohol-liquefied wood and the mechanical properties of the cured resins. *Journal of applied polymer science*, 120, 2: 745-751
- Li K., Geng X., Simonsen J., Karchesy J. 2004. Novel wood adhesives from condensed tannins and polyethylenimine. *International journal of adhesion and adhesives*, 24: 327-333
- Ma X.J., Zhao G.J. 2010. Preparation of carbon fibers from liquefied wood. *Wood science and technology*, 44, 1: 3-11
- Maldas D., Shiraishi N., Harada Y. 1997. Phenolic resol resin adhesives prepared from alkali-catalyzed liquefied phenolated wood and used to bond hardwood. *Journal of adhesion science and technology*, 11, 3: 305-316
- Marra A. A. 1992. *Technology of wood bonding: principles and practise*. Van Nostrand Reinhold, New York: 454
- Michell A. J. 1990. 2nd-Derivative Ft-Ir spectra of native celluloses. *Carbohydrate research*, 197: 53-60
- Morohoshi N. 1991. Chemical characterisation of wood and its components. V: *Wood and cellulosic chemistry*. Hon D.N.-S. in Shiraishi N. (Ur.), Marcel Dekker, Inc., New York in Basel: 331-392
- Pan H. 2011. Synthesis of polymers from organic solvent liquefied biomass: A review. *Renewable & sustainable energy reviews*, 15, 7: 3454-3463
- Pan H., Shupe T. F., Hse C. Y. 2007. Characterization of liquefied wood residues from different liquefaction conditions. *Journal of applied polymer science*, 105, 6: 3740-3746
- Pandey K.K., Pitman A.J. 2003. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. *International biodeterioration & biodegradation*, 52:151-160
- Šernek M., Kariž M., Ugovšek A., Budija F., Petrič M. 2011. The strength and durability of novel adhesives using liquefied wood. V: *Proceedings of Ecowood 2010, Minimizing the environmental impact of the forest products industry*. Caldeira F. (Ur.), University Fernando Pessoa, Porto, Portugal: 189-195
- Ugovšek A., Šernek, M. 2009. Naravni materiali za izdelavo sodobnih lepil za les: tanin, lignin in utekočinjen les. *Les*, 61, 11-12: 451-458
- Ugovšek A., Kariž M., Šernek M. 2010. Bonding of beech wood with an adhesive mixture made of liquefied wood and phenolic

resin, V: Németh R., Teischinger A. (ur), Proceedings of the "Hardwood Science and Technology" - The 4th conference on hardwood research and utilisation in Europe. Sopron, Madžarska, 17-18 Maj 2010: 64-68

- Ugovšek A., Šernek M. 2010a. Naravni materiali za izdelavo sodobnih lepil za les: rastline in njihovi produkti. Les, 62, 1: 10-16
- Ugovšek A., Šernek M. 2010b. Naravni materiali za izdelavo sodobnih lepil za les: materiali živalskega izvora. Les, 62, 7-8: 327-332
- Ugovšek A., Šernek M. 2011. Vpliv vrednosti pH utekočinjenega lesa na trdnost in trajnost zlepljenih spojev. Les, 63, 5: 232-237
- Ugovšek A., Budija F., Kariž M., Šernek M. 2011a. The influence of solvent content in liquefied wood and of the addition of condensed tannin on bonding quality. Drvna industrija, 62, 2: 87-95
- Ugovšek A., Kariž M., Šernek M. 2011b. Bonding of wood with adhesive mixtures made of liquefied wood combined with tannin or phenolic resin. V: Ristić R. (ur.), Medarević, M. (ur.), Popović Z. (ur.). Congress Proceedings. Beograd: University, Faculty of Forestry: 1516-1524
- Ugovšek A., Pavlič M., Petrič M., Šernek M. 2012. Vpliv temperature in časa utrjevanja na površinske in kemijske lastnosti prema za iz utekočinjenega lesa. Les, 64, 5: 168-174
- Ugovšek A., Šernek M. 2013a. Effect of pressing parameters on the shear strength of beech specimens bonded with low solvent liquefied wood. Journal of adhesion science and technology, 27, 2: 182-195
- Ugovšek A., Sever Škapin A., Humar M., Šernek M. 2013. Microscopic analysis of the wood bond line using liquefied wood as adhesive. Journal of adhesion science and technology, 27, 11: 1247-1258
- Ugovšek A., Šernek M. 2013b. Characterisation of the curing of liquefied wood by rheometry, DEA and DSC. Wood science and technology, 47: 1099-1111
- Wang W. H., Zhang X. Q., Li X.P. 2008. A novel natural adhesive from rice bran. Pigment & Resin Technology, 37: 229-233
- Wei Y., Cheng F., Li H., Yu J. 2004. Synthesis and properties of polyurethane resins based on liquefied wood. Journal of applied polymer science, 92: 351-356
- Wu C. C., Lee W. J. 2010. Curing and thermal properties of copolymer epoxy resins prepared by copolymerized bisphenol-A and epichlorohydrin with liquefied Dendrocalamus latiflorus. Polymer journal, 42, 9: 711-715
- Zhang H. R., Pang H., Shi J. Z., Fu T. Z., Liao B. 2012. Investigation of liquefied wood residues based on cellulose, hemicellulose, and lignin. Journal of applied polymer science, 123, 2: 850-856

