

letnik 63
števila 05-2011
UDK 630
ISSN 0024-1067
Cena 4,50 EUR



revija o lesu in pohištvu

leswood



Znanstveno srečanje

GOZD IN LES

Gozd in les: Za ljudi in naravo



Oblikovanje akademik Hozo Dževad, Ljubljanska grafična šola

www.gozdis.si

www.gozd-les.si

www.bf.uni-lj.si

JELOVICA

USTVARJENA IZ VAŠIH SANJ

HIŠA JELOVICA

SONČNA VILA BOVEC
www.jelovica-hise.si



revija o lesu in pohištvu

les

Ustanovitelj in izdajatelj

Zveza lesarjev Slovenije.

Uredništvo in uprava

1000 Ljubljana, Karlovška cesta 3, Slovenija

tel. 01/421-46-60, faks: 01/421-46-64

e-pošta: revija.les@siol.net

Uredništvo in sodelavci uredništva

Glavni in odgovorni urednik: prof. dr. Miha Humar

Tehnični urednik: Stane Kočar, univ. dipl. inž.

Lektoriranje: Darja Vranjek, prof. slov. in soc.

Oblikovalska zasnova revije

Boštjan Lešnjak

Tisk

Littera Picta d.o.o.

Uredniški svet

Predsednik: mag. Darinka Kozinc

Člani: Peter Tomšič, univ. dipl. oec., Mitja Strohsack, univ. dipl.

iur., mag. Miroslav Strajhar, univ. dipl. inž., Bruno Komac, univ.

dipl. inž., mag. Andrej Mate, dipl. oec., Stanislav Škalič, univ.

dipl. inž., Janez Pucelj, univ. dipl. inž., Igor Milavec, univ. dipl.

inž., Florijan Cifrek, Edi Iskra, prof. dr. Marko Petrič, prof. dr.

Milan Sernek, Zdenka Steblovnik, univ. dipl. inž., mag. Majda

Kanop, univ. dipl. inž., prof. dr. Franc Pohleven, Bojan Pogorevc,

univ. dipl. inž.

Uredniški odbor

prof. em. dr. dr. h. c. mult. Walter Liese (Hamburg), prof.

dr. Helmut Resch (Dunaj), dr. Milan Nešić (Beograd), prof.

dr. Radovan Despot (Zagreb) prof. dr. Vito Hazler, prof. dr.

Miha Humar, mag. Jasna Kralj Pavlovec, doc. dr. Manja Kitek

Kuzman, Alojz Kobe, univ. dipl. inž. les., dr. Nike Krajnc, strok.

svet. Borut Križej, doc. dr. Jože Kropivšek, prof. dr. Jože Kušar,

Igor Milavec, univ. dipl. inž. les., prof. dr. Primož Oven, prof. dr.

Marko Petrič, mag. Mitja Piškur, prof. dr. Franc Pohleven, mag.

Marija Slovnik, prof. dr. Milan Šernek, prof. dr. dr. h. c. Niko

Torelli, dr. Srečko Vratuša, mag. Miran Zager, prof. dr. Roko

Žarnič, prof. dr. Hojka Kraigher, doc. dr. Tom Levanič, dr. Mirko

Medved, prof. dr. Lidija Zadnik Stirn, dr. Janja Zule

Letna naročnina

Posamezna številka 4,50 EUR

Dijaki in študenti 16 EUR.

Posamezniki 35 EUR.

Podjetja in ustanove 160 EUR.

Obrtniki in šole 80 EUR.

Tujina 160 EUR + poština.

Naročnina velja do preklica. Pisne odjave upoštevamo ob koncu obračunskega obdobja.

Transakcijski račun

Zveza lesarjev Slovenije-LES, Ljubljana, Karlovška cesta 3,

IBAN (TR): SI56 0310-0100-0031-882 pri SKB d.d., Ljubljana

SWIFT: SKBAS12X

Revija izhaja v dveh dvojnih in osmih enojnih številkah letno. Za izdajanje prispeva Ministrstvo za znanost, šolstvo in šport Republike Slovenije.

Na podlagi Zakona o davku na dodano vrednost spada revija Les po 43. členu pravilnika med nosilce besede, za katere se plačuje DDV po stopnji 8,5 %.

Vsi znanstveni članki so dvojno recenzirani.

Izvirki iz revije LES so objavljeni v AGRIS, Cab International – CD-Tree ter v drugih informacijskih sistemih.

GOZD IN LES ZA LJUDI IN NARAVO!

Srečanje Gozd in les bo v letu 2011 potekalo v znamenju leta gozdov in uvoda v desetletje biodiverzitete.

Generalna skupščina Združenih narodov (ZN) je na 83. plenarni seji 20. decembra 2006 leto 2011 razglasila za »Mednarodno leto gozdov 2011«. Pri tem je izhajala iz:

- ▶ mednarodne konvencije o biotski raznovrstnosti, Okvirnega mednarodnega sporazuma Združenih narodov o podnebnih spremembah in drugih zadevnih sporazumov, ki se ukvarjajo z vprašanji, povezanimi s kompleksnostjo gozdov,
- ▶ spoznanja, da lahko gozdovi in trajnostno gospodarjenje z njimi občutno prispevajo k trajnostnemu razvoju, boju proti revščini in k doseganju mednarodno sprejetih razvojnih ciljev, vključno s cilji z začetka tega tisočletja, kakor tudi
- ▶ nujnosti trajnostnega gospodarjenja z vsemi vrstami gozdov, vključno z občutljivimi gozdni ekosistemi.

Ob prehodu iz »Mednarodnega leta biodiverzitete« na »Desetletje biodiverzitete« (Conference of Parties – 10 COP, Nagoya, Oktober 2010) v letošnjem srečanju poudarjamo so-odvisnost ohranjanja gozdov in ohranjanja biodiverzitete na vseh nivojih, ekosistemskem, krajinskem, vrstnem, populacijskem in genetskem. Kompleksne interakcije so značilne za odnose znotraj in med različnimi nivoji. V biotsko pestrih gozdovih ta pestrost omogoča organizmom, da se prilagajajo na nenehno se spreminjajoče okolje in ohranjajo delovanje ekosistemov.

Zato smo letošnje srečanje imenovali GOZD IN LES: ZA LJUDI IN NARAVO.

Tako se v letu 2011 tudi znanstveno srečanje Gozd in les s svojim programom vključuje v dogajanja v okviru leta gozdov in desetletja biodiverzitete.

To srečanje organiziramo vodilne organizacije s področja gozdarstva, lesarstva in papirništva, Oddelek za lesarstvo in Gozdarski inštitut Slovenije, v sodelovanju z Inštitutom za celulozo in papir in Oddelkom za gozdarstvo in obnovljive vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Glavni namen našega znanstvenega srečanja je zainteresirani znanstveni in strokovni javnosti predstaviti najnovejše raziskovalne dosežke na področju gozdov, gozdarstva, lesarstva in papirništva. Na tem srečanju bodo dobili priložnost predvsem mlajši, »prihajajoči« raziskovalci, da širši javnosti predstavijo svoje raziskovalne dosežke.

S skupnim nastopom raziskovalnih organizacij, ki pokrivajo gozdno-lesno proizvodno verigo, želimo spodbuditi sodelovanje med vsemi deležniki v tej verigi. Kljub dolgoletni tradiciji sonaravnega gospodarjenja z gozdom in rabe lesa posek močno zaostaja za prirastkom. To se kaže tudi v hitrem staranju gozdov in padcu kako-vosti lesa, zato je pomembno čim bolj spodbuditi zdravo rabo lesa. Pomen gozda in lesa v zadnjem času močno narašča, saj je obdelava lesa energetsko nepotratna in okolju prijazna. Poleg tega vedno bolj prihaja v ospredje dejstvo, da so les in lesni izdelki pomembni z vidika skladiščenja ogljika. Les namreč skozi celotno življenjsko dobo skladišči ogljikov dioksid.

Verjameva, da s skupnim nastopom lahko učinkoviteje primoremo k preporodu gozdno-lesne proizvodne verige v Sloveniji.

prof. dr. Miha Humar in prof. dr. Hojka Kraigher

ASSESSMENT AND PROJECTION OF CLIMATE CHANGE IMPACTS IN SOUTHEAST EUROPEAN FORESTS: A CASE STUDY OF COMMON BEECH (*FAGUS SYLVATICA* L.)*

Ocena in napoved vplivov podnebnih sprememb v gozdovih
jugovzhodne Evrope na primeru bukve (*Fagus sylvatica* L.)

Abstract: In view of expected climatic changes, the future of common beech in Southeast Europe requires special attention because this region harbours significant populations living at or near their xeric distribution boundary. Even though the low elevation occurrences are vulnerable to climatic shifts, observations and modelling studies pertaining to this region are particularly scarce. Out of climatic factors determining the xeric distributional limits for beech, Ellenberg's climate quotient (EQ) appeared as the most indicative. Growth response analyses in comparative tests have confirmed the existence of macroclimatic adaptation of beech and have proven that warming and more arid conditions lead to decline of growth and vitality, while no decline was observed if EQ changed towards cooler or moister conditions. The response to weather extremes was investigated in field plots. Recurrent summer droughts of 3 to 4 consecutive years, above mean EQ value 40-42 resulted in pest and disease attacks and mass mortality. The discussed approaches indicate consistently a high level of uncertainty regarding the future of common beech at the xeric limit in Southeast Europe. According to field observations and bioclimatic data in Hungary, a large part of low-elevation beech forests presently in the zone of EQ index ≥ 20 might be threatened by the warming in the second half of the century, while higher-elevation occurrences may remain stable. Grim projections may however be partly overwritten by uncertainties of modelling and by careful and prudent human support.

Keywords: genetic adaptation, climate change, drought tolerance, range retraction, xeric limits, trailing limits, *Fagus*
Ključne besede: : genetska prilagoditev, podnebne spremembe, toleranca na sušo, zmanjševanje habitata, meja sušnosti, robna območja razširjenosti, *Fagus*

* The paper is a reviewed and abbreviated version of Mátyás et al. 2010b

* prof., University of West Hungary, Faculty of Forestry, Institute of Environment and Earth Sciences, H 9401 Sopron, PO Box 132, Hungary,
E-mail: cm@emk.nyme.hu

** University of West Hungary, Sopron

*** Institute of Ecology and Botany, Hung. Ac. Sci., Vácrátót

INTRODUCTION

Adaptation strategy of forest trees is receiving growing attention in view of expected climatic changes. Scarcity of reliable information on responses to macroclimatic changes is a central problem and obstacle of planning for the future. In order to formulate realistic predictions, both the nature of adaptation to past and current climate, and the level of sensitivity to sudden environmental changes have to be understood and properly interpreted.

Conflicting approaches and unclear role of different factors determining adaptability keep adaptation to macroclimate still unresolved, in spite of its importance for practical forest management, for response prediction and risk management. Species-level (genetic) adaptation pattern is the basis for setting the rules of reproductive material use, for concepts to conserve genetic resources and for strategies to adapt to expected effects of environmental changes (Mátyás et al., 2009a).

The distribution of European or common beech (*Fagus sylvatica* L.) extends across ecologically and climatically variable regions. Compared to other wide-spread tree species of Europe, it is still the one which was left in a relatively natural condition as it was seldom regenerated artificially and its reproductive material was not subject to large-scale commercial relocations such as oaks or Norway spruce. Therefore beech is a well suited model species to study adaptation strategy of long-living climax species to climate and to changes of climate.

In this study an attempt is presented to trace, quantify and project the impacts of macroclimatic change on the distribution and vitality of beech, with results interpretable for the practice, as such information is urgently needed to develop adaptation strategies for both forestry and conservation. Investigations were concentrated to the xeric limits in SE Europe. Xeric (or rear, trailing) limits at the low latitude and low altitude end of distribution ranges are determined by climatic aridity (Mátyás et al., 2009b). These limits are handled by contemporary statistic and process-oriented models with considerable uncertainty (Kramer et al., 2010). Xeric limits of common beech are apparent along lower elevations of Mediterranean mountain ranges, however on the temperate-continental plains and hills of SE Europe they are more difficult to follow due to more complex ecology and human disturbance. This region, where the retreat of the species is forecasted, has been largely neglected by European studies (Jump et al., 2009; Mátyás, 2010; Lindner et al., 2010).

Although climatic effects act on the local, microclimate level, macroclimate has been analysed in this study mainly for two reasons: available climatic scenarios define changes on macro-level only, and on the other hand, in forestry, local data on micro- and meso-climate are in most cases lacking or unreliable.

ADAPTIVE STRATEGY AND PATTERN OF COMMON BEECH

Hypotheses in contemporary silviculture on the adaptation strategy of K-strategist or climax tree species are originating from ecology. Considering the strong and lasting effects of local selection, a close ("ecotypic") adaptation

has been implicitly assumed for K-strategist tree species' such as beech. This view has been further supported by numerous field experiments with perennials, starting with Clausen et al. (1940). Studies on intraspecific genetic variation patterns of common beech also explain spatial differentiation mostly as ecotypic (e.g. Wühlisch et al., 1995; Kleinschmidt, Svolba, 1995; Jazbec et al., 2007).

It may be assumed that diverging direction and intensity of macroclimatic selection leaves also traces in the adaptive genetic variation pattern within the species. Proofs are however surprisingly seldom found in beech. The range-wide analysis of metabolic allozyme gene loci has established correlations of allelic frequencies with climate-dependent factors such as altitude and continentality (Comps et al., 1998). Traces of genetic similarity among geographically distant populations growing on climatically similar sites point in the same direction (A. Borovics pers. comm.). The patterns of phenological behaviour observed in beech provenance trials also suggest a clear effect of macroclimate on genetic differentiation within the species. For example, bud break of beech shows a clinal East-West pattern: Atlantic coast provenances¹ are late, while Alpine and SE-European continental ones are early flushing (Wühlisch et al., 1995; Führer et al., 2009; Gömöry, 2009).

Recent developments of phylogeography and molecular genetics provide arguments pointing towards the role of random effects in counteracting close adaptation. First, the postglacial return of common beech from various refugia to Central, and especially to Northern Europe is relatively recent, and its migration speed to follow climatic shifts is low (Davis, 1981). Its genetic structure seems to have been impacted by random separations and mergers of lineages (Magri et al., 2006; Gömöry, Paule, 2010). Long-range gene flow and genetic interaction between distant populations, although less intense than in the case of widespread conifers, is also acting against well differentiated ecotypes. For example, a recent study identified common beech pollen transport – depending on wind trajectories – as distant as from NE France to Catalonia (Belmonte et al., 2008). There are a number of other biotic reasons why the genetic system of tree species may robustly counteract strict local adaptation (Mátyás, 2007).

Considering the pace of expected changes as compared to the generation length of beech, it is obvious that adaptation to rapid changes and to extreme events can function only if a strong component of plasticity (and, possibly, not yet identified epigenetic effects) is augmenting the inefficiency of selection and gene flow to adjust genetically set responses (Mátyás et al., 2010a; Finkeldey, Hattermer, 2010).

1 The term "provenance" is used in the paper synonymously for "transferred population of known origin".

CLIMATIC FACTORS OF THE XERIC DISTRIBUTIONAL LIMITS FOR COMMON BEECH IN SE EUROPE

The actual climatic envelope (niche) of beech has been repeatedly modelled (e.g. Kölling, 2007; Fang, Lechowicz, 2006; Bolte et al., 2007; Kramer et al., 2010). The studies have focused on continental-scale climate patterns, using low resolution climatic and species distribution data.

To identify the limiting macroclimatic factors at the xeric distributional limits of common beech forests a regional modelling analysis was carried out in Hungary (Czúcz et al., 2011). Only data of occurrences were analysed which fulfilled the criteria of zonality (i.e. primarily determined by macroclimate). The stands have been grouped by the inventory grid system of the Forest Service (~1.5×1.9 km cells). The response variable was the percentage of presence of beech in the respective cell.

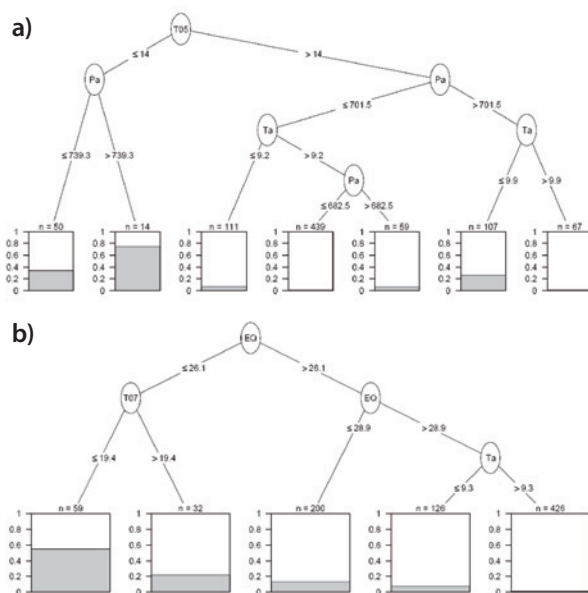


Figure 1. Examples of regression tree models for the xeric limits of zonal beech forests, determined by (a) basic climatic predictors only; and (b) with EQ included. In the terminal nodes bar diagrams visualize the probability of presence. (n: number of cells in the node). See text for variable names (Czúcz et al., 2011)

Slika 1. Primer modela regresijskega drevesa za primer sušnostne meje zonalnih bukovih gozdov glede na (a) osnovne klimatske parametre in (b) osnovne klimatske parameter in EQ indeks. Diagrami končnih vej prikazujejo verjetnost pojavljanja bukovih gozdov. N – število celic v končni veji. Imena spremenljivk so razložena v besedilu (Czúcz in sod., 2011)

The probability of presence of beech was modelled by the variables seasonal and monthly temperature and precipitation means, interpolated for the grid cells. In addition Ellenberg's climate quotient (EQ, Ellenberg, 1988) was also applied, defined as the mean temperature of the warmest month (July, T_{07}) divided by annual precipitation (P_a):

$$EQ = 1000 (T_{07} / P_a)$$

Ellenberg's climate quotient is a simple index expressing the joint effect of temperature and precipitation, and it has been generally used to express humidity conditions in Central Europe.

As the main modelling tool conditional inference-based regression trees were used (Hothorn et al., 2006). This technique identifies at every branching only the most influential variable (for details see Czúcz et al., 2011). Examples of regression tree models are presented in Figure 1.

Out of the basic set of climatic variables late spring (May) temperature (T_{05}) appeared as the most influential predictor. In addition, annual precipitation (P_a) also played a significant role in determining the presence of beech near its xeric limit (Fig. 1a). Grid cells with the highest probability of presence had relatively cool May temperatures ($T_{05} < 14^\circ\text{C}$), and received a higher amount of rainfall (> 740 mm) per year.

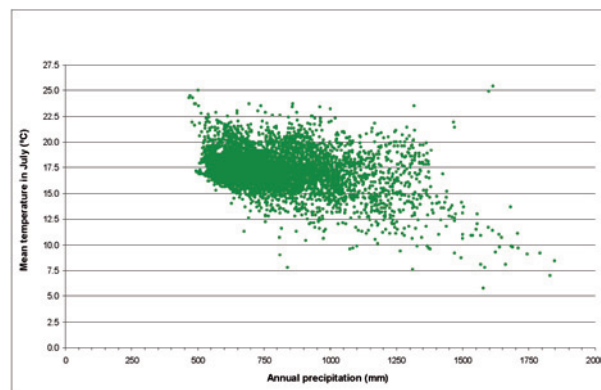


Figure 2. The climate envelope of common beech in Europe using long term (1950-2000) climatic average of annual precipitation and mean July temperature. Climate data were extracted from the WorldClim high resolution interpolated climate database. (Designed from EUFORGEN beech distribution data by E. Rasztovits)

Slika 2. Klimatski pogoji uspevanja bukve v Evropi na osnovi dolgoletnega (1950-2000) povprečja letnih padavin in povprečne julijske temperature. Podatke smo pridobili iz WorldClim visokoločljive baze podatkov. (Povzeto po EUFORGEN bazi distribucije bukve; E. Rasztovits)

If Ellenberg's climate quotient (EQ) was included among the predictor variables, it appeared as the most distinguishing predictor, according to Figure 1b its maximum (limiting) value was 28.9. The obtained results for limiting climate conditions for beech at low latitude/low altitude were compared with other, published ones (Table 1).

The climate envelope of common beech (Figure 2) indicates practically no presence below 500 mm annual precipitation and the bulk of occurrences stay below 20°C July mean. Most of the marginal points around the "main cloud" may be presumed to be non-zonal occurrences utilising surplus humidity (e.g. seeping water on slopes etc.). Data of Table 1 show that the precipitation conditions at the continental xeric limit in Hungary are much drier than at the warm-humid limit in SW Europe, where the higher annual mean temperature requires significantly more rainfall. The study of Fang and Lechowicz (2006) analysed a large number of climate factors and indices, among them Ellenberg's index. Their "xeric limit" values refer to the hottest sites beech might tolerate. Despite the limited scope of their dataset, the closeness of the estimated EQ limit of 29.0 to ours is surprising.

It is obvious that when modelling the probability of presence of beech, neither temperature nor precipitation can be considered as a single factor. EQ index seems to characterise the climate conditions for beech reliably and will be used for analysing responses to changing conditions in the followings.

GROWTH RESPONSE TO CHANGING CLIMATIC CONDITIONS

The response of populations to changed climatic environment is analysed on the basis of the genetic tolerance limit hypothesis. According to the hypothesis, the fitness of a population adapted to a certain environment declines rapidly with worsening conditions. Natural selection intensifies

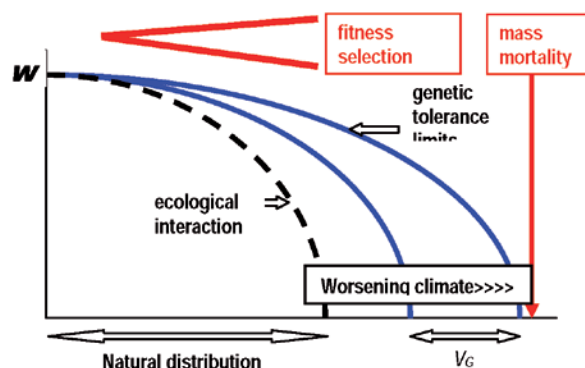


Figure 3. Ecological-genetic hypothesis of fitness loss along a climatic cline: tolerance decline and mortality triggered by worsening of climatic conditions. The genotypic variance of limits of tolerance (VG) represents the basis of natural selection. The dashed line marks the ecological limitations of the species (Mátyás et al., 2010a)

Slika 3. Ekološko-genetska hipoteza izgube fitnesa vzdolž klimatskega gradienta: zmanjševanje tolerance in večanje smrtnosti kot posledica zmanjševanja ustreznosti klimatskih razmer. Genotipska variance tolerančne omejitve (VG) predstavlja osnovo za naravno selekcijo. Prekinjena črta označuje ekološke meje vrste (Mátyás in sod., 2010a)

sifies simultaneously and adjusts the genetic makeup to the changed environment, depending on available genetic variability. At the genetic tolerance limit climatic selection ends up in mass mortality, where the genetic and ecological possibilities of adaptation are exhausted (Mátyás et al., 2010a, Figure 3). Due to competitive or trophic interactions in the ecosystem, fitness is usually sooner lost than the genetically set critical tolerance, through pest and disease attacks or competition by other tree species. In ecology, this

Table 1. Comparison of results of the present analysis with literature data on xeric limits of common beech occurrence (Czúcz et al., 2011)

Preglednica 1. Primerjava podatkov sušnih omejitev bukve glede na podatke v literaturi

Source	Temperature limit (°C)	Precipitation limit (mm)	EQ index limit (°C/mm)
Fang, Lechowicz, 2006	ann. mean < 13.5 July mean < 23.0	ann. mean > 900	29.0
Kölling, 2007, cool-dry limit	ann. mean < 9.5	ann. mean > 500	-
Kölling, 2007, warm-humid limit	ann. mean < 13.5	ann. mean > 850	-
Goetz in: Bolte in sod., 2007	-	ann. mean > 500	-
Hoffman in: Bolte in sod., 2007	July mean < 19.0	-	-
Czúcz in sod., 2011, "xeric limit"	ann. mean < 9.3	ann. mean > 680	28.9

is expressed as the difference between “physiological” (in reality: genetic) and ecological tolerance.

Adaptive genetic differentiation among provenances (in growth, phenology, and health) measured in common garden tests may be utilized to model the result of climatic selection and to forecast the effects of climatic change, as the response of populations at the test site can be interpreted as a simulation of environmental changes (Mátyás, 1994; 1996). Climate change as experienced by tested populations in the common garden is expressed as ecodistance (“space for time substitution” Mátyás et al., 2009a; 2010a).

The all-European beech provenance trials initiated by Muhs and collaborators (Muhs, Wühlisch, 1993; Wühlisch, 2007) have been selected for modelling growth response to climatic changes through transfer analysis. Experiments of the 1998 test series have been analysed in SE Europe (Mátyás et al., 2009a). In this study results of two sites are introduced. For ecodistance calculation, Ellenberg’s climate quotient (EQ) was applied. 10th year heights, measured in winter 2005/2006, have been used for the analysis.

The mid-elevation site in Straža, Slovenia provides climatically optimal conditions, while the Hungarian one (Bucsuta) is continental and relatively close to the xeric (trailing) limits of the distribution of beech, as shown by the Ellenberg indices (Table 2).

In Figure 4, data of 10 populations are shown which are represented in both tests. The ecodistance between the EQ at origin and EQ at the test site (ΔEQ) expresses the change of climate, where positive values indicate transfer to warmer/drier, and negative ones transfer to cooler/moister conditions.

At the warm-continental site in Hungary ($EQ = 26.3$), all the 10 provenances have been transferred into an environment with increased continentality, higher mean temperatures and higher drought stress. On the other hand, in the Slovenian test ($EQ = 15.3$) the majority of the selected populations has been brought into an environment cooler/moister (i.e. less stressful) than their original climate.

Response regressions were calculated between mean heights of provenances and ecodistances expressed in EQ values. The polynomials (Figure 4) express that response of provenances depends on the difference of climatic conditions at the origin and the test sites, i.e. ecological distance is a valid concept for explaining responses and substantiate the existence of macroclimatic adaptation. At the warm site in Bucsuta, Hungary, the calculated polynomial shows a clear decline of height growth beginning from ΔEQ value 4. Such a clear effect of changed climate is not visible at the cool, humid site in Slovenia. In this case most provenances were brought into a cooler, moister environment than they were adapted to (ΔEQ s reached nearly the same values as in Hungary, however in opposite direction); therefore no growth depression was detectable with growing ecodistance. This illustrates that a negative response to changing environment is triggered only by shifts toward warmer/drier climate. The presented results for beech are supported by data of other species such as Scots pine, European larch and Norway spruce (for review, see Mátyás et al., 2010a) where very similar trends have been found.

The individual response of a population to changing environmental conditions along an ecological gradient is described by the term phenotypic plasticity. In general, plasticity has been found much more significant than expected from a “closely adapted” species. This is illustrated by the data of the Slovenian test site (Figure 4). Even relatively distant transfers (with high EQ values) do not show growth depression. Similar effects could be observed in other trials across Europe. However, close to the xeric limit, in Hungary, the buffering of plasticity does not function, as described before. Distinct interactions could be identified only in individual cases (Figure 4).

The growth response (or transfer) analysis of the SE European beech trials yielded the following main conclusions:

- ▶ adaptation to (and consequently, selection effect of) macroclimate exists in beech in spite of counteracting evolutionary and ecological effects;
- ▶ the change of climatic conditions toward warming and more arid conditions lead to decreasing height growth

Table 2. Geographic, climatic data of two common beech provenance trials (from Mátyás et al., 2009a)

Preglednica 2. Geografski in klimatski podatki dveh provenienčnih poskusov z bukvi (Slovenija in Madžarska) (povzeto po Mátyás in sod., 2009a)

Reg. Nr.	Country	Location	Altitude a.s.l. (m)	July mean temperature (°C)	Annual mean precipitation (mm)	Ellenberg index (EQ)
2012	Slovenia	Straža	545	19.3	1260	15.3
2015	Hungary	Bucsuta	200	19.7	747	26.3

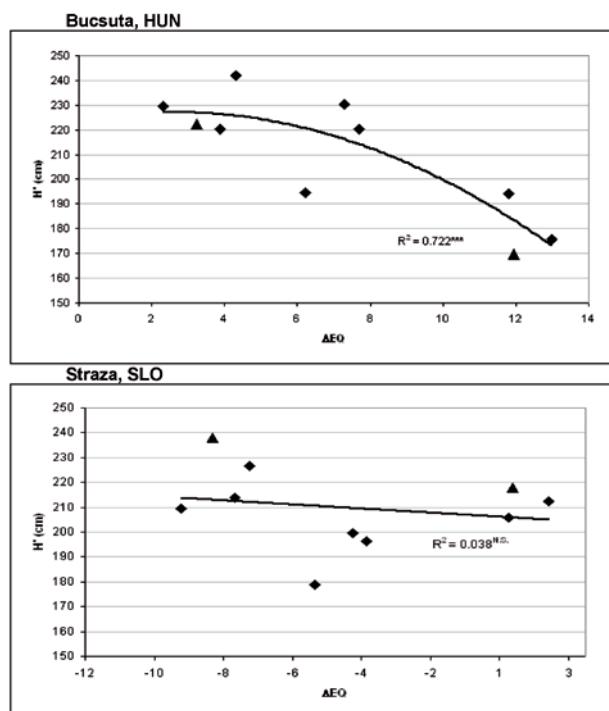


Figure 4. Regression of 10-year height (H') of 10 identical provenances with ecodistance, at two sites with strongly differing EQ values. The sequence of provenances is the same. Compare the two provenances marked with ▲ for interaction: Tarnawa (POL, left) and Plateaux (FRA, right). Both mountain populations perform much better at higher elevation in Slovenia than in Hungary (Mátyás et al., 2009a)

Slika 4. Regresijska krivulja višine desetletnih sadik (H'), desetih identičnih provenienc in njihovih ekodistančnih vrednosti s prikazom na dveh rastiščih, ki se značilno razlikujeta glede na EQ vrednosti. Provenienčno zaporedje je v obeh poskusih enako. Za interakcijo primerjaj obe provenience, označeni z ▲ Tarnawa (POL, levo) in Plateaux (FRA, desno). Obe gorski populaciji mnogo bolje uspevata na rastišču na večji nadmorski višini v Sloveniji glede na Madžarski poskus (Mátyás in sod., 2009a)

and vitality, while vitality is not affected if changes happen in the opposite direction.

- phenotypic plasticity of all populations is considerable, but near the xeric limit its effect ceases.

RESPONSE TO WEATHER EXTREMES

Effects of climatic change are described as shifts of vegetation zones, realised through "migration" of species. In

case of forest trees, "migration" means loss of competitive potential and subsequent decline of vitality followed by pest and disease attack. However, the response of forests to drought, contrary to grass or crop vegetation, is not immediate. Forest stands, even drought-sensitive common beech, survive single extreme summers and recover merely with yield loss. This is the result of deep rooting of trees, utilizing deeper soil water resources. The situation is different if drought years happen consecutively.

In the literature "mortality syndrome" (Worrall et al., 2008) cases have mostly been treated as isolated, transient problems related to extreme events, rather than as a consequence of a long-term climate shift. Spontaneous climatic selection is driven by recurrent drought events and the symptoms appear usually quite abruptly. Climatic means in models should be regarded therefore rather as surrogates for extreme events. The long-term, gradual shift of climatic factors has merely a predisposing role. Besides climate, the site conditions, age and structure of stand play also a predisposing role. Inciting factors are mainly connected to climatic anomalies especially at the xeric limits. Pests or diseases attacking populations of weakened vitality are then the direct or proximate causes of mortality.

HEALTH AND VITALITY LOSS DUE TO CLIMATIC EXTREMES IN SW HUNGARY

The gradually growing moisture deficit in Hungary has led to health problems in Hungarian beech forests since the 1990s, first of all in the Southwest (towards Slovenia) where climatic changes were the strongest, and where the stands are at low elevation and close to the xeric limits. The weakened trees became more sensitive to secondary pests and pathogens and showed symptoms of health deterioration (early leaf abscission, sparser crowns, etc.). The extent of climate damages of the drought years 2000-2004 has been investigated in two West Hungarian state forest companies. In 460 damaged forest compartments (total area: 3900 ha) 87.7 thousand cu.m. of damaged timber was harvested. The damaged stands were mostly above 60 years (T. Szépl, unpubl. data).

The area most damaged was the Zalaegerszeg forest district (Zala county), where mass mortality was triggered in mature beech stands after regeneration cuts, when the canopy closure was opened up. This led to the outbreak of the otherwise harmless beech buprestid (*Agrilus viridis*). Damage of *Biscogniauxia nummularia* disease and of the beech bark beetle (*Taphrorychus bicolor*) occurred together with the buprestid damage. As a consequence close to 70.000 cu.m. of sanitary felling had to be executed in 2005 in that forestry district alone (Figure 5, Lakatos, Mol-

nár 2009). The type of damage supports the observation of forest protection experts that disturbance of the closed canopy increases the risk of climate damage.

A close correlation was found between the climate classes and the percentage of stands damaged to various degrees (Figure 6). Berki's tolerance index was used for climate classification which considers in addition to the summer temperature and precipitation also spring rainfall (Berki et al., 2009).

ANALYSIS OF DROUGHT EVENTS

For the closer definition of extreme weather effects leading to the "mortality syndrome" in beech, threatened stands have been selected in different parts of the country. Criteria of selection were: at least medium-age, zonal site (primarily climate dependent site, at least medium deep soil with no defects, no hydrological influence) and climatic position as close to the xeric limit as possible. Weather conditions and mortality events in the stand in the recent past were reconstructed.

Investigation of mortality frequency has shown that single drought events did not threaten the stability of populations. The recurrent drought period lasting up to five years in some areas, has however resulted in very serious mortality, in one case the population went extinct (Figure 7). Observations have confirmed that in case of beech, recurrent drought events of 3 to 4 consecutive years (depending on severity) lead in general to irreversible mass mortality and local extinction (Berki et al., 2009). It was also found that not only the number of consecutive years, but the severity of drought period has an influence on the decline. Data of selected mature stands of similar



Figure 5. Symptoms of beech decline in 2004 in Zala county, following the damage of *Taphrorychus bicolor* on the trunk (Molnár, Lakatos, 2009)

Slika 5. Simptomi propadanja buke na območju Zala (leto 2004), kot posledica napada bukovega kosmatega lubadarja (*Taphrorychus bicolor*) (Molnár, Lakatos, 2009)

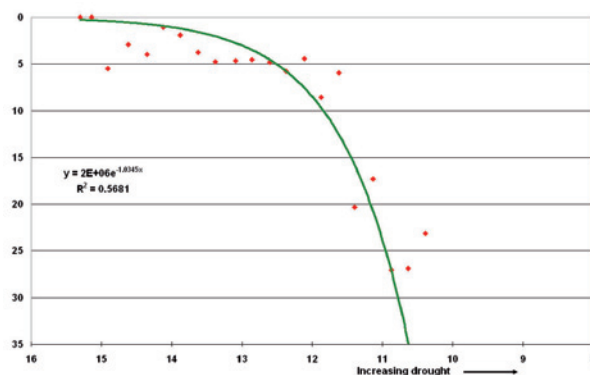


Figure 6. Percentage of compartments in West Hungarian forest companies damaged by drought events 2000-2004 (vertical axis) in relation to their climatic position (climate worsens toward lower climatic tolerance index values, horizontal axis). Compare with hypothetic graph in Figure 3. Explanation in the text (T. Szép, unpublished data)

Slika 6. Delež oddelkov v zahodni Madžarski z zabeležbo posledice suš v letih 2000-2004 (y os) v odnosu z njihovim klimatskim položajem (x os), pri čemer se klimatske razmere za bukev slabšajo v smeri zniževanja indeksa tolerance. Primerjaj s hipotetičnim grafikonom na Sliki 3 in glej razlago v besedilu (T. Szép, neobjavljeni podatki)

age near the xeric limit (Figure 7) indicate a direct, causal link between health and drought. Mean summer drought severity above EQ value 40-42 seems to trigger a mass mortality syndrome.

PROJECTIONS INTO THE FUTURE



How exactly xeric limits of common beech will shift in the future is poorly explained by currently available models. Predictions about the role of selection and adaptation are ambiguous, as judgements of genetic adaptive potential rely first of all on model results with neutral traits, and neither statistical nor process oriented models handle conditions at the xeric limits properly (Kramer et al., 2010). Although the possibility of selection sweep as a consequence of adaptation is acknowledged but no studies exist at the trailing limits of distribution,

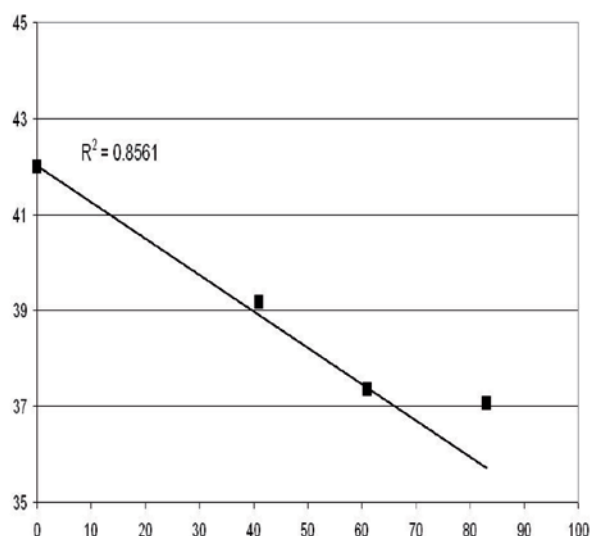


Figure 7. Average EQ value of the drought years 2000-2004 (vertical axis) and the health condition (percentage of healthy individuals, horizontal axis) of selected mature beech stands at the xeric limit, at the end of the period (unpublished data of Berkí and Móricz)

Slika 7. Prikaz povprečne EQ vrednosti v sušnih letih 2000-2004 (y os) in zdravstvenega stanja dreves izraženega v deležu zdravih posamenikov (x os) v izbranih odraslih sestojih bukve z območja sušne omejitve vrste pri zaključku opazovalnega obdobja (neobjavljeni podatki Berkija in Móricza)

where extreme selection for fitness comes into effect. In the followings, projections for SE Europe are discussed according to the three approaches presented before.

BIOCLIMATIC MODELS

For predicting future distribution of common beech on the basis of bioclimatic models, climatic projections of

the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, Christensen et al., 2007) were applied (Table 3).

Table 3 reveals surprisingly high levels of range reduction, relatively independently from applied scenario projections. The projected potential distributions indicate a drastic reduction in macroclimatically suitable sites for beech, as 56 – 99 % of present-day zonal beech forests might be outside their optimal bioclimatic niche by 2050. However, the projections of analysis only pertain to zonal beech forests in plachor position and other uncertainties of the projections are also high (Czúcz et al., 2011).

RESPONSES PREDICTED FROM TRANSFER ANALYSIS

Plasticity of common beech populations is significant, and it may be anticipated that except for regions in the vicinity of xeric limits, productivity of beech will not decline in case of warming, in sufficiently humid areas, it may even increase, until EQ values do not approach the critical maximum.

With worsening climatic conditions, vitality decline reaches 20 % of height loss around +13 ΔEQ according to the Bucsuta site data (Figure 4a). Based on field experience this amount of decline may be judged as a limit for competitive survival and a vitality condition where attack of pests and diseases may lead to mass mortality. For the sake of a simple exploratory calculation let us assume that climatic changes will result in relatively homogeneous shifts in EQ values throughout the region. Using the projected statistics of IPCC for Southern Europe, the climatic shift until 2080 was calculated as +11 ΔEQ . Subtracting this shift from the distribution limit value of 29 EQ (Table 1) it is suggested that at locations with current EQ values below 29 – 11 $\approx$ 18 ~ 20 EQ, beech may survive, even if under stress. The larger part of the distributional range at higher elevations falls into this group.

Table 3. Expected changes of climatic conditions by 2050 and estimated climatic niche change of zonal beech stands (Δ beech) in Hungary. Projected changes in summer half year temperature (ΔT_s °C) and precipitation (ΔP_s , percents) are shown for six IPCC AR4 climatic scenarios (extracted from Czúcz et al., 2011)

Preglednica 3. Pričakovane spremembe podnebnih značilnosti do leta 2050 z oceno spremembe kimske niše zonalnih bukovih gozdov (Δ beech) na Madžarskem. Projekcije sprememb polletnih temperatur v poletnem obdobju (ΔT_s °C) in padavin (ΔP_s , v odstotkih) s prikazom šestih IPCC AR4 scenarev spreminjanja podnebnih razmer (povzeto po Czúcz in sod., 2011)

	HADCM3 A2	HADCM3 A1B	HADCM3 B1	CNRM3 A2	CSMK3 A2	GFCM21 A2
ΔT_s	+ 2.9	+ 3.3	+ 2.6	+ 2.4	+ 1.8	+ 2.1
ΔP_s	-13.4%	-10.9%	-12.4%	-9.6%	+ 0.4%	-11.4%
Δ beech	97 - 99 %	94 - 99 %	97 - 99 %	97 - 99 %	56 - 96 %	92 - 99 %

On the contrary, at the low-elevation xeric limits *EQ* would rise in 2080 from 29 to 40 *EQ*. Theoretically, a part of these populations could survive as well, if experiencing less than +13 ΔEQ change as indicated above, assuming that no extreme events and subsequent pests, epidemics occur. This assumption seems however rather unrealistic.

It has to be emphasized that responses were measured within the present distribution range of beech; there is no test site outside the xeric limits (which is a deplorable, but understandable drawback of the provenance test series). It is therefore impossible to formulate a more realistic estimate based on transfer analysis for the locations close to the limits.

RESPONSES VALIDATED BY FIELD OBSERVATIONS

The future frequency of drought events has been analysed for the territory of Hungary. The projected frequency of drought summers (precipitation decline exceeding 15 % of the seasonal mean) were calculated with MPI's REMO regional climate model (Figure 8). It is highly remarkable that from 2060 onward, the model projects at least one occasion per decade when 3 or more consecutive years with drought summers will happen, while only three such periods are projected for the first half of the century. Although droughts hit usually regionally, the predicted drought frequency may have an impact on the most part of the investigated low-elevation beech area at least once during the century. The close link between extreme events and pest outbreaks exacerbate the expected damages (Figures 6, 7). Drought will have its effect also on natural regeneration of stands as well (Czajkowski et al., 2005). These results support the grim outcome of the bioclimatic forecast for the second half of the century.

Concluding, the outcome of the projections indicates a high level of uncertainty regarding the future of common beech in Southeast Europe. According to the bioclimate approach 56 – 99 % of present-day zonal beech forests might be outside their optimal climatic niche by 2050. The extrapolations of field observations on "drought plots" at the xeric limit also point toward a nearly complete loss of all beech stands in course of the century. Both analyses

were carried out predominantly in mature stands. For the transfer analysis performed on common garden populations only juvenile, 10 year old saplings were available. This approach confirmed the stability of mountain populations of SE Europe in the future but provided no clues for the low-elevation zone close to the xeric limit. Although plasticity may support adaptation potential to a certain limit, the part of the SE European continental range of beech where *EQ* values are currently above 20, has to be considered as a climatically threatened zone and respective precautionary measures should be taken.

CAVEATS OF INTERPRETATION OF THE RESULTS

Numerous studies (Gessler et al., 2007; Hlásny, Turčáni, 2009; Kremer et al., 2010; Lindner et al., 2010) and also IPCC's 2007 report forecast a decline in growth and production of forest stands for East Europe. This projection is not measurable yet as a general trend (e.g. Somogyi, 2008) although significant warming of the climate was already taking place. It should be noted that one reason for the missing evidence for gradually worsening vitality of common beech in Southeast Europe has to be sought probably in the improper contents of datasets. Analyses are usually based on large-scale forest inventory data or wide-mesh monitoring points which are not precise enough to trace complex effects of opposing trends of environmental effects acting simultaneously across climatic gradients. For example, an international monitoring program (ICP Forests²) has gathered in Europe an immense body of information about the decline of tree health, including beech. The data have been of limited use for modelling trends because of low representation of threatened regions; there are too few sample points and insufficient ecological and genetic background data (Mátyás, 2010).

A general bias of both statistical and process-based modelling is caused by assuming actual limits of beech being in equilibrium with the ecological niche. This may imply

2 International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests

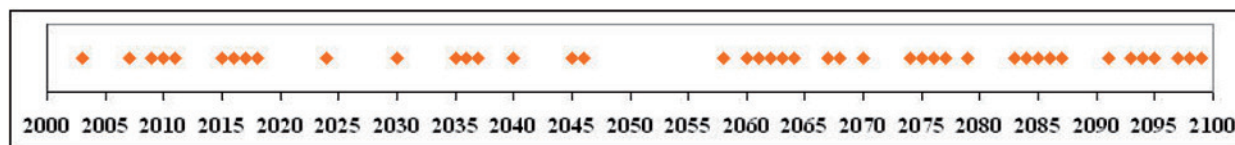


Figure 8. Frequency of consecutive drought events for Hungary, according to scenario A1B, based on results of the REMO model. Symbols depict years of droughty summers (Gálos et al., 2007)

Slika 8. Pogostost pojavljanja zaporednih sušnih dogodkov za Madžarsko, glede na scenarij klimatskih sprememb A1B, pridobljen z modelom RESO. Simboli predstavljajo predvidena leta v katerih predvidevamo sušna poletja (Gálos in sod., 2007)

an instant breakdown if climate conditions change ("decoupling") which is obviously not the case. For example, if distribution of beech in Hungary would have been in ecological equilibrium, the present area of beech should have shrunk to its half during the 20th century, following a mean temperature increase of approx. 0.6°C. This extent of area contraction did not happen, although the mass mortality events in the SW part of the range were located in this zone (Mátyás et al., 2010b).

Projection of limits of genetically and ecologically set climatic tolerance has numerous additional constraints. For better interpretation of the results of this study the following ones are highlighted: the hidden effects of ecological interactions, the consequence of human interactions in determining distribution patterns, the role of persistence, plasticity and natural selection, and uncertainties of climate projections, especially of precipitation conditions.

Genetically set (potential) tolerance limits are per definitionem wider than realized actual ones. It is a well known ecological rule that actual distributions of species are regulated by complex, often hidden interactions between host, competitors and consumers which may modify tolerance limits. The change of climatic environment affects also consuming and pathogenic organisms; the selection pressure by consumers may be rearranged. Forecasts are unreliable in this respect, because previously unknown pests and diseases may appear or harmless ones may change their virulence any time.

Modelling of adaptive response fails to regard not only biotic interactions and migration limitations (Jeschke, Strayer, 2008; Jump et al., 2009) but especially human interference such as planned forest management. Planned forestry means that the structure, species composition and demography conditions of forests are determined by current management concepts, strategies and laws. Spontaneous processes are suppressed or tolerated only as far as they fit into the accepted strategies (Mátyás et al., 2010a).

Models based on bioclimate data do not consider the intrinsic persistence of tree species, which is mostly linked to longevity. The actual absence of seeding and reproduction may also mislead locally, as reproduction may happen anytime during the century-long lifetime of a tree, if suitable weather conditions favour it. In addition the extent of plasticity forest trees can rely on is still insufficiently known (see in detail in: Mátyás et al., 2010a).

At the same time the results of the common garden tests support the opinion that predicted climatic changes may lead to production increase in the central-northern part of the range and at higher elevations due to the plasticity of the species (Mátyás et al., 2010a). It is strongly caution-

ned however from overestimating the plasticity potential in regions close to the lower (xeric) limit of the range.

Present ecological models of phenotypic behaviour usually treat temperate tree species, including common beech as monolithic, genetically uniform entities (e.g. Kramer, 1994; Chuine et al., 2003; Czúcz et al., 2011) and necessarily disregard within-species adaptive genetic differentiation. It is a general problem of bioclimatic models that consequences of genetic selection and adaptation is still not properly handled (Jeschke, Strayer, 2008; Mátyás, 2010; Lindner et al., 2010). The expectation that populations under extreme climatic stress may acclimate and genetically adapt infinitely is deceptive, as resources for adaptation and plasticity cannot be extended beyond the limitations set by the genetic system of species (see Figure 3 and 6), and this is valid for beech as well.

Bioclimatic models usually do not count with the effects of extreme weather events, which have shaped also the past distribution ranges. Also, the limited precision of predicted precipitation changes are not stressed enough. This is of special significance in particular at low elevation plains and hills which are extremely sensitive to relatively minor humidity variations. For example, Hungary lies very close to the climatic division line separating areas of increasing (N. Europe) and decreasing (S. Europe) precipitation both in summer and winter (Christensen et al., 2007). Close to the xeric limits, relatively slight deviations in the climate pattern may seriously affect summer precipitation dependent beech. This is illustrated by the projections calculated from the different climatic scenarios (Table 3). The CSMK3 scenario predicts no decrease in summer rainfall, which affects the projection significantly. The effect of relatively minor changes visualises the uncertainty of projections generated by potential reversion of precipitation trends. Further details on uncertainties of projections may be found in Mátyás (2009), Czúcz et al. (2011), and Mátyás et al. (2010a).

FINAL CONCLUSIONS

Summing it up, projections into the far future may be biased by a number of uncertainties, first of all by the uncertainty of climate projections themselves. This part lies however beyond the expertise of a forester. Taking the ensemble of deductions of current, fairly deviating projections for granted, the comparison of very different approaches confirm the probability of serious climate impacts on distribution, health and productivity of common beech. These effects will appear nonetheless differentiated, according to the ecological and genetic status of local beech occurrences. It is also important to note that contrary to mortality events and health decline along the

xeric limits of the species, “compensatory” colonisation at the thermic (or front) limits, as projected by ecological models, will not happen spontaneously because of human obstacles to colonisation and due to the fairly low migration speed of beech compared to other deciduous species (Davis, 1981; Mátyás, 2009; Jump et al., 2009).