MONITORING EMISIJ TOPLOGREDNIH PLINOV ZARADI RABE TAL, SPREMEMBE RABE TAL IN GOZDARSTVA IN NJEGOVA PRIHODNOST

Title: Monitoring of greenhouse gas emissions resulting from land use, land use change and forestry and its future

dr. Boštjan Mali*, Laura Žižek Kulovec**, dr. Primož Simončič***

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

Ključne besede: monitoring, emisije, toplogredni plini, raba tal, gozdarstvo

Keywords: monitoring, emissions, greenhouse gases, land use, forestry

Izveleček:

Sektor raba tal, spremembe rabe tal in gozdarstvo (LULUCF) je del nacionalnega poročanja v skladu s konvencijo UNFCCC in Kjotskim protokolom, trenutno pa tudi del EU poročevalskih aktivnosti. V l. 2014 so mednarodni revizorji odobrili NIR za t. i. kjotsko poročilo za obdobje 2008–2012. S tem se je zaključilo obdobje, vezano na t. i. prvo poročevalsko obdobje, prehajamo pa na postkjotsko obdobje ter v obdobje intenzivnih priprav in prilagoditev EU držav na poročanje za sektor LULUCF/AFOLU za področje gozdarstva, kmetijstva in rabe lesa, ki naj bi se zaključilo leta 2020.

Abstract:

In accordance with United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and Kyoto protocol (KP), sector Land use, land use change and forestry (LULUCF) is a part of national reporting and also European Union (EU) reporting activities. In year 2014 the Expert review team endorsed Slovenian National Inventory Reports for the first commitment period (i.e. 2008-2012). With the approval of national reports the first commitment period has concluded; and started the time of intensive preparation and adaptation of EU countries to LULUCF (now AFOLU: Agriculture, Forestry and Other Land Use) reporting in second commitment period (2013-2020).

Uvod

V skladu s sprejetjem in z ratifikacijo Okvirne konvencije Združenih narodov o spremembi podnebja (United Nations Framework Convention on Climate Change; UNFCCC) in Kjotskega protokola (Kyoto protocol; KP),

Slovenija kot članica Evropske skupnosti (EU) poroča o emisijah oz. ponorih toplogrednih plinov (TGP) na letni ravni. Eden najpomembnejših sektorjev v nacionalnem poročanju o emisijah in ponorih TGP, je sektor Raba tal, spremembe rabe tal in gozdarstvo (Land use, land use change and forestry; LULUCF, po novem Agriculture, Forestry and Other Land Use; AFOLU). Poročanje zanj mora slediti Navodilom o dobri praksi za področje LULUCF (v nadaljevanju: Navodila, IPCC 2003 oz. 2006), kar v slovenski zakonodaji določa 2. člen Pravilnika o monitoringu ponorov in emisij toplogrednih plinov zaradi rabe tal, spremembe rabe tal in gozdarstva (Ur. l. RS, št. 50/2010).

V l. 2014 smo v Sloveniji uspešno zaključili s poročanjem za Kjotski protokol (KP), ko so mednarodni revizorji potrdili Nacionalna poročila (National inventory report; NIR) za prvo poročevalsko obdobje 2008–2012. Za poročanje v sektorju LULUCF je bila zadolžena skupina raziskovalcev na Gozdarskem inštitutu Slovenije (GIS), ki je zaključila pomembno fazo aktivnosti, ki so potekale vse od leta 2006 dalje. V poročanje je bilo v prvem poročevalskem obdobju vključenih več kot 20 raziskovalcev GIS, odvisno od letne dinamike in načrtovane tematike. Skupina je sodelovala s številnimi zunanjimi sodelavci - tako z domačimi strokovnjaki (Zavod za gozdove Slovenije (ZGS), Kmetijski inštitut Slovenije (KIS), Inštitut Jožef Stefan (IJS)), kot tudi s tujimi sodelavci (Združeni raziskovalni center EU; JRC Ispra).