The verification of the existence of macroclimatic adaptation patterns justifies genetically based regulations for use of reproductive material. Regarding the sensitivity of beech to macroclimatic changes, the results show that adaptive pattern and plasticity of the species is fairly comparable to better explored conifer species such as pines, spruces. Observations of mortality events close to the lower (xeric) limit of the species indicate that stability and vitality of populations depend not only on shifts in climatic means. Extreme weather events (droughts) may weaken physiological condition of populations relatively fast and may lead to insect and disease outbreaks also in regions generally suitable for the species. Differences in growth performance and plasticity of provenances left unexplained by macroclimatic factors sustain earlier assumptions that local genetic differentiations also exist (“ecotypes?”) and maybe also epigenetic effects (Mátyás et al., 2010a). It seems that in common beech, local differentiation co-exists with macroclimatic adaptation and with well developed plasticity.

The shrinking of future distribution of common beech as suggested by various bioclimatic models (e.g. Thuiller et al., 2005; Czúcz et al., 2011) represent probably pessimistic scenarios which may be somewhat alleviated not only by the mentioned features but also by prudent human support (e.g. artificial regeneration and other silvicultural measures). In the major part of the range the predicted changes will not trigger any decline due to the plasticity of the species: the predicted “decoupling” (Jump, Penuelas, 2005) is improbable. It would be however misleading to expect the same level of persistence and plasticity at the threatened xeric limits as across the rest of the range.

Therefore the forecasts have to be taken serious close to the xeric limits, and especially at low elevations. Field observations near the retracting distributional limits confirm that the decline process is ongoing in many locations (Penuelas et al., 2007; Berki et al., 2009). Considering the rapid shrinking of suitable bioclimatic space and the increasing selection pressure of abiotic and biotic stressors at the xeric limits, the results underline the importance of adaptive strategies both for management and conservation of forest resources. This calls also for relevant, well designed field studies and further development of prediction methods and modelling (Mátyás, 2010).

The results of this study may contribute to the adjustment of adaptation and mitigation policy in forestry and nature conservation, to the revision of rules for deployment of reproductive material and also to validating evolutionary and ecological hypotheses related to climate change effects.

ACKNOWLEDGEMENTS

The financial support of the TÁMOP 4.2.2-08 joint EU-national research project and of EVOLTREE Network of Excellence is acknowledged. Special thanks to dr. Tine Grebenc and dr. Gregor Božič for Slovenian translation.

REFERENCES

1. **Berki I., Rasztoivits E., Móríc N., Mátyás Cs. (2009)** Determination of the drought tolerance limit of beech forests and forecasting their future distribution in Hungary. *Cereal Research Communications*, 37: 613-616
2. **Belmonte J., Alarcón M., Avila A., Scialabba E., Pino D. (2008)** Long-range transport of beech (*Fagus sylvatica* L.) pollen to Catalonia (north-eastern Spain) *Int. J. Biometeorol.*, 52: 675–687
3. **Bolte A., Czajkowski T., Kompa T. (2007)** The north-eastern distribution range of European beech – a review. *Forestry*, 80: 4, 413-429
4. **Christensen J.H., Hewitson B., Busuioc A., Chen A., Gao X., Held I., et al. (2007)** Regional Climate Projections. V: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon S (Ur.), Qin D (Ur.), Manning M (Ur.), Chen Z (Ur.), Marquis M (Ur.), Averyt KB (Ur.), Tignor M (Ur.), Miller HL (Ur.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 747-845
5. **Chaine I., Kramer K., Hänninen H. (2003)** Plant development models. V: Phenology: an integrative environmental science. Schwartz MD (Ur.), Kluwer Ac. Publ., 217-235
6. **Clausen J., Keck D.D., Hiesey W.W. (1940)** Experimental studies on the nature of species. Vol I and II-IV (the additional volumes published in 1945, 1948, 1958) Carnegie Inst. Publ. Nr 520, Washington D.C.
7. **Comps B., Mátyás Cs., Geburek T., Letouzey J. (1998)** Genetic variation in beech populations along the Alp chain and in the Hungarian basin. *Forest Genetics*, 5 (1): 1-9
8. **Czajkowski T., Kuhling M., Bolte A. (2005)** Einfluss der Sommer-trockenheit im Jahre 2003 auf das Wachstum von Naturverjüngungen der Buche (*Fagus sylvatica* L.) im nordöstlichen Mitteleuropa, *Allg. Forst- u. Jagdztg.*, 176: 133-143
9. **Czúcz B., Gálhidy L., Mátyás Cs. (2011)** Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe. *Ann. of Forest Sci.*, 68 (1): 99-108
10. **Davis M. (1981)** Quaternary history and stability of forest communities. V: Forest succession: concept and application. West DC, et al., (Ur.), Springer, New York, 132-153
11. **Ellenberg H. (1988)** Vegetation ecology of Central Europe, 4th ed., Cambridge University Press
12. **Fang J., Lechowicz M.J. (2006)** Climatic limits for the present distribution of beech (*Fagus* L.) species in the world, *J. Biogeogr.*, 33: 1804-1819
13. **Finkeldey R., Hattermer H.H. (2010)** Genetische variation in Wäldern – Wo stehen wir? (Genetic variation in forests – state of the art). *Forstarchiv*, 81: 123-129
14. **Führer E., Rasztoivits E., Csóka Gy., Lakatos F., Bordács S., Nagy L., Mátyás Cs. (2009)** Current status of European beech (*Fagus sylvatica* L.) genetic resources in Hungary. *Comm. Inst. Forest. Bohem., Praha* (in print)

15. Gálos B., Lorenz Ph., Jacob D. (2007) Will dry events occur more often in Hungary in the future? Env. Res. Letters, 2: doi: 10.1088/1748-9326/2/3/034006
16. Gessler A., Keitel C., Kreuzwieser J., Matyssek R., Seiler W., Rennenberg H. (2007) Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. Trees – Structure and Function, 21: 1-11
17. Gömöry D. (2009) Geographic patterns in the reactions of beech provenances to transfer. Report for COST E52 meeting, Thessaloniki, Greece (manuscript), 8 p
18. Gömöry D., Paule L. (2010) Reticulate evolution patterns in western-Eurasian beeches. Botanica Helv., 120: 63-74
19. Hlásny T., Turčáni M. (2009) Insect pests as climate change driven disturbances in forest ecosystems. V: Biod climatology and natural hazards. Strelcová K (Ur.), Mátyás C (Ur.), Kleidon A (Ur.), et al. Springer, Berlin
20. Hothorn T., Hornik K., Zeileis A. (2006) Unbiased recursive partitioning: a conditional inference framework. J. Comput. Graph. Stat., 15: 651-674
21. Jazbec A., Segotič K., Ivanković M., Marjanović H., Perić S. (2007) Ranking of European beech provenances in Croatia using statistical analysis and analytical hierarchy process. Forestry, 80 (2): 151-162
22. Jeschke J.M., Strayer D.L. (2008) Usefulness of bioclimatic models for studying climate change and invasive species. v: The year in Ecology and conservation. Ostfield RS (Ur.), Schlesinger WH (Ur.). Ann. New York Ac. Sci., Boston, 1134: 1-24
23. Jump A.S., Peñuelas J. (2005) Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. Ecology Lett., 8: 1010-1020
24. Jump A.S., Mátyás Cs., Peñuelas J. (2009) The paradox of altitude for latitude comparisons in species range retractions. (Review) Trends in Ecology and Evolution, 24 (12): 694-700, doi: 10.1016/j.tree.2009.06.007
25. Kleinschmidt J., Svolba J. (1995) Results of the Krahel-Urban beech provenance experiments 1951, 1954, and 1959 in Northern Germany. V: Genetics and silviculture of beech. Proc. 5th IUFRO Beech Symp. Madsen S (Ur.), Danish Forest and Landscape Res. Inst., For skningsserien, 11/1995, 15-34
26. Kölling C. (2007) Klimahüllen von 27 Waldbaumarten. AFZ - der Wald, 23: 1242-1244
27. Kramer K. (1994) Selecting a model to predict the onset of growth of *Fagus sylvatica*. J. of Appl. Ecology, 31: 172-181
28. Kramer K., Degen B., Buschbom J., Hickler T., Thuiller W., Sykes M., de Winter W. (2010) Modelling exploration of the future of European beech (*Fagus sylvatica* L.) under climate change – Range, abundance, genetic diversity and adaptive response. For. Ecol. Managem., 259: 2213-2222
29. Lakatos F., Molnár M. (2009) Mass mortality of beech on Southwest Hungary. Acta Silvatica & Ligniaria Hung., 5: 75-82
30. Lindner M., and 11 further authors (2010) Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. For. Ecol. Managem., 259 (4): 698-709
31. Magri D., Vendramin G.G., Comps B., and 11 further authors (2006) A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: paleobotanical evidence and genetic consequences. New Phytologist, 171: 199-222
32. Mátyás Cs. (1994) Modelling climate change effects with provenance test data. Tree Physiology, 14: 797-804
33. Mátyás Cs. (1996) Climatic adaptation of trees: Rediscovering provenance tests. Euphytica, 92: 45-54
34. Mátyás Cs. (2007) What do field trials tell about the future use of forest reproductive material? V: Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. Koskela J (Ur.), Buck A (Ur.) Teissier du Cros E. (Ur.), Bioversity International, Rome, 53-69
35. Mátyás Cs. (2009) Ecological challenges of climate change in Europe's continental, drought-threatened Southeast. V: Regional aspects of climate-terrestrial-hydrologic interactions in non-boreal Eastern Europe. Groisman PY (Ur.) Ivanov SV (Ur.), NATO Science Series, Springer Verl., 35-46
36. Mátyás Cs. (2010) Forecasts needed for retreating forests (Opinion) Nature, 464: 1271
37. Mátyás Cs., Božič G., Gömöry D., Ivanković M., Rasztoivits E. (2009a) Juvenile growth response of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) to sudden change of climatic environment in SE European trials. iForests, Florence, 2: 213-220, doi: 10.3832/ifer0519-002
38. Mátyás Cs., Vendramin G.G., Fady B. (2009b) Forests at the limit: evolutionary-genetic consequences of environmental changes at the receding (xeric) edge of distribution. Ann. of Forest Sci., 66: 800-803
39. Mátyás Cs., Borovics A., Nagy L., Ujvári-Jármay É. (2010a) Genetically set response of trees to climatic change, with special regard to the xeric (retreating) limits. Forstarchiv, Hannover, 81: 130-141, doi 10.2376/0300
40. Mátyás Cs., Berkil I., Czúcz B., Gálos B., Móríc N., Rasztoivits E. (2010b) Future of beech in Southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology. Acta Silv. & Lign. Hung., 6: 91-110
41. Muhs H.J., Wuehlisch G. von (1993) Research on the evaluation of forest genetic resources of beech - a proposal for a long-range experiment. V: The scientific basis for the evaluation of forest genetic resources of beech. Muhs H-J (Ur.), Wuehlisch G von (Ur.), Proc. of an EC workshop, Ahrensburg, W. doc. for the EC, DG VI, Brussels, 257-261
42. Peñuelas J., Ogaya R., Boada M., Jump A.S. (2007) Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain). Ecography 30: 829-837
43. Somogyi Z. (2008) Recent trends of tree growth in relation to climate change in Hungary. Acta Silv. & Lign. Hung., 4: 17-27
44. Thuiller W., Richardson D.M., Pyšek P., Midgley G.F., Hughes G.O., Rouget M. (2005) Niche-based modelling as a tool for predicting the risk of alien plant invasions at a global scale. Global Change Biol., 11: 2234-2250
45. Worral J.J., Egeland L., Eager T., Mask R.A., Johnson E.W., Kemp P.A., Shepperd W.D. (2008) Rapid mortality of *Populus tremuloides* in Southwestern Colorado, USA. For. Ecol. Managem., 255: 686-696
46. Wühlisch G. von, Krusche D., Muhs H.J. (1995) Variation in temperature sum requirement for flushing of beech provenances. Silv. Genet., 44: 343-346
47. Wühlisch G. von (2007) Series of international provenance trials of European beech. V: Improvement and Silviculture of Beech, Proc. the 7th Intern. Beech Symp. IUFRO Res. Gr. 1.10.00, RIFR, Teheran, Iran, 135-144

IZBRANI PRIMERI ŠTUDIJE BIOTSKE RAZNOVRSTNOSTI GOZDNIH EKOSISTEMOV NA GENSKI, VRSTNI IN HABITATNI RAVNI

Case studies of forest ecosystem biodiversity assessment at gene, species and habitat level

Povzetek: Slovenija je ena najbolj gozdnatih držav v Evropi, v ta namen smo prikazali in izpostavili nekaj primerov ocene raznovrstnosti oziroma pridobivanja izvirnih podatkov za ocene pestrosti. Ocene biotske raznovrstnosti izbranih sestojev ali habitatov kažejo na visoko biotsko raznovrstnost na vseh opazovanih ravneh. Ločevanje osebkov in ocene pestrosti na habitatnem in vrstnem nivoju je splošno razširjeno in tesno vezano na morfološki koncept vrste. Pristop s pomočjo analize pestrosti enega ali več molekularnih markerjev omogoča pridobivanje velike količine podatkov, neodvisno od taksonomske skupine, ki jo analiziramo. Kritično ovrednotenje posameznega pristopa glede na raven pridobivanja informacije (habitat, vrsta ali gen) kaže, da so vsi pristopi primerni za uporabo v študijah biotske raznovrstnosti in nam omogočajo aplikacije v gozdarstvu.

Ključne besede: biotska raznovrstnost gozda, habitatni tip, mikoriza, načrtovanje gospodarjenja, velike prostoživeče živali, vegetacija

Summary: Slovenia is among the most forested countries in Europe. For this purpose we aimed present and validate several approaches biodiversity assessment. Preliminary estimations of biodiversity in forest ecosystems indicate high values at all applied levels. At the habitat and at the species level, species identification and species concept applied is crucial. Applying diversity analysis of one or more molecular markers enables us to obtain a large amount of data and can be applied for any taxonomic group. A critical evaluation of each approach (habitat, species, gene level) indicates reliable results at all levels of biodiversity assessment and results in information with applied consequences in forestry.

Keywords: forest biodiversity, habitat type, mycorrhiza, management planning, large game, vegetation

UVOD

Slovenija je s 60,3 % ena najbolj gozdnatih držav v Evropi z visoko stopnjo pestrosti flore in favne kot posledice delovanja različnih klimatskih vplivov, reliefne in geološke pestrosti in ne nazadnje delovanja človeka (MKGP, 2008. Projekt Raba zemljišč). Kot eno od možnosti ocene biotske raznovrstnosti gozda lahko analiziramo pestrost bio-

komponente ekosistema na več ravneh tako, da ločeno analiziramo pestrost habitatov, vrst in genov. V nadaljevanju obravnavamo primere značilnosti prevladujočih EU gozdnih habitatnih tipov v Sloveniji, vrstno pestrost ekto-mikoriznih gliv in primere analiz genske pestrosti divjega petelina, črnega topola ter rodu vrst gliv.

Habitatni tip je rastlinska in živalska združba, ki predstavlja značilni živi del ekosistema in je povezana z neživimi dejavniki (tla, podnebje, prisotnost in kakovost vode, svetlobe, itd.) na prostorsko opredeljenem območju. Kot takega ga vključujemo k pojmu biotske raznovrstnosti, saj opre-

* dr., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, e-pošta: tine.grebenc@gozdis.si

** dr., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

deljuje raznovrstnost ekosistema kot celote. Habitatne tipe uvrščamo v različne hierarhične sisteme in jih lahko po različnih kriterijih razmeroma jasno ločimo od drugih (Devillers in Devillers-Teschuren, 1996; Habitatna direktiva, 1992; EUNIS 2004, Jogan in sod., 2004). Čeprav za gozdne habitatne tipe (Habitatna direktiva, 1992; Natura 2000) veljajo določene splošne značilnosti (European Commission, 2007), pa zaradi lokalnih in regionalnih posebnosti lahko na njihovem celotnem arealu prihaja do določenih razlik. Eden najbolj razširjenih gozdnih habitatnih tipov v Evropi so Srednjeevropski kisloljubni bukovi gozdovi (habitatni tip 9110), katerih areal se razteza vse od španskih Pirenejev, prek srednje Evrope do Švedske in Baltskih držav na severu (European Commission, 2007; Ellmauer, 2005; Thauront, Stallegger, 2008). Poleg habitatnega tipa 9110, ki pokriva približno 9 % površine gozdov v Sloveniji, sta druga dva pogostejša habitatna tipa 91K0-Ilirski bukovi gozdovi (*Anemonio-Fagion*) (76 % površine gozdov) in 91L0-Ilirski hrastovo-belogabrovi gozdovi (*Erythronio-Carpinion*) (7 %) (Habitatna direktiva, 1992; Kutnar in sod., 2009, 2011).

Poznavanje pestrosti na vrstnem nivoju je tesno povezano s konceptom vrste, ki ga uporabljamo in je nujen za ločevanje vrst, glede na postavljene kriterije (De Queiroz, 2007). Poznavanje vrst je nujno v primeru uporabe organizmov v indikatorske namene, kot na primer pri mikrobioidikaciji, pristopu, kjer za potrebe indikacij sprememb v okolju uporabljamo pojavljanje in zabeležene spremembe v združbi (vrstni sestavi in številu posamezne vrste) ekotomikoriznih vrst gliv (Kraigher in sod., 1996). Metodologijo lahko uporabljamo tudi za primerjave različnih rastišč in pomena le-teh za biotsko raznovrstnost gozdnih tal.

Raziskave pestrosti na genskem nivoju sodijo med moderne pristope z visoko informacijsko vrednostjo. Analize genetskih markerjev za namen ugotavljanja pestrosti in primernosti metode smo uporabili na predstavnikih divjadi, vrste gozdnega drevja in izbranih vrst podzemnih gliv. Divji petelin (*Tetrao urogallus* L.), ki živi v zmernem pasu Evrope le še v habitatnih gozdovih v gorskih masivih, prekinjenih z dolinami, je zaradi vse intenzivnejše rabe in spreminjanja gozdnega prostora ter zaradi spreminjanja iglastih gozdov v bolj listnate zaradi klimatskih sprememb, otoplitev in onesnaženja zraka (Čas, 2006) ogrožena živalska vrsta (Ur. L. RS 1993/57). Divji petelin pa je marsikje v Evropi prisoten le še zaradi umetne naselitve. V Sloveniji se pojavljata dve, genetsko še ne opredeljeni populaciji. Alpsko populacijo predstavlja največja podvrsta *T.u. major*, v manjši meri pa populacija s področja Dinaridov. Z analizami nukleotidnih zaporedij variabilnih domen (genov) v mitohondrijski DNK smo želeli ugotoviti morebitne razlike med danes ločenima populacijama ter

prikazati aplikacijo rezultatov kot praktičen primer izdelave smernic za dolgoročno izboljšanje habitatnih razmer in revitalizacijo populacij. Kot primer analize drevesnih vrst na ravni genske pestrosti smo analizirali populacije avtohtonega evropskega črnega topola (*Populus nigra* L.) s področja JZ areala vrste v Sloveniji. Namen naloge je bil analizirati genetsko strukturo črnega topola vzdolž izbranih rek. V analizo smo v izbranem prostoru zajeli šest genomskih markerjev, ki omogočajo zadovoljivo ločevanje na nivoju populacij in posameznih osebkov (Van der Schoot, 2000). Analize skupin osebkov na podvrstnem nivoju nam tako omogočajo razkritja struktur populacij, iskanje refugij in analize vzrokov za današnjo razprostranjenost, kot na primeru izbranih vrst podzemnih gliv (Grebenc in sod., 2010).

Z večnivojskim pristopanjem k analizi biotske raznovrstnosti bomo analizirali večji del dejavnikov, ki vplivajo na biotsko raznovrstnost gozdnih ekosistemov in posledično vplivajo na funkcije gozda in optimalno zagotavljajo izvajanje njegovih ekoloških, gospodarskih in socialnih komponent vključno z ozaveščanjem ljudi o njihovem pomenu.

METODOLOGIJA

Vsak od pristopov in vsaka skupina analiziranih organizmov ali združb ima specifične pristope k reprezentativnemu vzorčenju kvalitativnih vzorcev, ki omogočajo nadaljnje analize.

Za analize habitatnih tipov v Sloveniji (Habitatna direktiva, 1992; Kutnar in sod., 2009, 2011) smo iz vseh EU gozdnih tipov izbrali površinsko prevladujoče habitatne tipe: 91K0-Ilirski bukovi gozdovi, 9110-Srednjeevropski kisloljubni bukovi gozdovi in 91L0-Ilirski hrastovo-belogabrovi gozdovi. Razlike in podobnosti med njimi smo opredelili na osnovi 34 pripadajočih gozdnih združb in 38 izbranih parametrov (fitogeografsko območje (6 parametrov), višinski pas (3), geološka matična podlaga (3) in značilne drevesne vrste (26)). Za karakterizacijo in opis gozdnih združb smo uporabili različno fitocenološko literaturo. Za analizo habitatnih tipov smo uporabili programski paket PC-ORD 5.32 (McCune, Mefford, 2006), s katerim smo ugotavljali indikatorsko vrednost posameznega parametra (Dufrene, Legendre, 1997).

Vzorčenje za analize združb mikoriznih gliv poteka po postopkih, opisanih v Kraigher (1996) in Grebenc in sod. (2009). Podrobne sheme vzorčenja za genetske analize, metodologija in statistične analize rezultatov so opisane v Čas (2006) in Bajc in sod. (2011) za divjega petelina, v Božič in sod. (2003) za analize populacij drevesnih vrst, ter v Grebenc in sod. (2009) za glive.

Za študije genske pestrosti pri divjem petelinu smo vzorčili rastišča na področju celotne Slovenije (Čas, 2006). Vzorčenje beljakovinskih tkiv (iztrebki, odpadla peresa) smo izvedli v spomladanskem času paritve (rastitve) divjega petelina prek lovskih družin (Lovska zveza Slovenije) in lovišč s posebnim namenom (Zavod za gozdove Slovenije). V analizah znotraj vrstne genske pestrosti gliv smo uporabili materiale s celotnega areala izbranih vrst (Grebenc in sod., 2010). V analize genske pestrosti evropskega črnega topola (*Populus nigra* L.) smo zajeli vzorec 18 odraslih dreves ozkega geografskega področja JZ Slovenije, in sicer 4 drevesa v povodju reke Reke na lokaciji Movraž, 3 ob Osapski reki v Ospu, 5 v dolini reke Glinščice na lokaciji Prešnica-Škofljek ter 6 dreves ob obrežnem pasu reke Dragonje. Raziskavo genetskih značilnosti črnega topola smo izvedli z metodo analize 6 mikrosatelitov WPMS16, WPMS20, WPMS14, PMGC14, WPMS09, WPMS18 po postopkih Van der Schoot in sod. (2000) ter Smulders in sod. (2001). Genetsko variabilnost znotraj populacije smo ocenili s parametri: delež polimorfnihi lokusov (P %), povprečnim številom alelov na polimorfen lokus (na), povprečnim številom učinkovitih alelov na polimorfen lokus (ne), parametrom heterozigotnosti (izražena kot stopnja dejanske heterozigotnosti (H_o) in stopnjo pričakovane heterozigotnosti (H_e)) ter oceno koeficienta inbreedinga (F), ki nakazuje, v kakšnem obsegu se dejanski heterozigotni deleži populacije razlikujejo od pričakovanih heterozigotnih deležev, ki nastanejo pri panmiktčni oplodnji. Za preverjanje, kako se v populaciji ugotovljene frekvence genotipov pri posameznih lokusih ujemajo s frekvencami genotipov, pričakovanimi po Hardy-Weinbergovem ravnotežju, smo uporabili $hi2$ test po posameznih genskih lokusih. Za izračun parametrov variabilnosti znotraj populacije smo uporabili program GenAlEx 6.1 (Peakall in Smouse, 2006).

REZULTATI IN DISKUSIJA

Biotsko raznovrstnost lahko analiziramo na več nivojih in sledeč več konceptom. V nadaljevanju prikazujemo rezultate ter bistvene prednosti in slabosti izbranih študijskih primerov analize biotske raznovrstnosti na ravni habitatov, vrst ter genov.

Z analizo indikatorske vrednosti fitogeografskih območij in relativnih indikatorskih vrednosti za posamezen parameter na primeru analiziranih habitatnih tipov bukovja (preglednica 1), smo za izbrane habitatne tipe ugotovili, da je za tip 9110 (Srednjeevropski kisloljubni bukovji gozdovi) statistično značilno alpsko območje. Razmeroma visoko indikacijsko vrednost, vendar statistično neznačilno, ima za ta habitatni tip tudi predalpsko in preddinarsko območje. Podobno je dinarski element nekoliko bolj značilen za habitatni tip 91K0 (Ilirski bukovji gozdovi), medtem ko se habitatni tip 91L0 (Ilirski hrastovo-belogabrovi gozdovi) pogo-

steje pojavlja v subpanonskem in preddinarskem območju. Geološka podlaga ima pomembno indikacijsko vrednost, saj so vse skupine geološke matične podlage statistično značilne. Karbonatne kamnine so značilne predvsem za habitatni tip 91K0 in deloma tudi za 91L0, na nekarbonatnih kamninah pa dobimo predvsem habitatni tip 9110. Habitatni tip 91L0 pa se pogosteje pojavi tudi na mešanih kamninah. Drevesne vrste, ki dobro ločujejo habitatni tip (Ilirski hrastovo-belogabrovi gozdovi) od drugih dveh habitatnih tipov, so: maklen (*Acer campestre* L.), navadni ali beli gaber (*Carpinus betulus* L.), češnja (*Prunus avium* L.) in graden (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Vrste, ki jim lahko pripišemo večjo indikacijsko in diferencialno vrednost za habitatni tip 9110, so: pravi kostanj (*Castanea sativa* Mill.), navadna smreka (*Picea abies* (L.) Karsten), rdeči bor (*Pinus sylvestris* L.) in jerebika (*Sorbus aucuparia* L.). Vrsta, ki dobro ločuje habitatna tipa bukovij (91K0 in 9110) od Ilirskih hrastovo-belogabrovih gozdov, je le bukev (*Fagus sylvatica* L.). Habitatni tip 91K0 je zelo heterogen, kar se kaže tudi v velikem številu različnih pripadajočih združb. Značilno je, da habitatni tip 91K0 na robu svoje ekološke niše prehaja v druga dva habitatna tipa, zato se lahko v prehodnih združbah pojavljajo skupne vrste obeh mejnih habitatnih tipov. Ocene habitatnih tipov so pomembne z vidika spremljanja in vzdrževanja ugodnega ohranitvenega stanja in trajnostnega obstoja gozdov. Bistvena pri postopku ocenjevanja relativne indikatorske vrednosti in končne ocene habitatne pestrosti pa je tudi zanesljiva identifikacija.

Biotsko raznovrstnost na medvrstnem nivoju in izpeljane indekse pestrosti smo na več lokacijah analizirali na primeru pestrosti ektomikorize na bukvi (Grebenc in Kraigher, 2007; Grebenc in sod., 2009; Mašek in Grebenc, 2011). Ektomikorizo smo identificirali na vrstnem nivoju po anatomski metodi in z uporabo molekularnih markerjev. Uporaba molekularnih metod z ustrezno ločevalno močjo na nivoju vrst pri glivah tako bistveno dopolnjuje identifikacije tipov ektomikorize na vrstnem in omogoča tudi umeščanje v višje taksonomske enote. S tovrstnim pristopom lahko razširimo nabor znanih taksonov na vrste, katerih ektomikoriza še ni bila opisana (Kraigher, 1996) in posledično omogočimo ustreznejšo interpretacijo dobljenih rezultatov (glej tudi Grebenc in sod., 2009). Molekularni pristopi v tem primeru bistveno doprinesejo k natančnejši oceni biotske raznovrstnosti ektomikorize na izbranem gostitelju. Hkrati, z identifikacijo rastlinskega partnerja v ektomikorizi, molekularni pristopi olajšujejo izločanje taksonov gliv, ki se pojavljajo na koreninah drevesnih vrst, ki niso vključene v študije. Težava uporabe molekularnih metod pri ločevanju na nivoju vrst pa je konflikt konceptov vrste, saj identifikacije (gliv, rastlin, živali) temeljijo v veliki meri na morfološkem konceptu, medtem ko sama metoda molekularnih analiz izhaja iz filogenetskega koncepta vrste. Rezultati

Preglednica 1. Indikatorska vrednost parametrov (v %) po treh habitatnih tipih (91K0-Ilirski bukovi gozdovi, 9110-Srednjeevropski kisloljubni bukovi gozdovi in 91L0-Ilirski hrastovo-belogabrovi gozdovi)

*** = $p \leq 0,001$, ** = $0,001 < p \leq 0,010$, * = $0,010 < p \leq 0,050$, / = ni značilnih razlik

	Habitatni tip / Habitat type		91K0	9110	91L0	
	Število združb / No. of communities		23	6	5	
		Povprečje	%	%	%	p*
1	Alpsko območje / Alpine area	19	5	50	0	*
2	Dinarsko območje / Dinaric area	9	18	0	8	/
3	Submediteransko ob. / Submediterranean a.	6	3	6	8	/
4	Subpanonsko območje / Subpannonian a.	6	3	0	14	/
5	Predinarsko območje / Predinaric a.	14	8	21	13	/
6	Predalpsko območje / Prealpine a.	13	12	24	4	/
7	Višinski pas / Height belt 1 (0-500 m n.v.)	28	1	2	80	***
8	Višinski pas / Height belt 2 (501-1000 m n.v.)	24	20	51	0	*
9	Višinski pas 3 / Height belt (1001-1500 m n.v.)	13	39	0	0	/
10	Karbonatne kamnine / Carbonate rock base	30	52	0	36	***
11	Nekarbonatne kamnine / Non-carbonate r. b.	26	1	67	11	***
12	Mešane kamnine / Mixed rock base	26	3	24	53	*
13	<i>Abies alba</i>	14	28	14	0	/
14	<i>Acer campestre</i>	24	1	0	72	**
15	<i>Acer obtusatum</i>	1	4	0	0	/
16	<i>Acer platanooides</i>	3	9	0	0	/
17	<i>Acer pseudolatanus</i>	16	20	27	0	/
18	<i>Carpinus betulus</i>	30	2	0	88	***
19	<i>Castanea sativa</i>	14	0	36	6	*
20	<i>Fagus sylvatica</i>	33	50	50	0	***
21	<i>Fraxinus excelsior</i>	1	4	0	0	/
22	<i>Fraxinus ornus</i>	7	22	0	0	/
23	<i>Laburnum alpinum</i>	3	9	0	0	/
24	<i>Larix decidua</i>	7	22	0	0	/
25	<i>Ostrya carpinifolia</i>	9	18	0	8	/
26	<i>Picea abies</i>	29	29	59	0	***
27	<i>Pinus sylvestris</i>	20	1	59	0	**
28	<i>Prunus avium</i>	25	0	0	76	***
29	<i>Quercus cerris</i>	6	3	0	14	/
30	<i>Quercus petraea</i>	27	1	25	56	**
31	<i>Quercus pubescens</i>	7	0	0	20	/
32	<i>Quercus robur</i>	7	0	0	20	/
33	<i>Robinia pseudacacia</i>	7	0	0	20	/
34	<i>Sorbus aria</i>	6	17	0	0	/
35	<i>Sorbus aucuparia</i>	21	0	63	0	**
36	<i>Sorbus torminalis</i>	1	4	0	0	/
37	<i>Tilia sp.</i>	7	0	0	20	/
38	<i>Ulmus glabra</i>	6	17	0	0	/

obeh konceptov se lahko pri mnogih skupinah razhajajo, kar otežuje interpretacijo tovrstnih rezultatov.

Ugotavljanje pestrosti na genskem nivoju je vključevala tri različne skupine organizmov z bistveno razliko v velikosti analizirane populacije. Primer prostorsko najširše analizirane vrste za Slovenijo z uporabo genetskih markerjev je divji petelin. Izvirne podatke smo prikazali v Čas (2006) ter Bajc in sod. (2011). Raziskava distribucije in aktivnosti rastišč je v alpskem območju pokazala tri pomembne izolirane sub-populacije (Pohorje, Trnovski gozd, Hrušica) in v dinarskem dve (Snežnik in Kočevsko) (Čas, 2006; Čas in sod., v pripravi). Analiza habitatne primernosti gozdov in distribucije iz leta 2000 je potrdila znane in pokazala nove odločilne parametre habitatov (Čas, 2006). Genske analize znotraj vrstne pestrosti izbranih molekularnih markerjev, opravljene na osnovi zbranih recentnih vzorcev beljakovinskih tkiv divjega petelina iz alpske in dinarske populacije v Sloveniji so pokazala, da je genetska viabilnost in pestrost obeh populacij še stabilna. Vsi analizirani vzorci pripadajo podvrsti *Tetrao urogallus major* L. in v širšem pogledu (Bajc in sod., 2011) predstavljajo nadaljevanje populacij sosednjih pokrajin. Ugotavljamo tudi, da 40 letno obdobje prekinitve alpske in dinarske populacije v Sloveniji še ni vplivalo na genetsko diferenciacijo populacije, kljub temu pa lahko na osnovi dobljenih razlik, poleg bazičnega znanja o biotski pestrosti, izpeljemo bistvene usmeritve za gospodarjenje z vrsto. Predlagamo stabilizacijo populacij s prekinitvijo vrzeli med habitatnimi krpmi in z izboljšanjem habitatnih razmer tudi izven območij Natura 2000 ter s tem zagotovitev genetske izmenjave in viabilnosti populacij (Čas, 2010a; Bajc in sod., 2011b). Pomen pristopa bi bil širši, saj Slovenija pokriva evropsko pomembno specifično območje na robu alpske in dinarske distribucije divjega petelina oziroma na prehodu iz optimalnih v robne habitate in ogrožene fragmentirane habitatne krpe starih iglastih in mešanih gozdov. S tem bi

zagotovili vzpostavitev migracijskega koridorja na prekinjenem stiku genetske izmenjave med alpsko in dinarsko populacijo, ki sta glede na rezultate trenutnega stanja v robnem območju še viabilni oziroma v ugodnem stanju genetske pestrosti (Čas, 2006; 2010a; Bajc in sod., 2011). Še zadovoljivo stanje pa ogroža vse večja fragmentacija habitatov zaradi številnih dejavnikov zlasti zaradi klimatskih sprememb ter sečnje in spreminjanja gozdov, zaradi nenačrtne ekspanzije gorskega turizma ter zaradi številčnosti populacij plenilcev (Čas, 2010b). Uporabljena metoda se je na primeru divjega petelina pokazala kot primerna in dovolj informativna za potrebe ocenjevanja genetske pestrosti oziroma podobnosti in viabilnosti populacij.

Primer geografsko ozke analize genske pestrosti na primeru črnega topola je pokazala, da so vsi analizirani lokusi visoko polimorfni. Povprečno število alelov na polimorfen lokus v vzorčeni populaciji je 6,83, povprečno število efektivnih alelov pa 4,08. Povprečni dejanski delež heterozigotov v populaciji glede na vse analizirane lokuse (H_o) je 77,6 %, medtem ko je povprečna pričakovana heterozigotnost (H_e) 73,8 %. Najnižjo stopnjo heterozigotnosti je imel lokus PMGC14 (65,6 %), najvišjo pa lokus WPMS09 (83,4%) (Preglednica 2).

Izračunana povprečna ocena vrednosti (F) za vse lokuse skupaj nakazuje na manjši presežek heterozigotov oziroma na manjši primanjkljaj homozigotov v populaciji črnega topola, kar je lahko posledica dinamičnih rastiščnih razmer z močnejšimi selekcijskimi pritiski na tem območju njegove naravne razširjenosti v Sloveniji v primerjavi z drugimi deli Slovenije (Božič in sod., 2010). V vzorčeni populaciji se opažene frekvence genotipov pri vseh lokusih ujemajo s frekvencami genotipov, pričakovanimi po Hardy-Weinbergovem ravnotežju. Glede na preučevane genske lokuse menimo, da genetska struktura zrelih dreves črnega topola zagotavlja ohranitev genskih virov av-

Preglednica 2. Genetska variabilnost vzorčene populacije evropskega črnega topola s prikazom po lokusih in genskem skladu

Lokus	N	Na	Ne	H_o	H_e	F
WPMS16	18	7	4,291	0,944	0,767	-0,231
WPMS20	18	5	4,291	0,833	0,767	-0,087
WPMS14	18	7	4,127	0,778	0,758	-0,026
PMGC14	18	7	2,906	0,722	0,656	-0,101
WPMS09	17	8	6,021	0,765	0,834	0,083
WPMS18	18	7	2,817	0,611	0,645	0,053
Srednja vrednost	17,833	6,833	4,076	0,776	0,738	-0,052
Standardna napaka (SE)	0,167	0,401	0,477	0,045	0,030	0,047

N- število dreves v analizi

tohtonega črnega topola na njegovih rastiščih v povodju rek Glinščice, Reke, Osapske reke in Dragonje. Morebitna izguba dela genetske raznolikosti na posamezni lokaciji zato še ne bi bila ključna za ogrožanje preživetja črnega topola na tem območju. Pomembno nevarnost za preživetje vrste predstavlja predvsem spreminjanje in uničevanje za črni topol primernih habitatov vzdolž rek, potokov, ter kraških ravnin, ki jih zaznamuje okolje s specifičnimi in dinamičnimi rastiščnimi razmerami. Kljub ozki geografski razširjenosti analiziranih vzorcev smo lahko značilno potrdili ugodno stanje populacij z izbrano metodo analize genske pestrosti.

Pestrost na nivoju genov smo z uporabo ohranjenih molekularnih markerjev (ribosomalni DNK in medgenske regije) predhodno analizirali na primeru vrste ektomikoriznih gliv (gomoljik), specifično vezanih na gostitelje (Grebenc in sod., 2010). S široko zastavljenim vzorčenjem smo potrdili, da se lahko genska pestrost med populacijami pojavlja tudi kot posledica vpliva poledenodobnih migracij simbiotskih (drevesnih) partnerjev. Tovrstno znotraj vrstno pestrost na večjih geografskih razdaljah moramo upoštevati predvsem pri prenašanju biološkega materiala na daljše razdalje, kar je na primeru gomoljik oziroma sajenja inokuliranih sadik v Evropi realnost.

ZAKLJUČEK

Slovenija je ena najbolj gozdnatih držav v Evropi. Namen prispevka je bil prikazati ali izpostaviti nekaj primerov ocene raznovrstnosti oziroma pridobivanja izvirnih podatkov na ocene pestrosti, brez nadaljnjih izračunov indeksov pestrosti. Ocene biotske raznovrstnosti izbranih sestojev kažejo na visoko biotsko raznovrstnost na vseh opazovanih ravneh. Poznavanje značilnosti in pestrosti EU gozdnih habitatnih tipov (Habitatna direktiva, 1992; Natura 2000) je pomembno z vidika spremljanja in vzdrževanja njihovega ugodnega ohranitvenega stanja, ki zagotavlja njihov trajni obstoj na določenem območju. Koncept vrste in uporabljene metode lahko bistveno vplivajo na dobljene rezultate, vključno s finančnimi posledicami dobljenih ocen. Predvsem pri uporabi molekularnih markerjev je pomembna odločitev za uporabo ustreznega koncepta vrste že pri zastavitvi delovnih hipotez, saj uporaba na primer filogenetskega koncepta vrste lahko značilno poveča število odkritih vrst in zmanjša število osebkov v posamezni vrsti (Sites in Crandall, 1997; Myers in sod., 2000; Agapov in sod., 2004). Kritično ovrednotenje posameznega pristopa glede na raven pridobivanja informacije (habitat, vrsta ali gen) kaže, da so pristopi na vseh ravneh primerni za uporabo v študijah biotske raznovr-

stnosti gozdnih ekosistemov, dobljene rezultate pa lahko smiselno in uporabno vključimo tudi v gozdarsko prakso.

VIRI

1. **Agapow P.-M., Bininda-Emonds O.R.P., Crandall K.A., Gittleman J.L., Mace G.M., Marshall J.C., Purvis A. (2004)** The impact of species concept on biodiversity studies. *The quarterly review of biology*, 79, 2: 161-179
2. **Bajc M., Čas M., Ballian D., Kunovac S., Zubič G., Grubešić M., Zhelev P., Paule L., Grebenc T., Kraigher H. (2011)** Genetic differentiation of *Tetrao urogallus* L. highlights the importance of South-Eastern Europe for understanding phylogeography of the species. *PLOS* (oddano)
3. **Bajc M., Čas M., Grebenc T., Kraigher H. (2011b)** Genetic analyses of forest game in terms of threatened species and populations in Slovenia – case studies. *Les* 63 (ta številka)
4. **Božič G., Konnert M., Zupančič M., Kraigher H., Kreft I. (2003)** Genetska diferenciacija avtohtonih populacij smreke (*Picea abies* (L.) Karst.) v Sloveniji, ugotovljena z analizo izoencimov. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 71: 19-40
5. **Božič G., Heinze B., Kajba, D., Krystufek, V., Vandern Broeck A. (2010)** Genetic diversity in *Populus nigra* (L.) populations along rivers in Eastern Austria, Slovenia and Croatia as revealed by micro-satellite markers. V: *Poplars and willows: from research models to multipurpose trees for a bio-based society: book of abstracts*: 20-25 September 2010, Orvieto (Italy), 22
6. **Čas M. (2010a)** Ukrepi za obnovo habitatov divjega petelina in ohranjanje biodiverzitete gozdov v alpski in dinarski regiji v Sloveniji in ustvarjanje pogojev za ponovno povezavo Alpsko-Balkanske populacije. Ljubljana, 08.7. 2011, Gozdarski inštitut Slovenije. Koncept prijave projekta Life +, interno razposlan tipkopolis, 6 s.
7. **Čas M. (2010b)** Disturbances and predation on Capercaillie at leks in Alps and Dinaric mountains. *Šumarski list*, 134, 9/10: 487-495
8. **Čas M. (2006)** Fluctuation of Capercaillie (*Tetrao urogallus* L.) population in relation to past land use and forest structures in the South-East Alps. Dissertation. University of Ljubljana, Ljubljana. 263
9. **De Queiroz K. (2007)** Species concepts and species delimitation. *Systematic biology*, 56, 6:879–886
10. **Devillers P., Devillers-Teschuren J. (1996)** A classification of Palearctic habitats. *Nature and environment*, 78, 194
11. **Dufrene M., Legendre P. (1997)** Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67:345-366.
12. **Ellmauer T. (Ur.) (2005)** Entwicklung von Kriterien, Indikatoren und Schwellenwerten zur Beurteilung des Erhaltungszustandes der Natura 2000-Schutzgüter. Band 3: Lebensraumtypen des Anhangs I der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie. Im Auftrag der neun österreichischen Bundesländer, des Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Umweltbundesamt GmbH. 616
13. **EUNIS (2004)** EUNIS, Annex 1, Index numbers and names of all EUNIS Habitats 2004, 90
14. **European Commission (2007)** Interpretation Manual of European Union Habitats - EUR27. DG Environment. July 2007.
15. **Grebenc T., Christensen M., Vilhar U., Čater M., Martin M.P., Simončič P., Kraigher H. (2009)** Response of ectomycorrhizal community structure to gap opening in natural and managed temperate beech-dominated forests. *Canadian Journal of Forest Research* 39(7): 1375-1386
16. **Grebenc T., Bajc M., Kraigher H. (2010)** Poledenodobne migracije mikoriznih rastlin in glivnih partnerjev v simbiozi : primer rodu *Tuber*. *Les*, 62, 5: 149-154

17. **Grebenc T., Kraigher H. (2007)** Types of ectomycorrhiza of mature beech and spruce at ozone-fumigated and control forest plots. Environmental monitoring and assessment, 128, 1/3: 47-59
18. **Grebenc T., Martin M.P., Kraigher H. (2009)** Ribosomal ITS diversity among the European species of the genus *Hydnum* (*Hydnaceae*). Anales del Jardín Botánico de Madrid 66, 1: 121-132
19. **Habitatna direktiva (1992)** Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora
20. **Jogan N., Kaligarič M., Leskovar I., Seliškar A., Dobravec J. (2004)** Habitatni tipi Slovenije HTS 2004: tipologija. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 64
21. **Kraigher H., Batič, F., Agerer R. (1996)** Types of ectomycorrhizae and mycobioindication of forest site pollution. Phytion, 36, 3: 115-120
22. **Kutnar L., Matijašič D., Pisek R. (2009)** Kazalniki ugodnega ohranitvenega stanja gozdnih habitatnih tipov v Sloveniji. V: Trajnostna raba lesa v kontekstu sonaravnega gospodarjenja z gozdovi, (Studia forestalia Slovenica, 135). Humar M (Ur.), Kraigher H (Ur.), Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana, 11-18
23. **Kutnar L., Matijašič D., Pisek R. (2011)** Conservation status and potential threats to Natura 2000 forest habitats in Slovenia. Šumarski list (v pripravi)
24. **Mašek A., Grebenc T. (2011)** Ektomikoriza in drobne korenine bukve (*Fagus sylvatica* L.) v odraslih sestojih, mladju in na sadikah. Les 63, 5: 192-196
25. **McCune B., Mefford M. J. (2006)** PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 5.10. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, USA
26. **Myers N., Mittermeier R. A., Mittermeier C. G., da Fonseca G. A. B., Kent J. (2000)** Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature, 403: 853-858
27. **Peakall R., Smouse P.E. (2006)** GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. Molecular ecology notes 6: 288-295
28. **Sites J. W., Crandall K.A. (1997)** Testing species boundaries in biodiversity studies. Conservation biology, 11: 1289-1297
29. **Smulders M.J.M., Van der Schoot J., Arens P., Vosman B. (2001)** Trinucleotide repeat microsatellite markers for black poplar (*Populus nigra* L.). Molecular ecology notes 1: 188-190
30. **Thauront M., Stallegger M. (2008)** Management of Natura 2000 habitats. 9110 Luzulo-Fagetum beech forests. European Commission, Technical Report 2008, 22/24
31. **Van der Schoot J., Pospiskova M., Vosman B., Smulders M.J.M. (2000)** Development and characterization of microsatellite markers in black poplar (*Populus nigra* L.). Teoretical and applied genetics, 101: 317-322

PREUČEVANJE EKOSISTEMOM PRILAGOJENEGA GOSPODARJENJA Z GOZDOM

Study of environmentally adjusted forest operation management

Izvleček: Predstavljena je vsebina raziskovalnega projekta št. V4-0520, ki poteka v okviru Ciljnega raziskovalnega programa »KONKURENČNOST SLOVENIJE 2006-2013«. Povzemamo glavne cilje, metode dela in nekatere rezultate raziskave. Raziskava združuje teme na področju gozdne tehnike in organizacije gozdarskih del v celoto odziva na spremenjene razmere gospodarjenja, ki se odražajo kot prisotnost novih ekoloških omejitev, uvedba sodobne sortimentne metode in vpliv ujm večjega obsega na gospodarjenje z gozdom v slovenskih razmerah organiziranosti gozdarstva. Na spremenjene razmere se mora odzivati stroka in znanost, saj se tako z vidika ekoloških omejitev kot tudi moči novih delovnih sredstev povečujejo zahteve za večjo raven nadzora nad proizvodnimi procesi v gozdarstvu.

Ključne besede: pridobivanje lesa, varovana območja, po ujmah poškodovani gozdovi, gozdne prometnice

Abstract: The research project no. V4-520 - member of Target research project "KONKURENČNOST SLOVENIJE 2006-2013" is presented. The main goals, working methods, and research results are summarized. The research links topics in the areas of forest techniques and forest work organization. The research subjects respond to the changing management condition (environment) which is expressed through the growing demand for environmental protection, new forest operation technologies, and the frequent storm damage that is common in Slovenian forests. The forestry profession must respond to these changing conditions in order to manage the growing demand for environmental protection and the increasing forestry mechanization. Both trends require establishing higher levels of supervision and control mechanisms in forest operations.

Key words: forest operation, protected areas, storm damaged forest, forest roads

1. UVOD

V ciljnem raziskovalnem projektu »Preučevanje ekosistemom prilagojenega gospodarjenja z gozdom« smo raziskovalno vsebino teme Gozd in gospodarska dejavnost operativno razdelili na štiri sklope (Gospodarska dejavnost v varovanih območjih gozdov, Optimizacija omrežja gozdnih prometnic za sonaravno gospodarjenje z gozdovi, Razvoj okolju prijaznih tehnologij pridobivanja lesa, Učinkoviti načini odpravljanja posledic naravnih ujm velikega obsega v gozdovih v obstoječih razmerah organiziranosti gozdarstva).

* dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: janez.krc@bf.uni-lj.si

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

Raziskovalci na področju gozdne tehnike in ekonomike dveh institucij (Biotehniške fakultete ter Gozdarskega inštituta Slovenije) ob sodelovanju Zavoda za varstvo narave RS smo timsko pristopili k sodobnim izzivom gospodarjenja s slovenskimi gozdovi, ki imajo vse večjo vlogo tudi z vidika ekoloških in socialnih vlog (70 % območij Nature 2000 se nahaja v gozdnem prostoru).

2. SKLOPI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

V nadaljevanju so po sklopih projekta prikazani posamezni cilji, nekatere metode dela ter prvi rezultati raziskav.

2.1. GOSPODARSKA DEJAVNOST V VAROVANIH OBMOČJIH GOZDOV

2.1.1. Cilji

V splošnem lahko cilje raziskave obremenitve okolja s hru-

pom, ki ga povzroča gozdna proizvodnja, razdelimo na dva sklopa. V prvem smo s študijami primerov skušali izdelati karte obremenitev okolja s hrupom z vrisanimi izofonami, s katerimi bi lahko sklepali na minimalno potrebno oddaljenost gozdnih delovišč od mirnih con v gozdu. V drugem sklopu, ki ga v prispevku ne predstavljamo, pa smo z upoštevanjem vplivnih dejavnikov na različnih ravneh in njihovih možnih kombinacij določili najprimernejša časovna obdobja, tehnologije in organizacijske oblike dela pri gozdni proizvodnji, ki s hrupom najmanj obremenjujejo okolico.