V letih 2007 in 2012 sta bili z namenom pridobitve podatkov o zalogah ogljika v slovenskih gozdovih (v živi biomasi in mrtvem lesu) izvedeni zaporedni gozdni

inventuri na več kot 700 stalnih ploskvah na sistematični mreži (4 x 4 km). Izvedena je bila ena inventura gozdnih tal na redkejši mreži (8 x 8 km), na okrog 200 ploskvah, kjer se je določilo zaloge ogljika v mineralnem delu tal in opadu. Potekale so tudi številne druge aktivnosti, npr. aktivnosti v povezavi z rabo lesa, negozdnimi rabami tal in s funkcijami gozdov.

Vzporedno s konvencijo UNFCCC potekajo aktivnosti EU za področje rabe tal, spremembe rabe tal ter gozdarstvo in kmetijstvo (t. i. LULUCF oz. AFOLU). Sprejeta je bila Uredba (EU) št. 525/2013 Evropskega parlamenta in Sveta o mehanizmu spremljanja emisij toplogrednih plinov in poročanje o njih ter za sporočanje drugih informacij v zvezi s podnebnimi spremembami na nacionalni ravni in ravni Unije. V juniju 2014 pa je bila sprejeta tudi izvedbena Uredba Komisije (EU) št. 749/2014 o strukturi, obliki, postopkih predložitve in pregledu informacij, ki jih sporočajo države članice v skladu s to Uredbo. Sprejeti uredbi in vsebine uredb se smiselno povezujejo z EU politiko izvajanja podnebne in energetske politike do leta 2030 in dlje. V te načrte je vključeno tudi kmetijstvo, gozdarstvo ter raba zemljišč; poleg že uveljavljenega gospodarjenja z gozdovi se doda gospodarjenje s polji in pašniki. EU Uredbe skupaj z dogovorom 2/CMP.7 (Decision 2/CMP.7, LULUCF, UN FCCC/KP/CMP/2011/10/Add.1, 2012) tvorijo okvir za obračunavanje emisij TGP za dejavnost „Rabe zemljišč, sprememba rabe zemljišč ter gozdarstvo ter kmetijstvo“.

Podrobnejši cilji in programi ukrepov za zmanjševanje emisij TGP v prvem poročevalskem obdobju so bili navedeni v Resoluciji o nacionalnem programu varstva okolja 2005-2012 (Ur. l. RS, št. 2/2006), za izvrševanje obveznosti iz prvega ciljnega obdobja KP pa je bil izdelan Operativni program zmanjševanja emisij toplogrednih plinov do leta 2012, ki ga je Vlada RS sprejela v letu 2009. Konec leta 2014 pa je bil sprejet Operativni program zmanjševanja emisij toplogrednih plinov do leta 2020, s katerim bo Slovenija poskušala doseči cilje drugega ciljnega obdobja Kjotskega protokola, torej za obdobje 2013–2020.

Raba tal in poročanje

Podlaga za obračunavanje emisij oz. ponorov TGP so podatki o površinah zemljišč. V praksi pri pripravi nacionalnih poročil poročevalske skupine uporabljajo različne metode, ki vključujejo letne popise, periodična snemanja in druge tehnike daljinskega zaznavanja za pridobitev podatkov o površinah (IPCC 2003). Ne glede na to, da so danes na voljo različni podatkovni viri, npr. podatki vzorčnih inventur, satelitski posnetki, podatki različnih letalskih snemanj (Hočevnar in sod. 2006) ter različnih statističnih raziskovanj, se poročevalci marsikatero državo, ki je vključena v UNFCCC/KP poročanje, še vedno soočajo s problemi ustrezno-

sti, konsistentnosti, popolnosti in transparentnosti pristopa prikazovanja oz. spremljanja površin rabe tal in sprememb rabe tal v času.