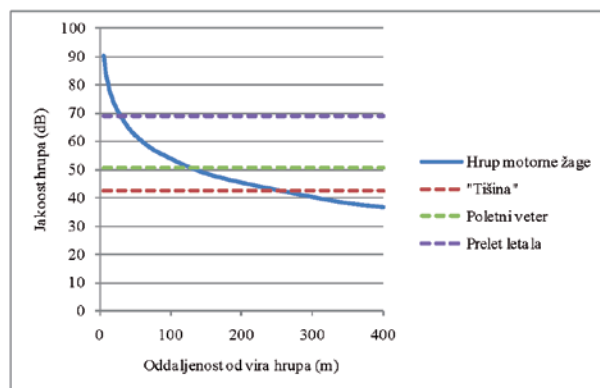
2.1.2. Metoda

Metodološko in rezultatsko je raziskava obremenitve okolja s hrupom zaradi gozdarske proizvodnje nadgradnja ekspertize, ki smo jo izdelali za MKGP leta 2008 (Poje in sod., 2008). Leta 2008 smo v kočevsko-ribniškem gozdno-gospodarskem območju, enoti Grčarice, ki v celoti leži v območju Nature 2000, izbrali 11 serij merilnih točk glede na vertikalno strukturiranost gozda (raznomenen, enomenen) in naklon terena (ravno, pobočje). Na vsaki seriji merilnih točk smo v dveh nasprotnih smereh na vsaj petih razdaljah od vira hrupa (5, 10, 20, 40 in 80 metrov) izmerili jakost ropota motorne žage (Stihl MS 460) in gozdarskega zgibnega traktorja (Timberjack 240C). Jakost hrupa motorne žage smo merili pri prežagovanju cca. 30 cm debelega bukovega debla. Vsaka meritev je trajala 10 sekund, v izračunih pa smo upoštevali le 5 najhropnejših sekundnih intervalov, saj je bilo za 10 s trajanje hrupa potrebno dvakratno prežagovanje hloda. Pri meritvah hrupa zgibnega traktorja smo meritve opravili pri 750 obratih gredi na zglobov zgibnika, kar je glede na predhodne raziskave hrupa ustrezalo emisiji hrupa med prazno vožnjo. V izračunih smo upoštevali vseh 10 sekundnih intervalov. Vse našteje meritve so bile opravljene poleti 2008. V nadaljevanju raziskovanja smo na šestih serijah merilnih točk meritve hrupa ponovili pozimi in spomladi leta 2009. Tokrat smo, zaradi lažje izvedljivosti, opravili le meritve hrupa motorne žage. Za pridobitev podatka o hrupu ozadja smo v različnih dneh in intervalih posneli tudi »naravni« hrup v gozdu v obdobju miru.

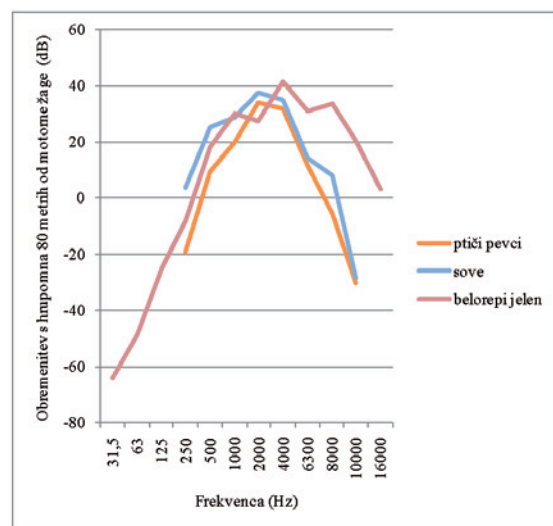
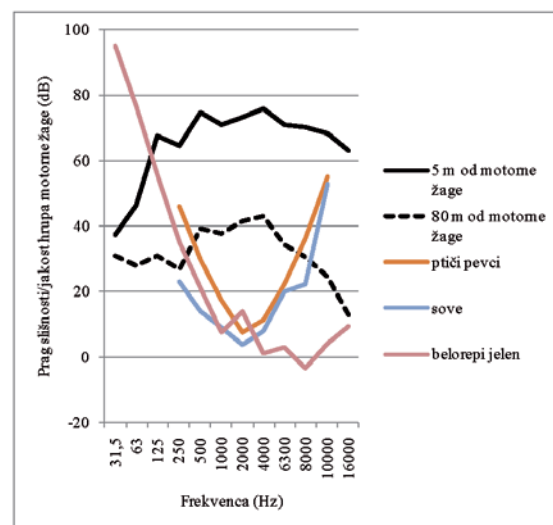
2.1.3. Rezultati

Skupni rezultati ekspertize in nadaljnjih raziskav kažejo, da se v gozdu jakost hrupa zmanjšuje hitreje kot na prostem. Tako se v gozdu z vsako podvojitvijo razdalje od vira hrupa jakost hrupa v splošnem zmanjšuje za 8,4 dB v primerjavi s 6 dB pri teoretičnem širjenju zvoka v prostem polju. V gozdu z obilnim mladjem je dušilna sposobnost gozda še nekoliko večja (9,1 dB). V raziskavah nismo potrdili vpliva reliefa in letnih časov na širjenje hrupa.

Če ugotovljene značilnosti zmanjševanja jakosti hrupa z razdaljo od vira hrupa primerjamo z nekaterimi drugimi naravnimi in antropogenimi viri hrupa, ugotovimo, da se



Slika 1. Zmanjševanje hrupa motorne žage z oddaljenostjo od vira hrupa



Slika 2. Primerjava praga slišnosti treh živalskih vrst z jakostjo hrupa motorne žage ter njihova obremenitev s hrupom

skupna jakost ropota motorne žage na razdalji 140 metrov izenači s hrupom vetra, na 252 metrih s hrupom gozda v obdobju miru (brez antropogenih virov hrupa in v brezvetrju) ter na 29 metrih s hrupom letala pri preletu gozdne krajine (Slika 1). Hrup zgibnega traktorja se zaradi različnega frekvenčnega spektra hrupa oz. prisotnosti večje jakosti hrupa v nižjih frekvenčnih območjih zmanjšuje počasneje kot hrup motorne žage.

Reakcija posameznih vrst živali na hrup je neposredno odvisna od frekvenčnega spektra hrupa oz. od avdiograma živali (Slika 2). S primerjavo naših rezultatov in nekaterih dosegljivih avdiogramov (belorepi jelen – Heffner H.E. in Heffner H.J., 2010, ptiči – Dooling, 2002) ugotovimo, da je neposredna obremenitev omenjenih vrst s hrupom v frekvenčnih območjih največje občutljivosti pri razdalji 80 metrov največ 42 dB (Slika 2), z upoštevanjem ugotovljene povprečne dušilne sposobnosti gozda (8,4 dB) pa pri 160 metrov 33,6 dB in pri razdalji 320 metrov 25,2 dB.

2.2. OPTIMIZACIJA OMREŽJA GOZDNIH PROMETNIC ZA SONARAVNO GOSPODARJENJE Z GOZDOVI

2.2.1. Cilji

Cilj raziskave je ugotoviti dejansko gostoto omrežja gozdnih cest v občini Črna na Koroškem na podlagi obstoječega katastra gozdnih cest in na tej osnovi ugotoviti dejanske možnosti za nadaljnjo povečanje gostote gozdnih cest po posameznih transportnogravitacijskih enotah, v obsegu, ki zmanjšuje skupne stroške pridobivanja lesa in cestnega omrežja.

Ob upoštevanju mnogonamenske vloge gozda in mnogonamenske rabe gozdnih cest je naslednji cilj določiti območja, v katerih je gradnja gozdnih cest možna ob hkratnem upoštevanju vseh vlog gozda in relativnega pomena vsake posamezne vloge gozda. Glede na pričakovano dobo vračanja osnovne investicije, ki jo predstavlja gradnja gozdne ceste, bomo oblikovali prioriteten vrstni red gradnje, izbrane trase novogradenj gozdnih cest pa opredelili na topografskih kartah.

Naslednji cilj je dokazati ekonomsko neupravičeno polaganje gozdnih cest v preteklosti s pomočjo primerjalnega odpiranja gozdov v občini Črna na Koroškem zgolj ob upoštevanju ekonomsko-tehnoloških kriterijev. S primerjavo značilnih elementov ničelnice s študijem primera pa želimo dokazati kvaliteto novega pristopa odpiranja gozdov, ki upošteva vse vloge gozda.

2.2.2. Metoda

Za določitev teže posamezne vloge gozda smo uporabili metodo večkriterijskega odločanja, ki določa težo posameznega dejavnika na podlagi metode parov. Metodo je razvil T.L. Saaty (Saaty, 1994) in je poznana kot analitični

hierarhični proces (Analytical Hierarchy Process – AHP). Posamezna vloga gozda je lahko glede na druge vloge bolj ali manj pomembna oziroma enako pomembna. Razmerja med pari posameznih vlog so ovrednotena z vrednostnimi na kontinuirani lestvici za rangiranje parne primerjave dejavnikov.

Metodo vrednotenja vlog gozda je izvedla ekspertna skupina sedmih gozdarjev na Krajevni enoti Črna. Vrednotenje vlog gozda je bilo izvedeno individualno, estetska in obrambna vloga gozda nista bili vrednoteni, ker na območju objekta raziskovanja nista opredeljeni. Zaradi velikega števila medsebojnih primerjav je bila pričakovana neusklajenost ocen posameznega ocenjevalca. Vektor uteži, ki nam predstavlja uteži posameznih vlog gozda, smo zato izračunali s potenčno metodo. Matriko parnih primerjav smo potencirali na potenco 250 in s tem zadostili pogoju, da se izračunan vektor uteži v primerjavi z naslednjo potenco izračunanega vektorja uteži na štiri decimalna mesta natančno ne razlikuje več (Saaty, 2003).

Za vsakega posameznega ocenjevalca smo nato izračunali indeks konsistentnosti (CI) in nato v primerjavi z random indeksom (RI) izračunali indeks neskladnosti (CR).

Konsistentnost matrik oziroma usklajenost ocen posameznega ocenjevalca smo dosegli šele po drugem vrednotenju vlog gozda. Uteži posameznih vlog smo nato izračunali preko matrike geometrijskih vrednosti parnih primerjav vseh ocenjevalcev.

Rezultate smo preverili s pomočjo programa Expert Choice in potrdili izračunane vrednosti uteži po posameznih vlogah gozda in indeks neskladnosti (CR).

Posamezne vloge gozda lahko imajo različne stopnje poudarjenosti, poleg tega pa nimajo enakih intervalov zalog vrednosti. Zaradi tega smo standardizirali intervale zalog posameznih vlog gozda, hkrati pa vzpostavili pozitivno korelacijo med posamezno vlogo in gradnjo gozdne ceste. Izbran interval standardiziranih vrednosti vplivov gradnje gozdne ceste na posamezne vloge gozda je med ena in dvajset. Vrednost ena predstavlja najmanj ugoden vpliv gradnje gozdne ceste na posamezno vlogo gozda, vrednost dvajset pa najbolj ugoden vpliv. Poudarjene proizvodne vloge gozda, ki so opredeljene s stopnjo ena, so po standardizaciji opredeljene z vrednostjo dvajset. Podobna je tudi standardizacija socialnih vlog. Pri okoljskih vlogah je standardizirana vrednost dvajset določena v primeru, ko je stopnja poudarjenosti okoljske vloge tri.

Izračun stroškov spravila je bil narejen na osnovi opredeljenih naklonov po ureditvenih enotah in na tej osnovi opredeljene vrste spravila lesa. V ureditvenih enotah z nakloni terena do vključno 49 % smo predvideli spravilo

s traktorji (58,3 % površine območja raziskovanja), v enotah z naklonom terena 50 % ali več pa žično spravilo do razdalje 800 m (41,7 % površine območja raziskovanja). V primeru daljših pravilnih razdalj smo predvideli ročno predspravilo lesa do meje žičnega spravila (4,3 % površine območja raziskovanja). Teoretične pravilne razdalje po ureditvenih enotah so bile izračunane kot aritmetična sredina razdalj od točk modela reliefa do posamezne prometnice ob upoštevanju značilnosti terena. Na območju raziskovanja je bilo na gozdnih površinah s pomočjo orodja Distance Calculator v programu Mapinfo izračunanih 221.620 razdalj od točk modela reliefa DMR 25 do gozdnih in javnih cest. Pri izračunu dejanskih pravilnih razdalj smo upoštevali koeficiente pravilnih razdalj (Dobre, 1990). Vhodi za normative spravila lesa so bili opredeljeni zgolj na osnovi opredeljenih značilnosti posameznih ureditvenih enot v opisnih listih gozdnogospodarskih načrtov gozdnogospodarskih enot Mežica in Črna Smrekovec. Stroški spravila so bili nato določeni s pomočjo znanih cen dela koncesionarja za delo v koncesijskih gozdovih na območju občine Črna na Koroškem.

Stroške vzdrževanja omrežja gozdnih cest smo izračunali s pomočjo znanih cen dela in materiala za vzdrževanje gozdnih cest v občini Črna na Koroškem.

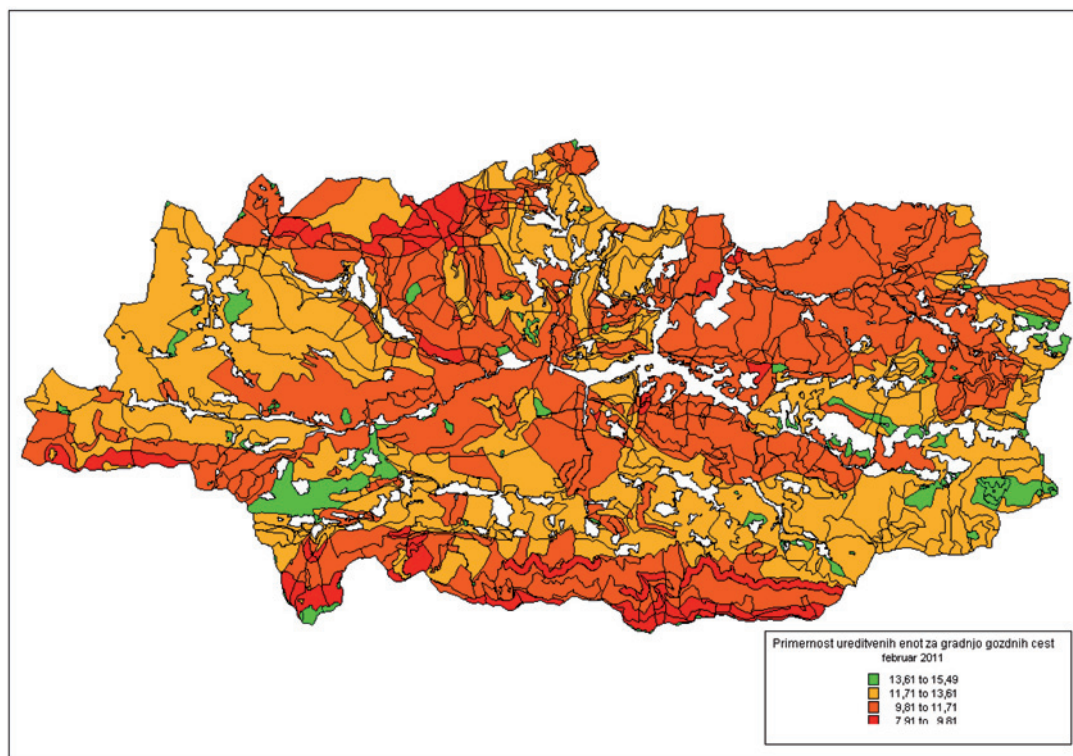
Ekonomsko upravičenost zgoščevanja omrežja gozdnih prometnic bomo izračunali na osnovi razlike med pri-

hranki zaradi izboljšanja pravilnih pogojev po ureditvenih enotah, na katere vpliva novogradnja gozdne ceste, in povečanimi stroški omrežja gozdnih prometnic. Med temi stroški bomo upoštevali povečane stroške vzdrževanja gozdnih cest zaradi povečanja skupne dolžine, stroške zaradi trajne izgube prirastka na površini, ki jo zavzema cestno telo in načrtovane stroške gradnje gozdne ceste glede na naklon terena in opredeljeno matično podlago.

2.2.3. Rezultati

Oceno primernosti posameznih ureditvenih enot za gradnjo gozdnih cest dobimo kot vsoto produkta uteži in standardiziranih vrednosti posameznih vlog po ureditvenih enotah. Na osnovi opredeljenih uteži posameznih vlog gozda v občini Črna na Koroškem smo dobili vrednosti za posamezne ureditvene enote v intervalu med 7,916 in 15,487. Ureditvene enote smo glede na primernost za gradnjo gozdnih cest razdelili v štiri skupine:

- ▶ neprimerne ureditvene enote: vrednosti točkovanja pod 9,81;
- ▶ manj primerne ureditvene enote: vrednosti točkovanja od 9,81 do 11,70;
- ▶ primerne ureditvene enote: vrednost točkovanja od 11,71 do 13,60;
- ▶ najbolj primerne ureditvene enote: vrednost točkovanja 13,61 ali več.



Slika 3. Karta primernosti ureditvenih enot za gradnjo gozdnih cest

Na tej osnovi je bila izdelana tematska karta, ki ob upoštevanju relativnega pomena analiziranih vlog gozda hkrati kaže primerna področja za nadaljnje zgoščevanje omrežja gozdnih cest.

Na osnovi ekonomsko utemeljene širine pasu, ki naj ga posamezna gozdna cesta odpira, smo nato poiskali območja z veliko medsebojno oddaljenostjo med gozdnimi cestami. V povezavi s karto naklonov terena smo najprej načrtovali gradnjo gozdnih cest v ureditvenih enotah, ki so najbolj primerne, nato pa v ureditvenih enotah, ki so primerne za gradnjo gozdnih prometnic.

2.3. RAZVOJ OKOLJU PRIJAZNIH TEHNOLOGIJ PRIDOBIVANJA LESA

2.3.1. Cilji

Kot cilj naše raziskave smo si zastavili oblikovanje objektivnih kriterijev za nadzor in vrednotenje kakovosti izvajalcev oz. rezultatov njihovega dela v naravnem okolju. Poleg tega hočemo tudi izdelati vodila, s katerimi bi se lahko izognili nadpovprečnim poškodbam tal in sestojev.

2.3.2. Metoda

V letu 2009 smo opravljali meritve na objektih v Šahnu (OE Kočevje), kjer smo spremljali strojno sečnjo in spravilo lesa s sodobno sortimentno metodo, ter ugotavljali poškodbe na sestoju in tleh. Prav tako smo izvajali terenske meritve na objektu v Novomeškem Rogu, kjer smo spremljali sodobno strojno sečnjo in spravilo lesa v bolj netipičnih razmerah, kjer je bilo potrebno kombinirati strojno sečnjo in uporabo motorne žage. Zaradi pomanjkanja podatkov o poškodbah sestojev je bila opravljena tudi spremljava poškodb pri strojni sečnji in spravilu lesa s sodobno sortimentno metodo na Pohorju.

V letu 2010 smo opravili obsežne terenske meritve na objektih na Pohorju (Osankarica) in Prekmurju (Bukovje). Preizkušali smo strojno sečnjo, njene učinke in ekonomičnost ter vplive na okolje v prvih redčenjih iglavcev ter listavcev. Na vsakem objektu smo planirali dva tretmana: redčenje na odkazanih linijah ter neodkazanih linijah, kjer je bilo predhodno opravljeno nevidno odkazilo. Uporabili smo stroj za sečnjo ECOLOG 580 ter zgibni polprikoličar John Deere 1110, oba v lasti GG Maribor d.d. ter GLG Murska Sobota d.d. Na vsakem objektu smo merili učinke sečnje in spravila lesa, in

sicer na šestih linijah oz. šestih ponovitvah (ploskve 18 m x 24 m). Postavili smo profile, kjer smo poleg lege karakterističnih točk izmerili tudi vlažnost tal, globino tal ter konusni indeks (CI15-20). Izmerili smo vse poškodovano drevje na ploskvah (3 ponovitve na objekt in tretman).

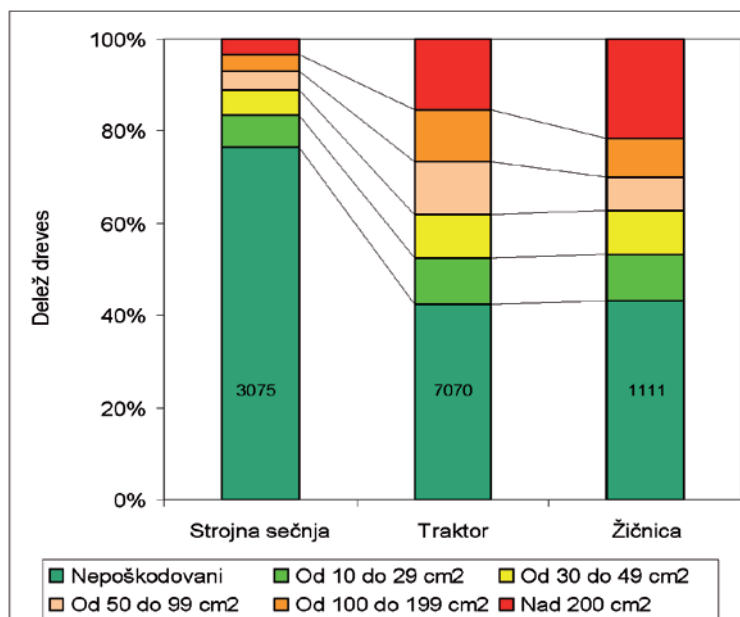
V letu 2011 nameravamo izvesti terenske meritve sekalnikov Bruks, Dopstadt in Eschlbock, vendar trenutno še čakamo na soglasje lastnikov teh strojev.

2.3.3. Rezultati

Predhodni rezultati nakazujejo, da je poškodb na sestoju z uporabo sodobnih tehnologij manj kot pri klasičnih tehnologijah. V preglednici 1 prikazujemo podatke o deležu poškodovanega drevja v sestoju po sečnji in spravilu s kla-

Preglednica 1. Delež vsega na novo poškodovanega drevja po enkratnem posegu v sestoju

Tehnologija sečnje	Tehnologija spravila	Delež na novo poškodovanega drevja v [%]
Sečnja z motorno žago	Prilagojeni kolesnik	20
Sečnja z motorno žago	Prilagojeni goseničar	16
Sečnja z motorno žago	Zgibniki	20
Sečnja z motorno žago	Žičnice	37
Povprečje klasičnih tehnologij		22
Strojna sečnja	Zgibni polprikoličar	17



Slika 4. Delež poškodovanosti drevja glede na tehnologijo in velikost poškodbe

sičnimi tehnologijami sečnje z motorno žago in različnimi tehnologijami spavila. Podatki o poškodbah pri žičničnem spravilu zaradi majhnega vzorca niso reprezentativni.

Iz slike 4 je razvidno, da je delež velikih poškodb pri strojni sečnji razmeroma majhen, največ poškodb je v velikostnih razredih od 10 cm² do 50 cm². V primerjavi s klasičnimi tehnologijami je delež nepoškodovanih dreves velik, predvsem je znatno zmanjšanje zelo velikih (nad 200 cm²) in velikih (od 100 cm² do 199 cm²) poškodb, ki so z vidika poškodovanosti drevja najbolj kritične.

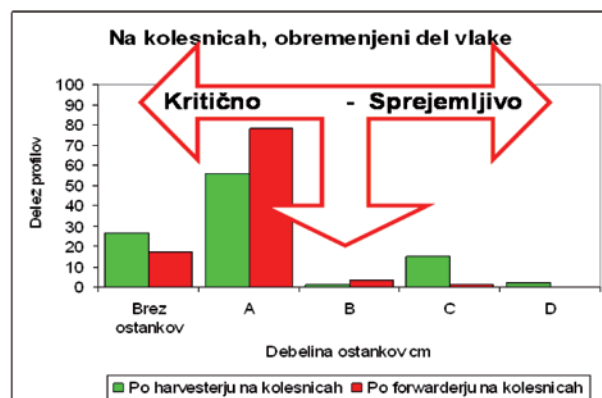
Rezultati poškodb tal še niso dokončno obdelani, lahko pa trdimo, da so sodobne tehnologije glede tega bolj problematične, saj zaradi večjega števila sečnih poti na hektaru delovišča vozimo po večji površini, kot je to primer pri uporabi klasičnih tehnologij.

Razdalja rob-rob (preglednica 2) pomeni širino, po kateri so vozili stroji, razdalja tla-tla pa pomeni širino pasu, na katerega je vplivala tehnologija. Razvidno je, da je vozna površina vlake po stroju za sečnjo med 1,30 in 2,30 širine stroja, vozna površina vlake po prehodu zgibnega pol-prikoličarja pa znaša med med 1,30 in 2,50 širine stroja. Potrebno je še poudariti, da so obstoječe vlake na objektu bile široke 0,8 širine stroja. Na objektu Osankarica, v iglastih sestojih smo izmerili manjšo širino vozišča, vendar večjo širino zaradi sečne poti motenega dela tal.

Pri metodi ugotavljanja poškodb smo popisovali tudi količino sečnih ostankov. Sečni ostanki so zelo pomembni za povečanje nosilnosti tal in posledično pri zmanjševanju poškodb tal. V sliki 5 prikazujemo količino sečnih ostankov na kolesnicah glede na delež profilov in glede na prehod stroja. Največ profilov pade v razred A (pod 10 cm ostankov) in brez sečnih ostankov, kar ni dobro. Nuken je premik večine sečnih ostankov iz sredine sečne poti na predvidene kolesnice v razred B (10 cm – 20 cm) ter iz razreda D (več kot 40 cm) v razreda B ali C (20 cm – 30 cm) na kolesnicah.

Preglednica 2. Širina sečne poti glede na prehod posameznega stroja.

Objekt	Izmera	Zgibni pol-prikoličar	Stroj za sečnjo
Osankarica	Povprečje Rob_Rob	369 cm	370 cm
	Povprečje Tla_Tla	791 cm	764 cm
Bukovje	Povprečje Rob_Rob	417 cm	404 cm
	Povprečje Tla_Tla	720 cm	682 cm



Slika 5. Delež profilov glede na količino sečnih ostankov na kolesnicah in prehod posameznih strojev

2.4. UČINKOVITI NAČINI ODPRAVLJANJA POSLEDIC NARAVNIH UJM VELIKEGA OBSEGA V GOZDOVIH V OBSTOJEČIH RAZMERAH ORGANIZIRANOSTI GOZDARSTVA

2.4.1. Cilji

(1) Predvideti ukrepe za preprečevanje katastrofalnih posledic naravnih ujm, (2) zagotoviti večjo pripravljenost in učinkovito odzivanje na naravne ujme ter (3) izboljšati procese obnove opustošenih ter degradiranih površin skupaj z drugo materialno škodo (objekti, prometnice in druge komunikacije, vodotoki) z vidika gozdarske stroke.

2.4.2. Metoda

Glede na to, da se značilnosti prevladujočih načinov izvedbe gozdarskih del razlikujejo med zasebnimi in državnimi gozdovi, smo se odločili za njihovo ločeno obravnavanje.

Pri tem smo izvedli voden intervju pri gozdarski gospodarski družbi in javni gozdarski službi z namenom identifikacije praks ter njihove ocene uspešnosti konkretnih izkušenj na izvedbi sanacije ujme.

V zasebnih gozdovih smo opravili vodene intervjuje pri krajevnih enotah Zavoda za gozdove Slovenije. Dodatno smo izvedli anketo med lastniki gozdov, s katero smo odgovorili na naslednja vprašanja: Ali sanacija posledic ujme zahteva dodatne postopke pri delu v zasebnih gozdovih (npr. iskanje izvajalcev, prodaja lesa, čas)? Ali obstajajo razlike pri izvedbi sanacijskih del med posameznimi velikostnimi in socialnoekonomskimi kategorijami lastnikov gozdov? Ali so pretekla vlaganja v gozd, ki ga je poškodovala ujma, izgubljena, nastanejo pa dodatni stroški z obnovo gozda, stroški sečnje in spravila? Ali se kakovost gozdnih lesnih sortimentov zmanjša (spremenjeno krojenje)? Ali je odkupna cena lesa nižja zaradi velike količine lesa? Ali se zaradi posledic ujme poveča odprtost gozdov, s tem pa nastanejo dodatni stroški z izgradnjo vlak, cest in njihovim vzdrževanjem?

2.4.3. Rezultati

Z vidika prvega cilja – predvidevanja uprepov za preprečevanje katastrofalnih posledic naravnih ujm je bil zasnovan sistem za evidentiranje t.i. nemih prič (Kaitna in Hübl, 2011). Sistematično zbrane podatke o nemih pričah bo možno uporabiti tudi za predvidevanje in načrtovanje ukrepov za zmanjšanje možnih posledic izjemnih vremenskih dogodkov in procesov – s posebnim poudarkom na gospodarjenju z gozdom v območjih hudournikov.

V nadaljevanju podajamo nekatere rezultate obdelave podatkov za ujmo v zasebnih gozdovih na primeru KE Kamnik v letu 2008.

Prva ocena skupnih prizadetih količin je bila pridobljena na osnovi ocene stopnje poškodovanosti sestojev in gozdarskega informacijskega sistema. Ta je znašala 44.755 m³ listavcev in 84.630 m³ iglavcev. Po končani sanaciji se je evidentiralo posek in izračunalo količine lesa, izdelanega po sanaciji na območju KE Kamnik. Od gozdarskih gospodarskih družb, ki so sedelovale pri sanaciji na območju KE Kamnik, so bili nakandno pridobljeni podatki o obsegu del, podani kot količina izdelanega lesa (37.300 m³ od tega 32.400 m³ s sodobno sortimentno metodo, razliko predstavlja žičnično spravilo lesa).

Naknadno je bilo tudi po velikostnih razredih gozdne posesti (do 1ha, 1 do 5 ha, 5 do 10 ha in nad 10 ha) sistematično izbranih petdeset lastnikov gozdov. Anketirani lastniki so bili med drugim vprašani o načinu izvedbe del sanacije poškodovanih gozdov (preglednica 3).

Podatek iz končne evidence posekanega lesa na po ujmi prizadetih območjih s strani javne gozdarske službe je 112.769 m³ posekanega lesa. Primerjava med podatki ankete z lastniki gozdov in evidenco javne gozdarske službe kaže na odstopanje, saj so podatki o strukturi sečenj z vidika rabe sodobne sortimentne metode precej različni.

Večino lesa so lastniki prodali na gozdni cesti (preglednica 4)

Delež lastnikov, ki so prodali les na panju, je nekoliko večji v primerjavi z deležem del, izvedenih s sodobno sorti-

Preglednica 3. Struktura lastnikov gozdov glede na tehnologijo sečnje in izdelave po ujmi poškodovanih gozdov na primeru KE Kamnik

Tehnologija sečnje in izdelave	Odstotek lastnikov
Klasično (motorna žaga)	86
Sodobna sortimentna metoda (stroj za sečnjo)	4
Kombinacija (klasično in sodobna sortimentna metoda)	10
Skupaj	100

Preglednica 4. Struktura lastnikov glede na način prodaje lesa iz ujmi na primeru KE Kamnik

Način prodaje	Odstotek lastnikov
Na panju	18
Gozdna cesta	56
Na panju in gozdna cesta	6
Drugo (drva-doma)	20
Skupaj	100

mentno metodo. Zato lahko sklepamo, da je velik delež lastnikov, ki so prodali les na panju, tudi takih, ki so hkrati izvedli sanacijo prizadetega gozda z oddajo del gozdarski gospodarski družbi, ta pa je uporabila stroje za sečnjo oz. sodobno sortimentno metodo. V nekaterih primerih je gozdarska gospodarska družba prevzela tudi odpiranje poškodovanih predelov gozdov.

3. RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

Gospodarjenje z gozdom je gospodarska dejavnost, ki vključuje proizvodne procese gojenja gozdov, pridobivanja lesa in gradnje gozdnih prometnic. Vsi procesi so med seboj tesno povezani, njihova učinkovitost pa se meri z ekonomiko delovnih procesov in motnjami v okolju, kar posledično vpliva na trajnost in mnogonamensko rabo gozda. Vse naštetu zahteva sodelovanje med upravljalci, lastniki in gospodarskimi subjekti (gozdarskimi gospodarskimi družbami) ter drugimi deležniki, povezanimi z gozdarstvom.

Motnje v okolju kot posledica rabe različnih tehnologij gozdnih del vplivajo na gozdni ekosistem. Tako je na primer odziv živali v gozdu na hrup odvisen od nekaterih lastnosti, ki so povezane z virom hrupa, kot je jakost, pojavljanje, impulzivnost in frekvenčni spekter hrupa, vendar pa tudi, če ne celo še bolj, od pozitivnih in negativnih izkušenj, ki jih živali povezujejo s posameznimi viri hrupa. Nekateri avtorji so pokazali, da je lahko zvok motorne žage pozitiven signal za jelenjad v zimskem času, saj sečni ostanki po sečnji predstavljajo lahko dosegljivo hrano, medtem ko ima promet lahko za posledico spremembo v rabi prostora (Effects of noise ..., 2005). Ker gozdna proizvodnja v večini primerov ne predstavlja neposredne življenjske grožnje živalim, lahko hrup neposredno vpliva na živalstvo le v primeru, da moti njihove naravne življenjske procese. Tako je vplivno območje za severnega medveda in grizlija v zimskem času veliko od 500 – 1000 metrov, saj lahko moti zimsko spanje. Enako veliko je vplivno območje spomladi za severnega jelena v času poganjanja mladičev (Effects of noise ..., 2005). Vpliv na območja pri pticah so manjša in segajo od 50 do 1000

metrov (FSC guidance note ..., 2006). Če primerjamo ocenjene velikosti vplivnih območij pri veliki divjadi z našimi rezultati o širjenju hrupa v gozdu, lahko zaključimo, da so tako velika priporočena območja posledica skupnih vplivov in ne samo vplivov hrupa. Drugače je pri minimalnih razdaljah vplivnih območij pri ogroženih ptičjih vrstah, kjer zmanjševanje razdalj gozdne proizvodne od gnezd povzroča povečano verjetnost za pogosto vzletanje ptičev (Pater in sod., 2009).

Izvedba gozdnih del ima za posledico motnje tudi na gozdnem sestoju in tleh. Rezultati raziskave kažejo naslednje zaključke, povezane z rabo sodobne sortimentne metode:

- ▶ Sodobne tehnologije povzročajo manjši delež poškodovanega drevja.
- ▶ Pri sodobni strojni metodi so ključne poškodbe tal.
- ▶ Pri dobri nosilnosti tal ni ovir za uporabo zgibnih polprikoličarjev.
- ▶ Tehnologija strojne sečnje in tradicionalnih tehnologij se dopolnjujejo.

Vir motenj pa ni le gospodarska dejavnost v gozdovih, pač pa le-te nastanejo kot posledica naravnih ujm. Z vidika sanacije prizadetih gozdov po ujmah so tuje izkušnje pokazale na številne možnosti, ki jih je potrebno uporabiti pri učinkoviti sanaciji poškodovanih gozdov in jih do sedaj večinoma v Sloveniji še nismo analizirali in kritično (prilagojeno) prenesli. V prvi vrsti gre za večjo raven organiziranosti lastnikov gozdov, ki se kaže v skupni izvedbi sanacije, skladiščenju in trženju lesa (Hammer in sod., 2003). Višja raven organiziranosti lastnikov gozdov ima lahko pozitivne rezultate z vidika mnogonamenske rabe gozdov.

Skladiščenje lesa omogoča ohranjanje vrednosti lesu. Skupaj s koordinirano akcijo lastnikov gozdov, ki obsega sanacijo, skladiščenje in trženje, dosežemo razbremenitev trga lesa, stabilizacijo cen lesa in optimizacijo neposredne izvedbe sanacije prizadetih območij gozdov. Pogoj za oba spremljejoča ukrepa je solidarnost med lastniki gozdov. Samo s povezanim delovanjem lastnikov gozdov je možno koordinirati sanacijo, doseči kritično maso lesa in s tem možnost uravnavanja trga lesa.

Dela na sanaciji imajo za posledico preprečevanje nadaljnjih škod ter ohranjanja po ujmi nepoškodovanih gozdov. S tem je omogočeno nadaljnje izkoriščanje potencialov gozda - tako lesnoproizvodnega, kakor tudi ekoloških in socialnih funkcij gozda.

Pojav naravnih ujm poleg spremembe gostote omrežja zaradi novogradenj gozdnih cest spreminja relativni pomen posameznih vlog gozda. Do bistvenih sprememb vhodov za izračun optimalnega omrežja gozdnih cest pri-

haja tudi ob izteku ureditvenega obdobja gozdnogospodarskih načrtov. Optimizacija omrežja gozdnih cest zato ne more biti zgolj enkratni in dokončen proces, temveč zahteva revizijo ob vseh tistih spremembah v gozdu, ki spreminjajo relativni pomen posameznih vlog gozda.

4. POVZETEK

Predstavljeni so sklopi raziskovalnega projekta »Preučevanje ekosistemom prilagojenega gospodarjenja z gozdom«, ki združuje nekatere raziskovalne teme na področju gozdne tehnike in dela v gozdu. Podani so cilji, metode in nekateri rezultati, ki povezujejo proizvodne procese pridobivanja lesa in gradnje gozdnih prometnic.

Smo pred številnimi novimi tehnološkimi izzivi izvedbe gozdnih del (predvsem tehnologij kratkega lesa), ki si vztrajno – a zaenkrat še v precejšnji meri stihajsko vtira pot tudi v Slovenijo. Moč delovnih sredstev je v korelaciji z možnimi negativnimi vplivi na okolje, kar zahteva višjo raven organizacije procesov na področjih načrtovanja, izvedbe in kontrole gospodarske dejavnosti v gozdovih. Hkrati so evidentne vse večje zahteve po energetski samooskrbi, kar lahko uresničujemo le s prilagojenimi tehnološkimi rešitvami.

Povečevanje odprtosti gozdov zahteva poglobljen, večnamensko vrednoten pristop, ki ga izvajamo tudi skladno s preventivnimi ukrepi za preprečevanje velikih razsežnosti posledic gozdnih ujm. Okolju prijazno ravnanje zahteva prehod od deklarativnih načel k zapisanim pravilom, ki vključujejo tudi sistem za nadzor oz. vrednotenje kakovosti tako upravljavcev, kakor tudi izvajalcev gospodarske dejavnosti v gozdovih.

Med predvidenimi rezultati projekta v sklopu prvega cilja izpostavljamo usmeritve za spoštovanje *con miru*, ki lahko odločilno vplivajo tako na pestrost živalskega dela gozdnega ekosistema na eni, kakor tudi ob neustreznih dinamiki in koncentraciji del do povečevanja stroškov in gospodarske škode na drugi strani.

Dinamika opredelitve optimalne gostote gozdnih cest z vidika spreminjanja vplivnih dejavnikov je analizirana na različnih prostorskih ravneh – od lokalne ravni do državne ravni. Predstavljena je analiza na lokalni ravni na primeru občine Črna na Koroškem.

Predhodni rezultati nakazujejo, da je poškodb na sestoji z uporabo sodobnih tehnologij manj kot pri klasičnih tehnologijah. Delež velikih poškodb pri strojni sečnji je razmeroma majhen, največ poškodb je v velikostnih razredih od 10 cm² do 50 cm². V primerjavi s klasičnimi tehnologijami je delež nepoškodovanih dreves velik, predvsem je znatno zmanjšanje zelo velikih in velikih poškodb, ki so z vidika poškodovanosti drevja najbolj kritične.

V povezavi s ciljem učinkovitih načinov odpravljanja posledic naravnih ujm velikega obsega so izdelane študije preteklih praks in posledično smernice za strokovno podporo ustreznemu in učinkovitemu ukrepanju pri sanaciji naravnih ujm s pomočjo izdelave scenarijev in postopkov, ki jim stroka sledi v primeru nastopa ujme.

Delovni postopki pri sanaciji gozdnih ujm se razlikujejo od tistih pri redni sečnji. Z razvojem sodobnih tehnologij na področju gozdarstva in sodobnih informacijskih tehnologij ter sistemov daljinskega zaznavanja podatkov je mogoče predvideti številne nove in učinkovite načine napovedovanja, preventivnega delovanja in sanacije gozdnih ujm.

5. VIRI:

1. **Cenik del za delo v državnih gozdovih v letu 2010. (2010)** Slovenj Gradec, GG Slovenj Gradec d.d..
2. **Dobre A. (1990)** Nekateri dejavniki odpiranja gozdnega prostora. Raziskovalna naloga, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo, Ljubljana, 138 str.
3. **Doolling R. (2002)** Avian hearing and the avoidance of wind turbines. National Renewable Energy Laboratory. www.nrel.gov/wind/pdfs/30844.pdf (3.2.2011)
4. **Effects of noise on wildlife. (2005)** www.ngps.nt.ca/.../wildlife/.../Noise_Wildlife_Report_Filed.pdf (3.2.2011)
5. **FSC guidance note 32: Forest operations and birds in Scottish forests: The law in good practice. (2006)** [http://www.forestry.gov.uk/pdf/Guidancenote32Birddisturbance.pdf/\\$FILE/Guidancenote32Birddisturbance.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/Guidancenote32Birddisturbance.pdf/$FILE/Guidancenote32Birddisturbance.pdf) (3.2.2011)
6. **Hammer S., Schmidt N., Iten R. (2003)** LOTHAR Zwischenevaluation der kantonalen Strategien zur Bewältigung von Lothar am Beispiel der Kantone Bern, Waadt, Luzern und Aargau. Umwelt-Materialien Nr. 154. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern., 112 str.
7. **Heffner H. J., Heffner H. E. (2010)** The behavioral audiogram of whitetail deer (*Odocoileus virginianus*). J. Acoust. Soc. Am., 127, 3: 111-114
8. **Kaitna R., Hübl J. (2011)** Silent witnesses for torrential processes. Vienna, BOKU: 15 str.
9. **Pater L. L., Grubb T. G., Delaney D. K. (2009)** Recommendations for improved assessment of noise impacts on wildlife. Journal of Wildlife Management, 73, 5: 788-795
10. **Poje A., Pokorn J., Potočnik I. (2008)** Hrup v gozdnem prostoru zaradi gozdne proizvodnje. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 34 str.
11. **Saaty T.L. (1994)** Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process. Pittsburgh, RWS Publications, 527 str.
12. **Saaty T.L. (2003)** b. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. European Journal of Operational Research, 145(1): 85-91

EKSTRAKTIVI V TKIVIH EVROPSKEGA MACESNA (*LARIX DECIDUA* MILL.)

Extractives in the tissues of European larch (*Larix decidua* Mill.)

Izvleček: Predstavljena je kemijska karakterizacija lipofilnih in hidrofilnih ekstraktivov v tipičnih lesnih tkivih evropskega macesna (*Larix decidua* Mill.) kot so beljava, jedrovina, grča in segmenti veje. Analiza je pokazala, da je lipofilna struktura tkiv zelo podobna, medtem ko se vsebnosti hidrofilnih fenolnih spojin v posameznih tkivih med seboj precej razlikujejo. Največje koncentracije fenolov so bile izmerjene v grči, zato bi grče lahko služile kot surovina za pridobivanje bioaktivnih spojin z visoko dodano vrednostjo.

Ključne besede: evropski macesen, odpadna lesna biomasa, lipofilni in fenolni ekstraktivi, flavonoidi, lignani, produkti z dodano vrednostjo

Abstract: Chemical characterization of lipophilic and hydrophilic extractives in typical wood tissues of European larch (*Larix decidua* Mill.), such as sapwood, heartwood, knot and branch segments is presented. The analysis indicated similar lipophilic structure of all tissues, while the content of hydrophilic phenolic compounds in individual tissues proved to be significantly different. The highest phenolic concentrations were determined in knotwood, which classifies it as suitable raw material for large scale production of bioactive compounds with high added value.

Key words: european larch, waste wood biomass, lipophilic and phenolic extractives, flavonoids, lignans, products with added value

UVOD

Evropski macesen (*Larix decidua* Mill.) pripada zvrsti macesnov, katerih tipično rastišče so hladni, gorati predeli. Macesnovo jedrovino karakterizira precejšnja biološka odpornost, prav tako pa je zelo obstojna proti vremenskim vplivom, kislinam in vodi. Številni avtorji povezujejo obstojnost lesa z vsebnostjo nekaterih vrst ekstraktivov. Ti so v splošnem nestrukturne komponente drevesnih tkiv, zato je njihova vsebnost precej nižja od vsebnosti osnovnih gradbenih elementov, to je polisaharidov in lignina in v povprečju doseže le do nekaj % suhe mase lesa. Vrste in koncentracije ekstraktivov so odvisne od drevesne vrste, tipa tkiva, geografske lege rastišča, klimatskih pogojev, letnega časa odvzema, starosti in zdravstvenega stanja drevesa. Ekstraktivi vplivajo na barvo, vonj ter manj na gostoto in trdnost lesa. Njihova funkcija v živih tkivih še ni

povsem raziskana. Znano je, da so nekatere spojine, kot npr. steroli in sterolni estri komponente celičnih membran in sodelujejo pri različnih biokemičnih procesih v celicah, medtem ko druge, npr. trigliceridi in digliceridi, predstavljajo hranilne zaloge. Najpomembnejša funkcija ekstraktivov pa je najverjetneje mehanska in kemijska zaščita lesnih tkiv pred vdorom mikroorganizmov, gliv in insektov. Tipično mehansko zaščitno plast oz. hidrofobno bariero lahko tvorijo smolne komponente in voski, medtem ko bolj polarni fenoli (lignani, flavonoidi, stilbeni) izkazujejo biocidne lastnosti in so zelo toksični za številne organizme (Hawley in sod., 1924; Scheffer in Cowling, 1966; Fengel in Wegener, 1984; Schultz in sod., 1990, 1995).

Ekstraktivi so dobro topni v bolj ali manj polarnih organskih topilih, zato jih je možno izolirati iz lesnega matriksa s pomočjo ekstrakcije. Vsebnost ekstrakta običajno določimo gravimetrično, kemijsko sestavo pa s pomočjo kromatografskih in spektroskopskih analiznih tehnik kot so TLC, GC-FID, GC-MS, HPLC, UV-VIS, FTIR in NMR (Sjöström in Alen, 1999; Willför in sod., 2006).

* dr. Inštitut za celulozo in papir, Bogišičeva 8, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: janja.zule@icp-lj.si

** prof. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana

Med najbolj raziskanimi zvrstmi macesna sta sibirski macesen (*Larix sibirica* Lebed.) in japonski macesen (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr). Avtorji so se osredotočali predvsem na določanje vrst in koncentracij ekstraktivov v jedrovini na reprezentativni višini 1,5 m (Gripenberg, 1952; Brewerton 1956; Nair in von Rudloff 1960; Gierlinger in sod., 2002;). Nekateri so definirali radialno porazdelitev ekstraktivov v jedrovini (Sasaya in sod., 1970; Keith in Chauret, 1988; Chui in Mackinnon-Peters 1995), drugi so poskušali ugotoviti povezavo med vsebnostjo ekstraktivov in biološko odpornostjo jedrovine (Doi in sod., 1998; Ohmura in sod., 1999; Windeisen in sod., 2002). Nekaj raziskav je bilo posvečenih pridobivanju tehnološko uporabnih ekstraktivov iz lesa in skorje sibirskega macesna (Babkin in sod., 2001; Aleksandrova in sod., 2002;). Holmbom in sodelavci (2003, 2007) so identificirali hidrofilne ekstrakte v grčah evropskega in sibirskega macesna ter tamaraka, pri čemer se je pokazalo, da slednje vsebujejo visoke vsebnosti fenolov.

Namen naše raziskave je bil primerjalna določitev kemijske sestave in koncentracijske porazdelitve lipofilnih in hidrofilnih ekstraktivov v različnih lesnih tkivih kot so beljava, jedrovina, grča in veje, ki imajo različno morfološko strukturo in biološko funkcijo v drevesu. Grče in veje običajno predstavljajo odpadke lesnopredelovalne industrije, zato nas je zlasti zanimalo ali bi lahko služile kot vir za pridobivanje tehnološko pomembnih ekstraktivnih komponent kot so lipidi in fenoli.

MATERIALI IN METODE

VZORČENJE IN PRIPRAVA VZORCEV

Ob koncu pomladnega obdobja smo vzorčili tkiva zdravega, 100 let starega in 25 m visokega macesna, in sicer na območju gore Pece v občini Črna na Koroškem. Na višini 13 m vzdolž debla smo odvzeli povprečne vzorce beljave, jedrovine, grčo in 10 cm dolge segmente veje na razdaljah (0-10) cm, (50-60) cm in (110-120) cm od debla. Grčo smo razdelili na dve, po masi enaki polovici, in sicer zunanjo in notranjo. Vse vzorce smo kmalu po odvzemu zamrznili pri -24 °C (slika 1).

Pred analizo smo vzorce odtajali, razrezali na drobne trske in slednje 24 ur sušili z liofilizacijo. Nato smo trske zmleli v lesno moko s pomočjo laboratorijskega mlina.

EKSTRAKCIJA

Ekstrakcije smo izvajali na avtomatskem ASE ekstraktorju (Dionex ASE 200). Okrog 5 g posušenih vzorcev smo zahtevali v kovinske ekstrakcijske celice in izvedli sekvenčne ekstrakcije, in sicer najprej z nepolarnim heksanom (V-50 ml), da smo izolirali lipofilne komponente. Po odstranitvi slednjih smo lesne vzorce ekstrahirali še s 95 % etanolom (V-50 ml), pri čemer smo selektivno odstranili še hidrofilne fenolne spojine, ki so dobro topne v etanolu.

DERIVATIZACIJA EKSTRAKTOV

Vse heksanske in etanolne ekstrakte smo derivatizirali pred snemanjem plinskih kromatogramov (GC-FID, GC-MS), s čimer smo pretvorili spojine s prostimi fenolnimi skupinami v odgovarjajoče trimetilsililne (TMS) derivate, in sicer etre in estre. Odgovarjajoči količini ekstrakta (v 10 ml epruveti s pokrovčkom), ki je vsebovala pribl. 0,5 mg ekstraktivov, smo dodali 2 ml raztopine internih standardov, in sicer heneikozanojske kisline (S1), betulinola (S2) holesteril heptadekanoata (S3) in 1,3-dipalmitil-2-oleil glicerola (S4), katerih koncentracije so znašale 0,02 mg/ml. Zmes vzorca in standardnih spojin smo posušili v toku dušika in v vakuumskem sušilniku pri 40 °C, nakar smo dodali ustrezne reagentne za sililacijo, in sicer 80 µl BSTFA (bis-trimetilsilil-trifluoroacetamid), 20 µl TMCS (trimetil-klorosilan) in 20 µl piridina. Reakcijsko zmes smo segrevali 1 uro pri 70 °C, nato smo jo ohladili in prenesli v avtomatski injektor plinskega kromatografa.