Slovenija v poročanju UNFCCC v sektorju LULUCF za prikazovanje površin rabe tal in sprememb rabe tal po Navodilih (IPCC 2003) uporablja pristop, ki predvideva, da je celotna površina države razdeljena na prostorske podenote, mrežo celic oz. mrežo manjših poligonov. Od leta 2002 so v Sloveniji za celotno površino države na voljo vektorski podatki o rabi tal, ki jih zajema Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP) v okviru Evidence dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč (RABA). Vektorski grafični podatki RABA za celo Slovenijo, ki so javno dostopni na portalu MKGP, so bili uporabljeni v poročanju za UNFCCC, in sicer za pripravo matrike sprememb rabe tal. Matrika sprememb rabe tal je bila izdelana na osnovi vektorskih slojev rabe tal iz leta 2002 in 2012. Upošteva se za obračunavanje emisij in ponorov TGP v vseh kategorijah, tudi v tistih, kjer se raba tal ni spremenila. Za poročanje v NIR o aktivnostih za Kjotski protokol pa se uporabljajo podatki o površini gozda in o krčivah gozdov na osnovi letnih poročil ZGS o gozdovih.

V zvezi z vektorskimi podatki RABA kot tudi s podatki ZGS prihaja pri poročanju UNFCCC/KP za sektor LULUCF do več težav. Osrednji problem predstavlja matrika sprememb rabe tal, ki je bila zasnovana na osnovi podatkov RABA za potrebe poročanja UNFCCC. Spremembe rabe tal, ki so rezultat preseka digitalnih slojev iz 2002 in 2012, ne ustrezajo realnemu stanju v naravi. To potrjuje tudi dejstvo, da je med podatki o površini krčitev za obdobje 2002–2012, ki jih dajejo matrika sprememb rabe tal in podatki ZGS, po uradnih evidencah razhajanje v povprečju skoraj 10-kratno (Nastran in Žižek Kulovec 2013; Nastran in Žižek Kulovec 2014). Glavni vzrok teh nerealnih sprememb je metodologija določanja posameznih nacionalnih kategorij oz. razredov rab in zajem podatkov, saj sta se le-ta s časom zaradi potreb prilagajanja ukrepom skupne evropske politike spreminjala, rezultati pa se niso ustrezno sproti harmonizirali. Drugi vzroki so še: ukinitev nekaterih razredov rab zemljišč in uvedba novih, slabša kvaliteta zlasti starejših (črno-belih) ortofoto, subjektivna fotointerpretacija, topološke napake v mejah poligonov itn., zaradi česar podatkov RABA ni mogoče neposredno uporabiti za analizo sprememb rabe zemljišč (Miličič in Udovč 2012). Omeniti je treba, da sistem RABA ni bil vzpostavljen za analiziranje sprememb rabe tal kot take, ampak za uvajanje skupnega administrativnega kontrolnega sistema v okviru Evropske skupnosti za nadzor nad subvencijami v kmetijstvu. Na problem ustreznosti priprave matrike sprememb rabe tal dlje časa opozarjajo mednarodni revizorji (expert review team; ERT) iz Sekretariata Združenih narodov v revizijah nacionalnega poročila o

emisijah TGP. Do težav na področju spremljanja rabe tal prihaja zaradi ne-vzpostavljenega organiziranega in rednega spremljanja (monitoringa) rabe in stanja kmetijskih tal.

Zaradi naraščajočih obveznosti Slovenije do različnih mednarodnih obveznosti (Uredba (EU) št. 525/2013; Sklep št. 529/2013 EU) je treba že v kratkem času izboljšati sistem spremljanja zalog ogljika, ne le v gozdovih, ampak tudi na kmetijskih in drugih rabah tal. Slovenija je do danes relativno uspešno prilagodila in prevzela metodologijo konvencije UNFCCC in KP za obračunavanje emisij TGP v sektorju LULUCF. Na voljo so podatki o zalogah in akumulaciji ogljika v gozdovih, saj je bila leta 2012 izvedena tretja gozdna inventura oz. t. i. Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov (MGGE). Ta je skladen z inventurnimi metodami v mednarodnem merilu, saj so bile metode MGGE poleg znakov snemanja harmonizirane v skladu z akcijo COST E43 in ICP Forests.

Razvoj in prihodnost monitoringa

Razvoj gozdnih inventur in monitoring gozdnih ekosistemov je dobro opisan v več publikacijah (Kovač in Hočevar 2009, Simončič in sod. 2009, Kušar in sod. 2010, Simončič in sod. 2011, Kovač in sod. 2014). Z gozdnimi inventurami pridobljene ocene zalog ogljika so uporabne na državni ravni. Po drugi strani so za področje kmetijstva in druge rabe tal na voljo dokaj skopi podatki o zalogah ogljika. V letu 2012 je bila sicer v okviru Javne okoljske službe (JOS), ki jo financira Agencija RS za okolje (ARSO) oz. Ministrstvo za okolje in prostor (MOP), na Gozdarskem inštitutu Slovenije vzpostavljena in izvedena inventura na negozdnih rabah tal (Žižek Kulovec in sod. 2013). V slednjo so bila zajeta snemanja zalog drevnine (nadzemne biomase) in vzorčenje tal, vključujoč naslednje kategorije po IPCC (2003): obdelovalno zemljišče, travinje, mokrišče, naselje in ostala raba tal. Inventura na negozdnih rabah tal je bila zasnovana po metodologiji, ki je mednarodno primerljiva, in temelji na sistematičnem dvofaznem vzorčenju na isti mreži (4 × 4 km) kot MGGE. Kljub temu kaže obe inventuri izboljšati, predvsem v smislu intenziviranja snemanja (zgostitve mreže). Čeprav MGGE daje relativno zanesljive podatke o lesnih zalogah na ravni države, tega ni moč trditi za nižje ravni. Ker mreža vzorčnih ploskev ni dovolj gosta, podatki MGGE žal niso uporabni za poročanje v okviru statističnih teritorialnih enot (NUTS) na nivoju statističnih regij – NUTS3, ki jih je za potrebe Evropske skupnosti vzpostavil Eurostat (Uredba ES št. 1059/2003 oz. Uredba ES št. 1888/2005 za RS).

Zaenkrat ostaja neznanka, če sploh in kako bomo v Sloveniji zagotovili redno izvajanje gozdne inventure. Naslednja bi namreč morala biti ponovno izvedena v letu 2017 (petletna obdobja: 2007–2012–2017, oziroma do leta 2020, ko se zaključi drugo poročevalsko

obdobje), ki so do sedaj potekale hkrati s spremljanjem stanja gozdov, financirane pa so bile iz različnih virov; v večjem obsegu s strani Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) in Ministrstva za okolje in prostor (MOP) (2011–2014) ter Holdinga Slovenskih elektrarn (HSE; 2006/08), v manjši meri pa je sredstva prispevalo tudi Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP).

Za spremljanje zalog ogljika v vseh rabah tal je pomemben razvoj integrirane krajinske inventure. Glede na obseg, vsebino in financiranje velja podobno tudi za inventuro na negozdnih rabah tal, kjer bi bilo treba zaradi povečanja zanesljivosti ocen povečati število snemalnih ploskev. Poleg tega je treba za slednjo zagotoviti periodičnost snemanj, s čimer se bodo pridobili manjkajoči podatki o akumulaciji biomase in z dodatnim snemanjem ali metodami dopolniti tiste podatke, ki jih sedaj ni na voljo. To so npr. podatki o lesni zalogi vinogradov, intenzivnih sadovnjakov, gozdnih plantaž, pridobljenih lesnih proizvodih (harvested wood products; HWP), načinih gospodarjenja na poljih in pašnikih, ustreznem definiranju in lociranju organskih tal itd., ki jih bo treba v prihodnje vključiti v obračunavanje TGP, kot to določajo nova pravila (Sklep št. 529/2013 EU).

Do sedaj se v Sloveniji ni izvajala inventura tal, ki bi omogočala spremljanje in oceno zalog ogljika v kmetijskih tleh, saj manjkajo podatki opisov metod določanja skupnega ogljika v talnih vzorcih. Če so se za gozdna tla do neke mere lahko uporabili podatki EU monitoringa gozdnih tal v l. 1996 in 2006 (IPC Forest, Forest Focus in Biosoil, 16 x 16 km mreža ter program IM) in snemanja iz l. 2007 (GIS, osnovna snemanja na 8 x 8 km mreži), so večje težave s pridobivanjem podatkov za ostale rabe tal (pašniki, kmetijske površine, urbane površine). Obstoječi podatki o vsebnosti organske snovi v tleh izhajajo iz namenskih sistemov, npr. sistem spremljanja onesnaženosti tal Slovenije (ROTS), zbiranje podatkov programa kontrole rodovitnosti tal (KRT) ter profili pedološke karte Slovenije (PK25), ki pa nimajo poenotene metodologije izbora, odvzema in analiz vzorcev, neenotno mrežo opazovalnih lokacij ter posledično med seboj težko primerljive podatke. Pri izračunu zalog ogljika v kmetijskih tleh Slovenija prav tako nima dovolj izmerjenih podatkov o specifični gostoti tal, prav tako tudi nima ustrezne metodologije preračunavanja specifične gostote tal s pomočjo pedo-transfernih funkcij, kot je bilo uporabljeno pri gozdnih tleh. Kmetijska tla imajo zaradi uvedbe sistema GERK sicer zelo dobro vodeno evidenco rabe tal na posameznih obdelovalnih enotah ter s tem posledično tudi evidenco zgodovine rabe tal.