IDENTIFIKACIJA SPOJIN V EKSTRAKTIH (GC-MS)

Karakteristične spojine v heksanskih in etanolnih ekstraktih smo identificirali s pomočjo GC-MS kromatogramov in ustreznih masnih spektrov kromatografskih vrhov. Analize smo izvajali na aparatu HP 6890-5973 GC-MSD. Ločba je potekala na koloni HP-1 (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm) ob uporabi programiranega segrevanja kolone: 80 °C, 8 °C/



Slika 1. Vzorci lesnih tkiv na višini 13 m (beljava, jedrovina, grča, segmenti veje)

min, 290 °C; nosilni plin He (0,9 ml/min); split injektor (1:15) – 260 °C; MS-EI detektor (280 °C, 70 eV).

KVANTITATIVNA ANALIZA LIPOFILNIH SKUPIN

Analizo lipofilnih skupin v heksanskih ekstraktih smo izvedli z metodo plinske kromatografije na aparatu Perkin Elmer Clarus 500. Ločba je potekala na kratki koloni HP-1 (6 m x 0,53 mm x 0,15 µm), pri čemer smo uporabili naslednje eksperimentalne pogoje - temperaturni program segrevanja kolone: 100 °C (1,5 min), 12 °C/min, 340 °C (5 min); nosilni plin H₂ (7 ml/min, programiran pretok); PSS injektor – temperaturni program segrevanja: 80 °C (0,1 min), 50 °C/min, 110 °C, 15 °C/min, 330 °C (7 min); FID detektor: 340 °C; volumen injiciranja 0,5 µl (na kolono). Heneikozanojsko kislino (S1) smo uporabili za kvantifikacijo prostih maščobnih in smolnih kislin ter diterpenoidov, betulinol (S2) za kvantifikacijo sterolov in dimernih fenolov, holesteril heptadekanoat (S3) za določitev sterolnih estrov in 1,3-dipalmitil-2-oleil glicerol (S4) za določitev trigliceridov. Pri izračunih koncentracij lipofilov nismo uporabili korekcijskega faktorja. Vsebnosti posameznih skupin ekstraktivov so podane kot mg/g suhe mase lesa, pri čemer so bile meje določljivosti okrog 0,01 mg/g.

KVANTITATIVNA ANALIZA ETANOLNIH EKSTRAKTOV (GC-FID)

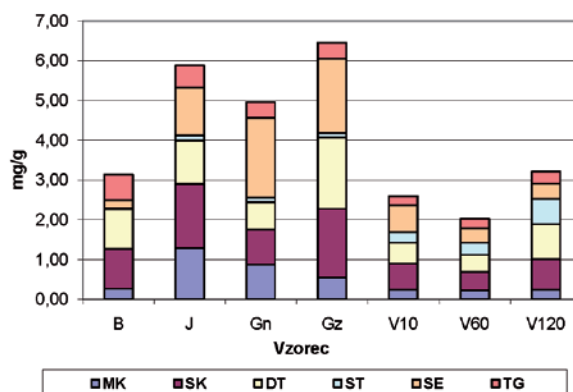
Kvantitativno določitev fenolov smo izvedli s plinsko kromatografijo na aparatu Perkin Elmer AutoSystem XL. Ločba je potekala na koloni HP-1 (25 m x 0,20 mm x 0,11 µm), pri čemer smo uporabili naslednje eksperimentalne pogoje - temperaturni program segrevanja kolone: 120 °C, 6 °C/min, 300 °C (10 min); nosilni plin H₂ (0,8 ml/min); split injektor (1:20) – 160 °C, 8 °C/min, 260 °C (15 min); FID detektor: 320 °C; volumen injiciranja 1 µl. Za kvantifikacijo fenolov smo uporabili interni standard S2 (betulinol). Vse izračunane vrednosti so podane kot mg/g suhe mase lesa.

Vse analize ekstraktivov v vzorcih drevesnih tkiv so bile izvedene v vsaj dveh ponovitvah. Rezultati so podani kot povprečne vrednosti posameznih določitev v mg na g suhe mase lesa.

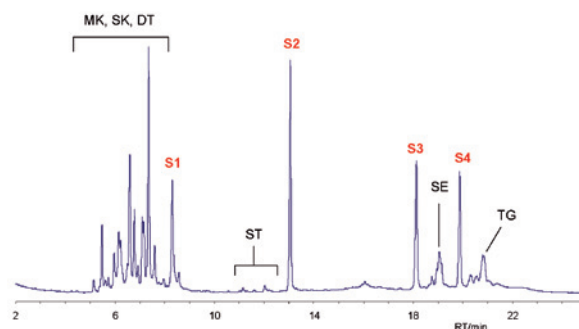
REZULTATI IN DISKUSIJA

LIPOFILNI EKSTRAKTIVI

Analiza heksanskega ekstrakta oz. lipofilne frakcije je pokazala, da se v vseh preiskovanih vzorcih nahajajo iste lipofilne skupine, in sicer proste maščobne in smolne kisline, diterpenoidne komponente, steroli, sterolni estri in trigliceridi, poleg teh pa še sledovi maščobnih alkoholov ter diterpenoidnih alkoholov in aldehydov. Celokupne koncentracije lipofilnih komponent so se gibale v ob-



Slika 2. Sestava lipofilne frakcije v lesnih tkivih na višini 13 m (B-beljava, J-jedrovina, Gn, Gz-notranja in zunanja polovica grče, V10, V60, V120-segmenti veje, MK-maščobne kisline, SK-smolne kisline, DT-diterpenoidi, ST-steroli, SE-sterolni estri, TG-trigliceridi)



Slika 3. GC-FID kromatogram heksanskega ekstrakta beljave na višini 13 m (MK-maščobne kisline, SK-smolne kisline, DT-diterpenoidi, ST-steroli, SE-sterolni estri, TG-trigliceridi, S1-S4-interni standardi)

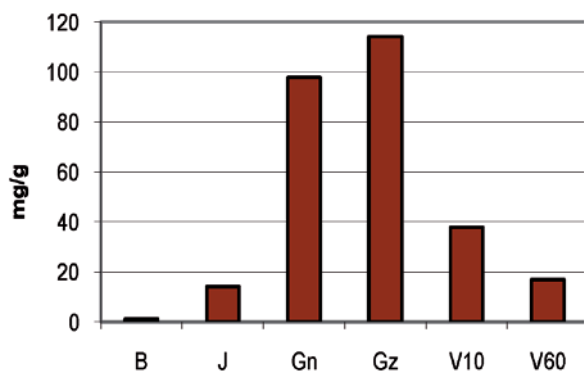
močju med 2 mg/g in 6,5 mg/g. Najnižje koncentracije so bile izmerjene v beljavi in segmentih veje, medtem ko so bile nekoliko višje koncentracije zaznane v jedrovini in grči. Koncentracije lipofilnih skupin so prikazane na sliki 2, tipičen kromatogram heksanskega ekstrakta, posnet na kratki kapilarni koloni pa na sliki 3.

Med zaznanimi maščobnimi kislinami so bile v macesnovih tkivih daleč najpomembnejše nenasičene, in sicer oleinska (C18:1), linolna (C18:2) in pinolenska (C18:3), medtem ko so glavne predstavnice smolnih kislin izopimarinska, palustrinska in abietinska kislina. V vseh tkivih sta se pojavljala tudi diterpenoida epimanol in larkisil acetat. Slednji je bil praktično v vseh vzorcih najpomembnejša lipofilna komponenta. Koncentracije prostih sterolov so bile zelo nizke, med njimi je prevladoval β-sitosterol. Med višjimi lipidi so

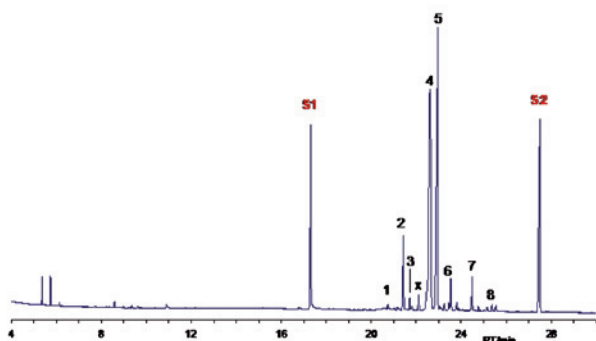
izstopali sterolni estri, medtem ko so bile koncentracije trigliceridov v preiskovanih tkivih na višini 13 m dokaj nizke.

HIDROFILNI EKSTRAKTIVI

Večje razlike v kvalitativni in kvantitativni sestavi tkiv so bile zaznane v primeru hidrofilne, torej v etanolu topne ekstraktivne frakcije. Iz GC-FID kromatogramov izračunane vsebnosti fenolov so se močno razlikovale. V beljavi so bile fenolne komponente prisotne praktično le v sledovih, saj njihova celokupna vsebnost ni presegla vrednosti 0,2 mg/g. V jedrovini in segmentih veje so bile koncentracije fenolov dokaj podobne, in sicer so se gibale med 10 mg/g (V120) in 38 mg/g (V10), pri čemer je povprečna vsebnost v jedrovini znašala 14,4 mg/g. Precej višje koncentracije fenolnih ekstraktivov pa so bile izmerjene v grči, kjer je vsebnost v zunanjem delu grče presegla celo 100 mg/g. Koncentracijska porazdelitev fenolne frakcije



Slika 4. Koncentracije fenolov v različnih tkivih na višini 13 m (B-beljava, J-jedrovina, Gn, Gz-notranja in zunanja polovica grče, V10, V60, V120-segmenti veje)



Slika 5. GC-FID kromatogram etanalnega ekstrakta grče (Gz) na višini 13 m (1-naringenin, 2-dihidroquercetin, 3-taksifolin (iz.), x-neznan fenol, 4-taksifolin, 5-sekoizolaricirezinol, 6-nortrakelogenin, 7-laricirezinol, 8-kvercetin, S1, S2-interna standarda)

v tkivih na višini 13 m je prikazana na sliki 4, GC-FID kromatogram etanalnega ekstrakta macesnove grče (Gz) na višini 13 m pa na sliki 5.

Tudi kvalitativna sestava fenolne frakcije se je med posameznimi tkivi precej razlikovala. Tipično prevladujeta v jedrovini predvsem dve komponenti, in sicer flavonoida taksifolin in dihidroquercetin, medtem ko je fenolna sestava grče in segmentov veje precej bolj raznolika, saj so poleg obeh flavonoidov prisotni tudi lignani. Delež dihidroquercetina se močno zmanjša, poveča se delež lignana sekoizolaricirezinola, hkrati pa je večja tudi vsebnost ostalih fenolnih spojin, kot so naringenin, todolaktol A, izoliovil, nortrakelogenin, laricirezinol in kvercetin. Slednji so v jedrovini komaj zaznavni. Tako je utežno razmerje med flavonoidi in lignani v jedrovini 98 : 2, medtem ko je v grči (Gz) 56 : 44. V vseh tkivih, razen v jedrovini, je bila koncentracijsko najpomembnejša fenolna komponenta flavonoid taksifolin. Kvantitativna sestava fenolne frakcije preiskovanih tkiv je prikazana v preglednici 1.

Izrazito fenolno nehomogenost lesnih tkiv je možno pojasniti tako, da gre koncentriranje fenolov oz. polifenolov v grčah pripisati njihovim antibakterijskim in antioksidativnim lastnostim. Grče so dokaj izpostavljena tkiva, saj pogosto prihaja do ranitev oz. do odlomov vej tik ob deblu. Odprta rana je občutljiva in dovzetna za vdor najrazličnejših mikroorganizmov, prav tako pa premikanje veje ustvarja napetosti in vpliva na kemizem v neposredni okolici oz. na sproščanje prostih radikalov. Nevtralizacija prostih radikalov je pomembna zaščitna sposobnost fenolne molekule, saj mikrobi kot so npr. glive bele trohnobe in glive rjave trohnobe lahko razkrajajo rastlinske celične stene le s pomočjo prostih radikalov. Ker vsebujejo grče pretežno mrtva tkiva, se ne morejo aktivno zoperstaviti infekciji. Najboljša obramba v tem primeru je preventivno skladiščenje velike količine bioaktivnih ekstraktivov, ki so toksični za številne mikroorganizme (Rennerfelt in Nacht, 1955; Hart, 1989; Willför, 2002). Pomembne pa niso zgolj koncentracije temveč tudi sinergistično delovanje fenolnih spojin, saj izkazujejo ustrezne kombinacije flavonoidov in lignanov močnejše bioaktivne lastnosti in zaščitno delovanje kot posamezne spojine.

Analiza fenolnih spojin v lesnih tkivih macesna je pokazala, da je jedrovina slabše kemijsko zaščitena kot grče in veje, saj vsebuje nižje koncentracije in »šibkejšo« kombinacijo fenolov v primerjavi z ostalimi tkivi. Dokazano je, da je tipični jedrovinski flavonoid dihidroquercetin šibkejši antioksidant kot lignan sekoizolaricirezinol, ki je prisoten v jedrovini zgolj v sledovih, se pa kopiči v grči in segmentih veje, ki so bolj izpostavljena tkiva in potrebujejo učinkovitejšo kemijsko zaščito (Pietarinen in sod., 2006) (slika 6).

Preglednica 1. Vsebnost fenolnih spojin v tkivih macesna na višini 13 m

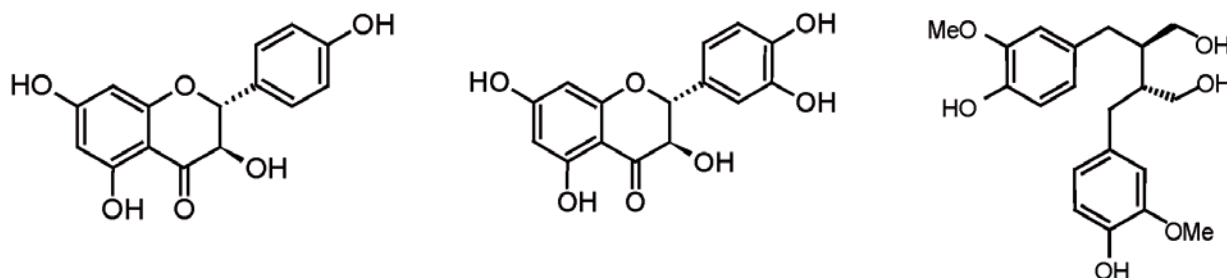
Spojina	Beljava mg/g	Jedrovina mg/g	Grča (n) mg/g	Grča (z) mg/g	Veja (10) mg/g	Veja (60) mg/g	Veja (120) mg/g
Naringenin	0,002	0,19	0,71	0,44	0,42	0,10	0,08
Dihidrokemferol	0,060	8,0	10	7,7	2,0	1,9	1,7
Taksifolin (izomera)	0,001	0,07	1,1	1,0	1,8	0,66	0,29
Todolaktol A	0,008	0,06	0,08	0,11	0,44	0,18	0,24
Neznana spojina	< 0,001	0,02	1,3	1,3	1,4	0,02	0,01
Taksifolin	0,067	5,8	57	54	25	10	5,4
Sekoizolaricirezinol	0,006	0,10	20	40	3,2	1,8	0,46
Izoliovil	0,002	< 0,01	0,12	0,19	0,58	0,36	0,25
Nortrakelogenin	< 0,001	< 0,01	0,78	2,5	0,25	0,07	0,01
Laricirezinol	0,005	0,06	0,27	3,4	0,48	0,12	0,05
Kvercetin	< 0,001	< 0,01	0,04	0,54	< 0,01	0,08	0,01
Ostale spojine	0,040	0,1	5,1	2,0	2,3	2,1	1,6
Skupaj	0,191	14,4	98	114	38	17	10

Taksifolin in sekoizolaricirezinol sodita med najmočnejše antioksidante, ki jih najdemo v rastlinskih tkivih. Sta učinkovitejša od večine znanih vitaminov in karotenoidov. Izkazujeta številne zdravilne lastnosti tudi za človeški organizem, saj delujeta protivnetno, znižujeta visok krvni tlak, krepija imunski sistem, varujeta pred degenerativnimi spremembami v celicah, izboljšujeta umske sposobnosti in podobno, skratka sta spojini z visokim bioaktivnim potencialom in zato z visoko dodano vrednostjo.

Bogata fenolna sestava grč je značilna tudi za druge iglavce, npr. smreko, jelko in borovce. Grče in veje predstavljajo pomemben odpadki lesnopredelovalne industrije, ki ostaja na mestu nastanka v gozdovih oz. se uporablja kot energent v industriji in kurilnicah, pri čemer se uničijo zelo velike količine visoko bioaktivnih spojin, ki bi jih lahko izolirali in uporabili za različne tehnološke namene, npr. v farmaciji ter prehrabeni, kozmetični in kemični industriji kot naravna zaščitna sredstva.

SKLEP

Kemijska karakterizacija lipofilnih in hidrofilnih ekstraktivnih komponent v beljavi, jedrovini, grči in segmentih veje evropskega macesna je pokazala, da se posamezna tkiva razlikujejo tako po celokupni vsebnosti kot tudi glede na sestavo ekstraktivov. Najmanj lipofilnih in hidrofilnih ekstraktivnih spojin v suhi masi vsebujeta beljava (< 0,4 %) in jedrovina (2 %) medtem ko se največje koncentracije nahajajo v grči (12 %) in segmentu veje tik ob deblu (4 %). Za macesen najbolj karakteristična in prevladujoča lipofilna komponenta, ki se pojavlja v vseh tkivih, je diterpenoid lariksil acetat, medtem ko med fenolnimi spojinami v jedrovini prevladujeta flavonoida dihidrokemferol in taksifolin, ki se jima v grčah in vejah pridruži še lignan sekoizolaricirezinol. Bogata ekstraktivna sestava predstavlja učinkovito fizikalno in kemijsko zaščito bolj izpostavljenih lesnih tkiv. Koncentracije visoko biološko aktivnih fenolnih komponent v grčah in vejah so dovolj visoke, da bi



Slika 6. Najpomembnejši fenoli v macesnovih tkivih (dihidrokemferol, taksifolin in sekoizolaricirezinol)

bilo smotrno tehnološko pridobivanje omenjenih spojin iz odpadne lesne biomase, ki bi tako postala surovina za proizvodnjo vsestransko uporabnih »zelenih« kemikalij z visoko dodano vrednostjo.

ZAHVALA

Raziskava je bila izvedena na finski univerzi Åbo Akademi v Turkuju. Za pomoč in sodelovanje se iskreno zahvaljujemo prof. Bjarnu Holmbomu in sodelavcem Jarlu Hemmingu, Markku Reunanenu in Andreyu Pranovichu. Za dragoceno pomoč pri vzorčenju lesnih tkiv se zahvaljujemo Martinu Zupančiču in Luki Kržetu iz Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani.

LITERATURA

1. Aleksandrova N.B., Kuznetsova S.A., Kuznetsov B.N., Danilov V.G., Tarabank,V.E., Shambazov V.K. 2002. Integrated processing of larch wood biomass to fine chemicals. V: 7th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp, Turku: 495-498
2. Babkin V.A., Ostroukhova L.A., Malkov Yu.A., Babkin D.V., Onuchina N.A., Ivanova S.Z. 2001. Isolation of biologically active compounds from larch wood. V: 11th ISWPC International Symposium on Wood and Pulping Chemistry, Nice, June 11-14: 119-12
3. Brewerton H.V. 1956. Extractives of *Larix decidua* and *Larix leptolepis*. New Zealand Journal of Science and Technology, 37B: 626-63
4. Chui Y.H., MacKinnon-Peters G. 1995. Wood properties of exotic larch grown in eastern Canada and north-eastern United States. The Forestry Chronicle, 71, 5: 639-646
5. Doi S., Kurimoto Y., Ohmura Y., Aoyama M., Ohara S. 1998. Attractive factors of steam-treated larch wood to termite feeding. V: 29th Annual Meeting of the IRG, Maastricht, Netherlands, 14-19 June: 1-9
6. Fengel D., Wegener G. 1984. Wood chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin, New York, Walter de Gruyter: 613 str.
7. Gierlinger N., Schwanninger M., Hinterstoisser B., Wimmer R. 2002. Rapid determination of heartwood extractives in *Larix* sp. by means of Fourier transform near infrared spectroscopy. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 10: 203-214
8. Gripenberg J. 1952. Flavanones from the heartwood of *Larix decidua* Mill. Acta Chemica Scandinavica, 6: 1152-1156
9. Hart J. 1989. Role of wood exudates and extractives in protecting wood from decay. V: Natural products of woody plants II. Berlin, Springer: 1120 str.
10. Hawley L.F., Fleck L.C., Richard, C.A. 1924. The relation between natural durability and chemical composition in wood. Ind. Eng. Chem., 16: 699-706
11. Holmbom B., Eckerman C., Eklund P., Hemming J., Nisula L., Reunanen M., Sjöholm R., Sundberg A., Sundberg K., Willför S. 2003. Knots in trees – a new rich source of lignans. Phytochemistry Reviews 2: 331-340
12. Holmbom B., Wilför S., Hemming J., Pietarinen S., Nisula S., Eklund P., Sjöholm R. 2007. Knots in trees – a rich source of bioactive polyphenols. Materials, chemicals and energy from forest biomass - ACS Symposium Series, 954, ACS: 350-362
13. Keith C.T., Chauret G. 1988. Basic wood properties of European larch from fast-growth plantations in eastern Canada. Canadian Journal of Forest Research, 18: 1325-1331
14. Nair G.V., von Rudloff E. 1960. Chemical composition of the heartwood extractives of *Larix lyallii*. Canadian Journal of Chemistry, 38: 177-181
15. Ohmura W., Doi S., Aoyama M., Ohara S. 1999. Components of steamed and non-steamed Japanese larch (*Larix leptolepis* (Sieb. et Zucc.) Gord) heartwood affecting the feeding behavior of the subterranean termite, *Coptotermes formosanus shiraki* (Isoptera: Rhinotermitidae). Holzforschung, 53, 6: 569-57
16. Pietarinen S. P., Willför S.M., Ahotupa M.O., Hemming J.E., Holmbom B.R. 2006. Knotwood and bark extracts: strong antioxidants from waste materials. Journal of Wood Science, 52: 436 – 444
17. Rennerfelt E., Nacht G. 1955. The fungicidal activity of some constituents from heartwood of conifers. Svensk. Bot. Tidskr., 49: 419-432
18. Sasaya T., Demachi S., Terazawa M. 1970. Studies on the extractives of larch. Report 2. Determination of flavonoids in *Larix leptolepis*. Research Bulletins of the Experiment Forest Hokkaido University, 27, 2: 429-443
19. Scheffer T.C., Cowling E.B. 1966. Natural resistance to microbial deterioration. Annual Review of Phytopathology, 4: 147-170
20. Schultz T.P., Hubbard T.F., J. L., Fisher J.L., Nicholas D.D. 1990. Role of stilbenes in the natural durability of wood: fungicidal structure-activity relationships. Phytochemistry, 29: 1501-1507
21. Schultz T.P., Harms W.B., Fisher T.H., McMurtrey K.D., Minn J., Nicholas D.D. 1995. Durability of angiosperm heartwood: the importance of extractives. Holzforschung, 49: 29-34
22. Sjöström E., Alen R. 1999. Analytical methods in wood chemistry, pulping and papermaking. Berlin Heidelberg, Springer: 316 str.
23. Willför S. 2002. Water-soluble polysaccharides and phenolic compounds in Norway spruce and Scots pine stemwood and knots. Åbo Akademi University, Doctoral thesis
24. Willför S.M., Smeds A.I., Holmbom B.R. 2006. Chromatographic analysis of lignans. Journal of Chromatography A., 1112: 64-77
25. Windeisen E., Wegener G., Lesnino G., Schumacher P. 2002. Investigation of the correlation between extractives content and natural durability in 20 cultivated larch trees. Holz als Roh- und Werkstoff, 60: 373-374

VLOGA CEPILNE FRAKTURE V PROCESU FORMIRANJA ODREZKA PRI ORTOGONALNEM ODREZAVANJU

The role of cleavage type fracture in the process of chip formation during orthogonal cutting

Izvleček: Prikazani so pogoji napredovanja oz. loma odrezka tipa I pri ortogonalnem premočrtnem odrezavanju bukovine (*Fagus sylvatica*) v smeri 90° - 0° . Orientirane vzorce lesnega tkiva smo odrezovali z rezilom s prsnim kotom 31° in 42° . Debelina odrezka se je gibala med 0,1 mm in 0,3 mm. Med odrezavanjem so se tvorili segmentirani odrezki, pri čemer je dolžina segmenta naraščala z debelino odrezka. Z metodo končnih elementov smo modelirali odrezek različne dolžine in debeline. Na osnovi izmerjenih mehanskih lastnosti obdelovanega materiala smo izračunali upogibno oz. tlačno trdnost odrezka in faktor koncentracije napetosti na konici razpoke. Napetosti, ki so posledica upogiba odrezka, se pri konstantnem faktorju koncentracije napetosti z naraščanjem razpoke povečujejo. Z upoštevanjem pogoja, da razpoka lahko napreduje zgolj tedaj, ko je faktor koncentracije napetosti K_I na konici razpoke enak kritičnemu faktorju koncentracije napetosti K_{Ic} , in ko je upogibna oz. tlačna napetost σ_x v odrezku manjša od trdnosti σ_y , lahko izračunamo dolžino segmenta odrezka. Odrezek oz. razpoka napreduje vse dokler tlačna napetost ne doseže trdnosti ($\sigma_x = \sigma_y$). Izračunane vrednosti se zelo dobro ujemajo z izmerjenimi. Spremembe dolžin segmentov odrezka so občutne že pri relativno majhnih spremembah upogibne trdnosti in kritičnega faktorja koncentracije napetosti.