Upoštevajoč zgoraj omenjena izhodišča in probleme moramo, da bi se pripravili na nove mednarodne zah-

teve poročanja o emisijah za področje LULUCF/AFO-LU, čim hitreje pristopiti k reševanju naslednjih izzivov:

- razviti metodološki pristop spremljanja sprememb rabe tal za namen poročanja o emisijah TGP za področje LULUCF/AFO-LU,
- oceniti površine sprememb rabe tal na sistematični vzorčni mreži na osnovi razpoložljivih prostorskih podatkov,
- oblikovati korekcijske faktorje in z njimi za nazaj korigirati strukturne deleže posameznih rab tal, s čimer bo možno oceniti resnične obsege krčitev gozdov, spremembe zemljišč zaradi urbanizacije itd.
- predlagati dopolnitve in izboljšave metod zbiranja in obdelave podatkov v obstoječih inventurah v Sloveniji, ne le za potrebe UNFCCC/KP, temveč tudi za potrebe drugih nacionalnih in mednarodnih poročanj (npr. SURS, Forest Europe, FAO, Eurostat),
- prispevati k razvoju inventurnih metod za tiste katalce, ki jih do sedaj nismo snemali, a bo o njih zaradi nove evropske zakonodaje treba poročati (npr. HWP) in
- izboljšati informiranje strokovne in druge javnosti o mednarodnih procesih ter EU zakonodaji ter rezultatih spremljanja emisij TGP sektorja na nacionalni ravni.

Viri:

- 2003 Good Practice Guidance for Land use, Land-Use Change and Forestry. (2003). <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp-glulucf/gp-glulucf.html>. (15.4.2015).
- 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. (2006). <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>. (15.4.2015).
- Agencija Republike Slovenije za okolje. 2015. Slovenia's National Inventory Report 2014. http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/application/zip/svn-2014-nir-27may.zip. (15.4.2015).
- Hočevar M., Kušar G., Japelj A. 2006. Integralni monitoring gozdnih virov v Sloveniji – stanje in potrebe v luči vseevropskih meril. V: Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino. Hladnik D. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 27-51.
- Kovač M. (ur.). 2014. Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov: priročnik za terensko snemanje podatkov. Studia forestalia Slovenica, 140. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Silva Slovenica: 228 str.
- Kovač M., Hočevar M. 2009. Kratek oris razvoja gozdnih inventur in kontrolne vzorčne metode po svetu in v Sloveniji. V: Kontrolna vzorčna metoda v Sloveniji – zgodovina, značilnosti in uporaba. Planinšek Š. (ur.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Silva Slovenica: 9-12.
- Kušar G., Kovač M., Simončič P. 2010. Slovenia. V: National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting. Tomppo E. (ur.). New York, Springer, 505-526.
- Miličič V., Udovč A. 2012. Uporabnost prostorskih podatkov kmetijskega sektorja za analize sprememb rabe kmetijskih zemljišč na primeru izbranega območja varovanja narave v Sloveniji = Spatial data utilization of the agricultural sector for the purposes of agricultural land use change in the case of selected nature protection area in Slovenia. Geodetski vestnik, 56, 1: 83-104.
- Nastran M., Žižek Kulovec L. 2013. Prostorski podatki za ugotavljanje krčitev gozdov v Sloveniji. V: Pogledi gozdarstva na krčitev gozdov: zbornik razširjenih izvlečkov. Pirnat J. (ur.). Ljubljana, Bi-

otehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 18-20.

- Nastran M., Žižek Kulovec L. 2014. (Ne)usklajenost uradnih prostorskih evidenc pri ugotavljanju krčitve gozdov v Sloveniji = (In) consistency in the official spatial data in assessments of deforestation in Slovenia. Geodetski vestnik, 58, 4: 724-745.
- Pravilnik o monitoringu ponorov in emisij toplogrednih plinov zaradi rabe tal, spremembe rabe tal in gozdarstva. 2010. Ur. l. RS št. 50/10.
- Resolucija o Nacionalnem programu varstva okolja 2005-2012. 2006. Ur. l. RS št. 2/06.
- Simončič P., Kušar G., Kovač M. 2009. Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov kot merilo okoljskih vplivov. Gozdarski vestnik, 67, 7/8: 321-332.
- Simončič P., Rupel M., Kovač M. 2011. Spremljanje stanja gozdov v Sloveniji. Gozdarski vestnik, 69, 5/6: 259-262.
- Sklep 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, Sklep št. 529/2013.
- Uredba o mehanizmu za spremljanje emisij toplogrednih plinov in poročanje o njih ter za sporočanje drugih informacij v zvezi s podnebnimi spremembami na nacionalni ravni in ravni Unije ter o razveljavitvi Sklepa št. 280/2004/ES. Uradni list Evropske unije, Uredba št. 525/2013.
- Uredba o oblikovanju skupne klasifikacije statističnih teritorialnih enot (NUTS). Uradni list Evropske unije, Uredba št. 1059/2003.
- Uredba o spremembi Uredbe (ES) št. 1059/2003 o oblikovanju skupne klasifikacije statističnih teritorialnih enot (NUTS) zaradi pristopa Češke, Estonije, Cipra, Latvije, Litve, Madžarske, Malte, Poljske, Slovenije in Slovaške k Evropski uniji. Uradni list Evropske unije, Uredba št. 1888/2005.
- Vlada Republike Slovenije. 2014. Operativni program ukrepov zmanjšanja emisij toplogrednih plinov do leta 2020. http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/op_tgp/op_tgp_2020.pdf. (15.4.2015).
- Zakon o ratifikaciji Kjotskega protokola k Okvirni konvenciji Združenih narodov o spremembi podnebja. 2002. Ur. l. RS št. 17/02.
- Zavod za gozdove Slovenije. 2013. Poročilo Zavoda za gozdove Slovenije o gozdovih za leto 2012. http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/PDF/LETNA_POROCILA/Por_ZGS_gozd2012.pdf. (15.4.2015).
- Žižek Kulovec L. (ur.). 2013. Zaključno poročilo naloge Javna okoljska služba 2012. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 286 str.



EUFORINNO: European Forest Research and Innovation - Raziskave in inovacije v evropskem gozdarstvu (RegPot št. 31598; koordinator Gozdarski inštitut Slovenije (GIS), oktober 2012 – marec 2016, vrednost 2,9 M EUR, 100 % financiranje iz EU) je projekt 7OP EU, namenjen dvigu znanstvene odličnosti in prepoznavnosti Gozdarskega inštituta Slovenije ter gozdogov in gozdarstva doma in v Evropi. Projekt podpira osem znanstveno odličnih partnerjev iz Belgije, Nemčije, Velike Britanije, Italije, Finske in Švedske.

Projekt EUFORINNO je omogočil nakup in uporabo sodobne raziskovalne opreme za raziskave genetske pestrosti, biodiverzitete in kompleksnih procesov v gozdnih tleh, ter dinamike ogljika v času in prostoru. Med novimi metodološkimi storitvami je treba omeniti predvsem možnost raziskav stabilnih izotopov v različnih vzorcih (z aparaturo EA-IRMS), sledenje izotopov v sledovih pri raziskavah pretokov v ekosistemu (TGAS), sodobne mikroskopske metode, vključno z lasersko mikrodisekcijo, ki omogoča izrez in molekularne analize subcelularnih komponent, uporabo čiste sobe s klimakomorami za gojenje in raziskave karantenskih ali gensko spremenjenih organizmov, idr. Sodobne pristope so v okviru projekta zaposleni raziskovalci – specialisti, ter več kot 75 % vseh drugih zaposlenih na GIS, spoznavali in razvijali v sodelovanju s partnerji, na več kot 43 znanstvenih izpopolnjevanjih v tujini in prav toliko tečajih, katere so vodili tuji partnerji na GIS. Sodelovali so na več deset znanstvenih konferencah in organizirali tri manjše, v teku je organizacija zaključne konference EUFORIA na Rogli v septembru.

Poleg znanstvenega in inovacijskega preboja je projekt EUFORINNO omogočil tudi hiter razvoj založniškega centra *Silva Slovenica*, ustanovitev repozitorija z odprtim dostopom *SciVie*, posodobitev znanstvene revije treh institucij *Acta silvae et ligni* in zbirke monografij *Studia forestalia Slovenica*. Za GIS je posebno pomembna tudi priprava strategije upravljanja z intelektualno lastnino in inovacijskega vodenja, ter mreženje in organizacija znanstvenih in strokovnih delavnic v tujini, namenjenih povečanju prepoznavnosti znanstvene odličnosti in storitev GIS.

Gozd in trajnostno, sonaravno, mnogonamensko gozdarstvo zagotavljata zdravo življenjsko okolje, obnovljive naravne vire – les in druge gozdne proizvode in storitve, življenjski prostor, vodo, uravnavanje klimatskih razmer. S svojimi raziskavami poskušamo prispevati k ohranjanju gozdogov na prostoru, kjer je danes in funkcij, katere zagotavlja. Naš cilj je vzpostaviti skupni evropski gozdarski raziskovalni in inovacijski prostor (EUFORIA), ki danes pripravlja odgovore na vprašanja, ki se bodo pojavila s podnebnimi spremembami in ekstremnimi vremenskimi razmerami jutri.

Več na: www.euforinno.gozdis.si.



This project is funded by
the European Union

Kazalo

- 3 Uvodnik
prof. dr. Miha Humar, prof. dr. Hojka Kraigher
- 4 Monitoring and research in forest ecosystems: history, current status, updates and perspectives of expanding to ecosystems services and the wood chain.
dr. Giorgio Matteucci, Bruno De Cinti
- 6 Stanje mreže uradnih in neformalnih poti v urbanem gozdu na območju Mestne občine Ljubljana
dr. Andrej Verlič, doc. dr. Janez Pirnat
- 14 Pinosilvini kot dragocene bioaktivne spojine v lesu borov
prof. dr. Primož Oven, dr. Ida Poljanšek, dr. Viljem Vek
- 18 Uporaba laserskega skeniranja za detekcijo vrtač v gozdni krajini in njihov vpliv na raznolikost pritalne vegetacije ter zgradbo gozdov
dr. Milan Kobal
- 24 Učinkovita izraba surovin v papirni industriji
dr. Janja Zule, dr. Mija Sežun
- 29 Pregled teoretičnih in praktičnih konceptov gozdnega genetskega monitoringa
Domen Finžgar, dr. Marjana Westergren, prof. dr. Hojka Kraigher
- 36 Monitoring of ectomycorrhizal types on trees in Serbia
dr. Marina Katanić, prof. dr. Saša Orlović, dr. Tine Grebenc, dr. Bratislav Matović, Marko Bajc, prof. dr. Hojka Kraigher
- 40 Zgodnjesezonski ksilemski tok vode pri puhastem hrastu (*Quercus pubescens* Willd.)
Martina Lavrič, dr. Mitja Ferlan, dr. Klemen Eler, prof. dr. Dominik Vodnik
- 44 Vpliv sanitarnih sečenj na naravno obnovo gozda po motnjah srednjih jakosti v bukovih gozdovih
Gal Fidej, dr. Andrej Rozman, dr. Thomas A. Nagel, dr. Igor Dakskobler, prof. dr. Jurij Diaci
- 47 Usedline dušika v urbanem gozdu Ljubljane ter bukovih gozdovih Trnovske planote in Kočevske
Daniel Žlindra, dr. Urša Vilhar
- 53 Spremljanje nastajanja ksilema in floema ter kambijeve aktivnosti pri bukvi in smreki v Sloveniji
prof. dr. Katarina Čufar, dr. Peter Prislan, doc. dr. Maks Merela, Luka Krže, doc. dr. Jožica Gričar
- 58 Spremljanje stanja gozdnih cest za racionalno načrtovanje njihovega vzdrževanja
mag. Boštjan Hribernik, prof. dr. Igor Potočnik
- 62 Monitoring biotskih in abiotskih procesov razgradnje lesa na prostem
Davor Kržišnik, dr. Boštjan Lesar, Nejc Thaler, Mojca Žlahtič, prof. dr. Miha Humar
- 68 Spremljanje utrjevanja utekočinjenega lesa in lepljenja lesa z utekočinjenim lesom
dr. Aleš Ugovšek, prof. dr. Milan Šernek
- 75 Monitoring emisij toplogrednih plinov zaradi rabe tal, spremembe rabe tal in gozdarstva in njegova prihodnost
dr. Boštjan Mali, Laura Žižek Kulovec, dr. Primož Simončič