Ključne besede: fraktura, odrezek, ortogonalno odrezavanje, razplastitev lesnega tkiva

Abstract: The conditions of chip propagation or chip break in orthogonal oblique cutting of beech wood (*Fagus sylvatica*) in the 90° - 0° direction for a type-I chip are shown. Oriented wood samples were cut at a rake angle of 31° and 42° . The chip thicknesses varied from 0.1 mm to 0.3 mm. During the cutting segmented chip was formed. The segment length increased with the chip thickness. For the modelling of chips of varying length and thickness, the finite element method was used. Using the data obtained from the measured specimen properties, we calculated the compressive stress in the chip and the stress intensity factor at the crack tip. The stresses increase with the crack length at the constant stress intensity factor. Considering the necessary conditions for the crack propagation i.e. the stress intensity factor K_I at the crack tip equals the critical stress intensity factor K_{Ic} and the compressive stress σ_x in the chip is smaller than the strength σ_y , the segment length of the chip can be calculated. The crack propagates until the compressive stress reaches the ultimate value. Comparing the calculated and the measured values a good agreement between them was obtained. The results showed a large sensitivity of the chip segment length. It is significantly changed even at the slightest changes of compressive strength and critical stress intensity factor.

Keywords: fracture, chip, orthogonal cutting, wood tissue delamination

UVOD

Odrezovanje je proces obdelave lesa, kjer s specifično oblikovanim rezilom nadzorovano odstranjujemo del materiala. Pri tem želimo, da je kvaliteta obdelane površine čim boljša, poraba energije pa čim manjša. Za doseganje omenjenih pogojev je potrebno poznati, kaj se dogaja z

* asist. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, e-pošta: miran.merhar@bf.uni-lj.si

** prof. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, e-pošta: bojan.bucar@bf.uni-lj.si

materialom, ki ga odstranjujemo in z materialom, ki ostane po odrezovanju. Da bi čim bolj spoznali omenjeno dogajanje, so bile v preteklosti opravljene številne raziskave. Eno prvih raziskav je opravil Franz (cit. po Koch, 1985), ki je odrezke, nastale pri različnih pogojih odrezavanja, označil kot tip I, II in III. Omenjeni način označevanja se uporablja še danes. Dobro znano je tudi delo McKenzieja (1960, 1962), ki se je ukvarjal z odrezavanjem v smeri 90° - 90° .

Z odrezavanjem v smeri 90° - 0° se je ukvarjal tudi Sitkei (1983), ki je odrezek modeliral kot konzolni nosilec na elastični podlagi. Predpostavil je, da pred konico rezila nastane razpoka. Pogoj za napredovanje le-te pa je, da so vzdolžne tlačne napetosti v odrezku manjše od porušnih, in da so prečne natezne na konici razpoke enake porušnim.

Eden prvih, ki je pri modeliranju odrezka uporabil zakonitosti lomne mehanike, je bil Triboulot (1983). Za različne prsne kote odrezavanja je izračunal faktor koncentracije napetosti K za razcepni (I) in strižni (II) frakturni način. Predpostavil je, da nastaneta prevladujoča tipa odrezkov I in II zgolj kot posledica lomnega načina. Odrezek tipa I nastane s cepitvijo materiala pred samo konico rezila, odrezek tipa II pa naj bi nastal kot posledica nastanka strižnega loma. V obeh primerih se fraktura razširi, ko je koeficient koncentracije napetosti enak kritičnemu.

Williams (1998) je uporabil energijski princip, pri katerem je upošteval disipacijsko energijo zaradi trenja med obdelovancem in rezilom, energijo zaradi upogibnih plastičnih deformacij odrezka pred konico rezila in energijo za nastanek novih površin. Pri dovedeni energiji je upošteval zgolj vzporedno komponento rezalne sile.

Atkins (2003) je za analizo procesa odrezavanja lesa uporabil kar svoj model, ki je bil v osnovi razvit za analizo nastanka odrezka pri odrezavanju kovine. Poleg strižnih napetosti v strižni ravnini in posledično plastične deformacije upošteva tudi delo za nastanek novih površin ter koeficient trenja med odrezkom in rezilom. Model obravnava izključno kontinuiran nastanek odrezka.

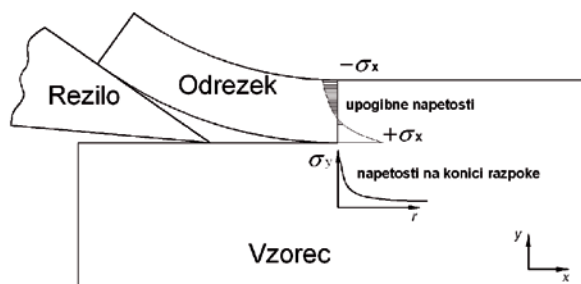
Opisana dela navajajo različne načine modeliranja odrezavanja lesa. Skupno vsem je, da opisujejo pogoje za napredovanje odrezka. McKenzie in Sitkei sta postavila pogoj za napredovanje, pri katerem je napetost pravokotno na smer odrezavanja pred konico rezila enaka porušitveni. Triboulot je za pogoj napredovanja odrezka postavil kar vrednost kritičnega faktorja koncentracije napetosti. Williams in Atkins pa sta z uporabo frakturne mehanike modelirala nastanek kontinuiranega odrezka. Nihče od omenjenih raziskovalcev pa ni modeliral oz. prikazal prehoda med napredovanjem odrezka in lomom le-tega. McKenzie in Sitkei sta sicer nakazala pogoj, pri katerem se odrezek zlomi, njegovo napredovanje pa se ustavi, ven-

dar samega pogoja loma nista modelirala. Podobno je postopal tudi Triboulot, Atkins in Williams pa sta, kot smo že omenili, obravnavala izključno kontinuiran odrezek.

Ker gre pri nastanku odrezka nedvomno za pojav frakture, je potrebno pri nastajanju odrezka upoštevati tudi frakturne lastnosti lesa. Širjenje fraktur v orientiranih vzorcih lesa je bil v preteklosti predmet številnih raziskav. V številnih publikacijah avtorji navajajo metode za izračun koeficienta koncentracije napetosti, ki veljajo zgolj za simetrično obremenjene vzorce (Sih, 1965; Saouma, 1986; Stanzl-Tschegg, 1995; Schachner, 2000; Banks-Sills, 2005). Poleg tega gre v vseh omenjenih publikacijah za kontinuirano širjenje razpoke oziroma cepljenje materiala z umetno povzročeno iniciacijo frakture. V primeru odrezavanja gre za izrazito nesimetrične vzorce in posledično tudi za nesimetrične obremenitve, kar pa vpliva tudi na vrednosti koeficienta koncentracije napetosti.

Sila, potrebna za ortogonalno odrezavanje lesa, je izrazito variabilna, kar je izključno posledica izmenjajočih se načinov porušitve materiala. Predpostavljena kronologija nastajanja odrezka je naslednja. Tvorba odrezka se prične s hipno frakturo, ki povzroči izrazito zmanjšanje rezalne sile, hitrost širjenja loma pa bistveno presega hitrost rezila. Iniciacijo omenjene razpoke lahko povzročijo številne diskontinuitete v materialu, ki so najpogostejše posledica zgodovine obremenjevanja materiala. Sledi cepljenje tkiva, ki fenomenološko sovпада z razmerami pri klasičnih frakturnih testih, vse dokler je faktor intenzivnosti napetosti na konici razpoke enak kritičnemu faktorju koncentracije napetosti $K_I = K_{Ic}$, ter dokler so tlačne napetosti zaradi upogiba v odrezku manjše od porušnih vrednosti. Z večanjem razpoke oz. dolžine segmenta odrezka se tlačne napetosti v odrezku povečujejo. Ko pri določeni dolžini odrezka dosežejo porušno vrednost, nastopi lom upogibno obremenjenega odrezka. Prikaz upogibnih napetosti v odrezku in napetosti na konici razpoke je na sliki 1.

Namen našega dela je analizirati diskontinuirano oziroma intermitenčno nastajanje odrezka tipa I, kot ga navaja



Slika 1. Upogibne napetosti v odrezku in napetosti na konici razpoke

Franz (cit. po Koch, 1985). Z uporabo frakturne mehanike bomo izračunali faktorje koncentracije napetosti in jih primerjali s kritičnimi faktorji koncentracije napetosti. Izračunali bomo tudi napetosti v odrezku zaradi upogiba. Z upoštevanjem obeh izračunov bomo modelirali pogoje za napredovanje oz. lom odrezka.

MATERIALI IN METODE

ODREZAVANJE

Odrezavali smo bukove vzorce (*Fagus sylvatica*) dolžine 130 mm in debeline 10 mm. Vzorci so bili brez vizualnih napak, vzdolžno orientirani s tangencialno teksturo, povprečni ravnovesna vlažnost in gostota pa sta znašali 9,5 % oziroma 678 kg/m³.

Vzorec smo pritrdili na 4-komponentni dinamometer Kistler tip 9272, s katerim smo merili sile v smeri in prečno na smer podajanja. Podatke smo zajemali z merilno kartico AT-Mio-16E1 in programsko opremo LabWiev proizvajalca National Instrument. Frekvenca vzorčenja je bila 10 kHz. Proizvajalec dinamometra navaja lastno frekvenco samega dinamometra v smeri in pravokotno na smer podajanja okoli 4 kHz. Za pritrditev vzorca smo na dinamometer namestili še jekleno ploščo mase 1,8 kg, kar je spremenilo njegovo lastno frekvenco. Da bi ugotovili njegovo dejansko lastno frekvenco, smo ga vzbudili v lastno nihanje in izmerili frekvenco lastnih nihanj v obeh smereh. V smeri podajanja smo izmerili okrog 650 Hz, pravokotno na smer podajanja pa 620 Hz. Rezalno hitrost oz. hitrost rezila, ki je znašala 30 mm/s, smo določili tako, da je bila hipotetična frekvenca loma odrezkov bistveno

nižja od lastne frekvence dinamometra. Odrezovanje je potekalo v smeri 90°-0°, preizkušane pa je bil tangencialno orientiran. Odrezovali smo s HSS rezilom z ostrinskim kotom 30°. Rezilo je bilo nameščeno na voziček z vodili, samo podajanje vozička pa je bilo izvedeno s hidravličnim cilindrom. Hitrost podajanja smo spreminjali zvezno z nastavljivim ventilom pretoka. Eksperimentalni sistem prikazuje slika 2.

Debeline odrezkov smo spreminjali korakom v območju od 0,1 mm pa do 0,3 mm. Spremembe so znašale 0,05 mm. Prsni koti rezila so bili 16°, 22°, 31°, 42° in 54°. Pri prsni kotih 16° in 22° so nastajali kontinuirani odrezki tipa II, pri prsni kotih 31°, 42° in 54° pa so nastajali zgolj diskontinuirani odrezki tipa I. Dolžine segmentov nastalih odrezkov smo izmerili z merilnim mikroskopom.

LASTNOSTI MATERIALA

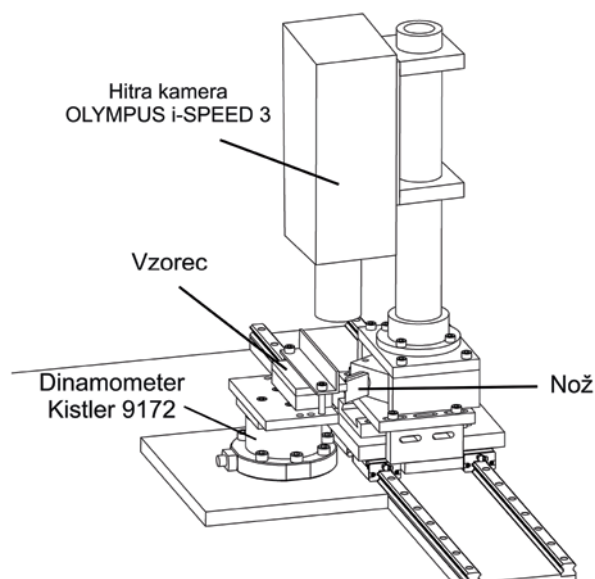
Vzorcem smo določili tudi upogibno trdnost σ_u , modul elastičnosti E in faktor koncentracije napetosti K_{IC} . Upogibno trdnost in modul elastičnosti smo določili s štiritočkovnim upogibom. Dimenzije vzorcev so znašale 105 mm x 10 mm x 5 mm. Za izračun modula elastičnosti smo uporabili relevantne izmerjene vrednosti pri 40 % obremenitvi materiala. Porušno trdnost smo izmerili tudi s konzolnim vzorcem, kjer je bila konzola debela 0,5 mm, dolga pa 16 mm.

Faktor koncentracije napetosti K_{IC} smo določili s CT vzorci na trgalnem stroju. Dolžina vzorcev je bila 120 mm, višina 100 mm in debelina 10 mm. Dolžina razpoke je bila 55 mm. Silo smo merili z dinamometrom, pomik v smeri obremenjevanja pa z namensko izdelanim merilnikom pomika. Vzorci so bili tangencialno longitudinalni, kar pomeni, da smo jih obremenjevali v tangencialni smeri, razpoka pa je napredovala v vzdolžni smeri.

Odzivnost materiala smo modelirali tudi s programom Ansys, pri čemer smo za obremenitev predpostavili največjo izmerjeno silo. Preizkušance smo modelirali kot ortotropen material, analizirali pa smo zgolj ravninsko deformacijsko napetostno stanje. Za modul elastičnosti v vzdolžni smeri smo vzeli izmerjenega, ki je znašal 14500 MPa. Preostale manjkajoče podatke, manjkajoča modula elastičnosti, strižne module in Poissonova razmerja pa smo povzeli po Kollmannu (Kollmann, 1984).

Tako so $E_l = 14500$ MPa, $E_t = 1140$ MPa, $E_r = 2240$ MPa, $\nu_{lt} = 0,518$, $\nu_{tr} = 0,36$, $\nu_{lr} = 0,45$, $G_{lt} = 1055$ MPa, $G_{tr} = 460$ MPa in $G_{lr} = 1600$ MPa.

Faktor koncentracije napetosti K_I smo izračunali z uporabo Rice-ovega J integrala (Banks-Sills in sod., 2005)



Slika 2. Eksperimentalni sistem

$$J = \int_{\Gamma} (W n_x - T_i \frac{\partial u_i}{\partial x}) ds \quad (1)$$

kjer je Γ pot integracije, W gostota deformacijske energije

$$W = \frac{1}{2} \sigma_{ij} \varepsilon_{ij}, \quad (2)$$

n_i normala na pot integracije, vektor poti $T_i = \delta_{ij} n_j$, u_i vektor deformacij in d_s diferencial poti Γ .

Če upoštevamo, da je $J = G$, kjer je G hitrost sproščanja deformacijske energije, ter da je površina razpoke vzporedna z glavno osjo materiala, lahko uporabimo zvezo med G_I ter K_I (Sih, 1965)

$$G_I = \frac{K_I^2}{E'} \quad (3)$$

kjer je E' ekvivalentni modul elastičnosti

$$E' = \left[\frac{b_{11} b_{22}}{2} \left(\sqrt{\frac{b_{22}}{b_{11}}} + \frac{2b_{12} + b_{66}}{2b_{11}} \right) \right]^{-1/2} \quad (4)$$

V primeru ravninskega deformacijskega stanja moramo upoštevati

$$b_{ij} = a_{ij} - \frac{a_{i3} a_{j3}}{a_{33}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, 6) \quad (5)$$

kjer so konstante a_{ij} podajnostni koeficienti materiala

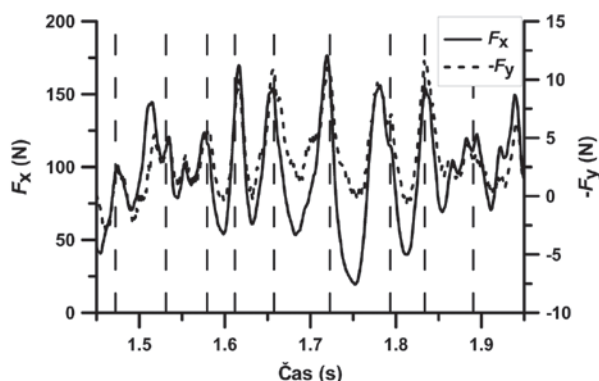
$$a_{11} = \frac{1}{E_{11}}, a_{22} = \frac{1}{E_{22}}, a_{12} = a_{21} = -\frac{\nu_{12}}{E_{11}}, a_{66} = \frac{1}{G_{12}} \quad (6)$$

MODELIRANJE ODREZKA

Debeline modeliranega odrezka h so bile od 0,15 mm do 0,3 mm z dolžinami L od 0,5 mm do 2 mm. Pri posamezni debelini in dolžini odrezka smo silo F obremenjevanja postopno povečevali in vsakič izračunali tlačno napetost v odrezku ter faktor koncentracije napetosti K_I na konici razpoke. Iz dobljene odvisnosti lahko izračunamo silo, potrebno za napredovanje razpoke, to je, kadar je faktor koncentracije napetosti K_I enak kritičnemu faktorju koncentracije napetosti K_{Ic} . Iz dobljene sile pa lahko izračunamo napetosti v odrezku. V primeru, da so izračunane napetosti manjše od porušnih, bo razpoka napredovala. V nasprotnem primeru, ko so napetosti enake porušnim, pa se bo odrezek zlomil in razpoka ne bo napredovala.

REZULTATI IN DISKUSIJA

Slika 3 prikazuje časovni posnetek sile v smeri (F_x) in pravokotno (F_y) na smer podajanja oz. odrezavanja, za odrezek

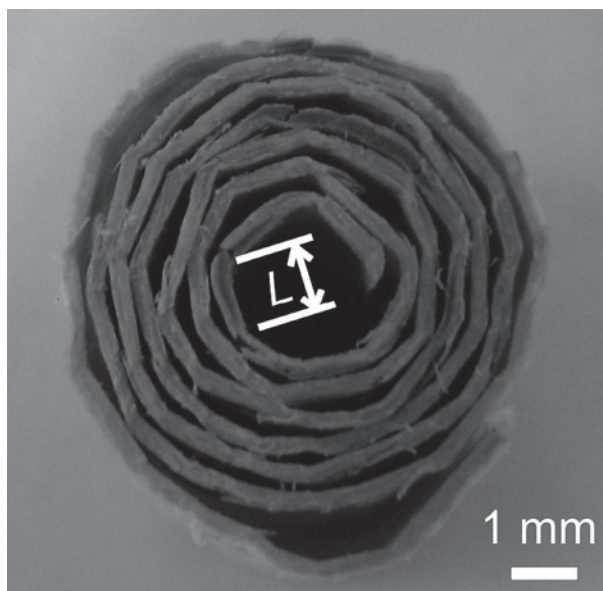


Slika 3. Komponente rezalne sile F_x in negativne F_y skupaj z dolžinami segmentov odrezka (navpična črtkana črta); debelina odrezka 0,3 mm, prsni kot 31°

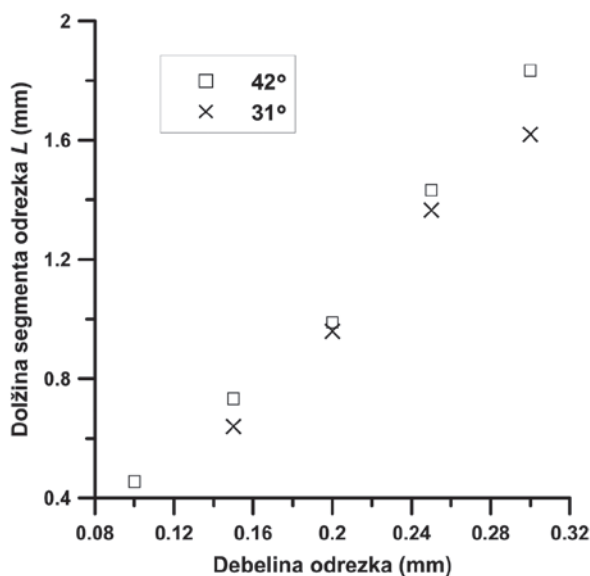
debeline 0,3 mm, nastal pri prsnem kotu rezila 31°. Izrazito nihanje sil je posledica izmenjujočega se delovanja frakture in loma odrezka zaradi upogiba. Ko rezilo pride v stik z lesom, se začne v materialu pred konico kopičiti elastična energija. Ko je nakopičena energija dovolj velika, se ob prisotnosti diskontinuitete v materialu, to je kakršna koli razpoka, nakopičena elastična energija nenadoma sprosti in razpoka hitro napreduje do neke ravnovesne dolžine. Le-ta je odvisna zgolj od količine nakopičene elastične energije. Tik preden se pojavi razpoka, sta komponenti rezalne sile F_x in F_y največji. V nadaljevanju rezilo dviguje odrezek, razpoka pa napreduje do trenutka, ko tlačna napetost v odrezku ne doseže porušne vrednosti. Ko se to zgodi, nastopi lom odrezka. Rezalna sila ne pade na vrednost nič oz. na vrednost odzivne sile, ki je posledica plužnega efekta, saj ima odrezek še vedno določeno togost. Ko rezilo ponovno doseže področja loma odrezka, se celotna zgodba ponovi.

Na sliki 4 je prikazan segmentiran odrezek, ki je nastal v procesu nekontinuiranega odrezavanja. Gre za odrezek tipa I, nekontinuiranost procesa pa je posledica spremenljivega snovnega toka materiala v odrezek. Ob 10x povečavi so lepo vidni segmenti odrezka. Povprečne dolžine segmentov odrezka za različne debeline odrezka nastalih pri prsnih kotih 31° in 42° prikazuje slika 5. Iz prikaza je lepo razvidna odvisnost med dolžino segmentov odrezka in njegovo debelino, pri čemer prsni kot na omenjeno odvisnost ne vpliva.

Porazdelitev dolžin segmentov odrezka debeline 0,3 mm, nastalega pri odrezavanju s prsnim kotom 31°, prikazuje slika 6. Razvidna je variabilnost dolžin segmentov vse od 0,7 mm pa do 3 mm. Vzrok za veliko variabilnost dolžine segmentov lahko iščemo v mikro variabilnosti kritičnega faktorja koncentracije napetosti in porušne trdnosti. Variabilnost omenjenih parametrov nedvomno vpliva tudi na velikost rezalne sile, kar je razvidno iz sl. 3.

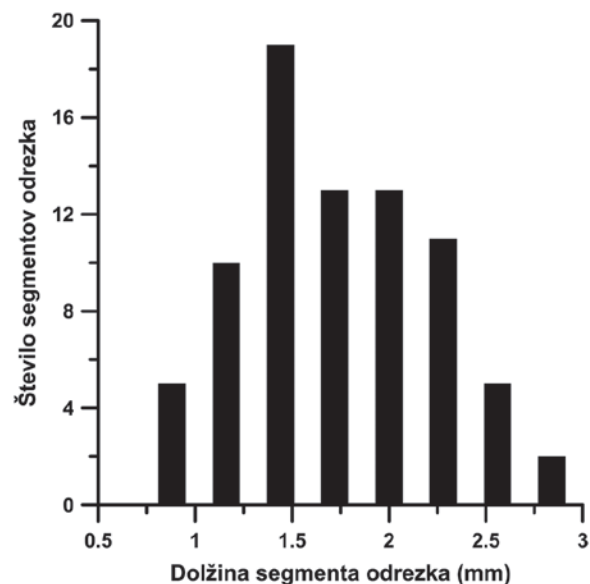


Slika 4. Odrezek debeline 0,3 mm s segmenti L , nastal pri prsnem kotu rezila 31°



Slika 5. Povprečne dolžine segmentov odrezka v odvisnosti od debeline odrezka in prsnega kota

Povprečna vrednost izmerjenega kritičnega faktorja koncentracije napetosti K_{IC} znaša $0,63 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. Trdnost, določena s štiri-točkovnim upogibnim testom, znaša v povprečju 151 MPa , trdnost, določena na konzolno vpetem preizkušancu, pa 185 MPa . Razliko pripisujemo dimenzijam preizkušancev. V primeru štiri-točkovnega testa je bila zaradi večje presečne površine zajeta tudi večja varia-



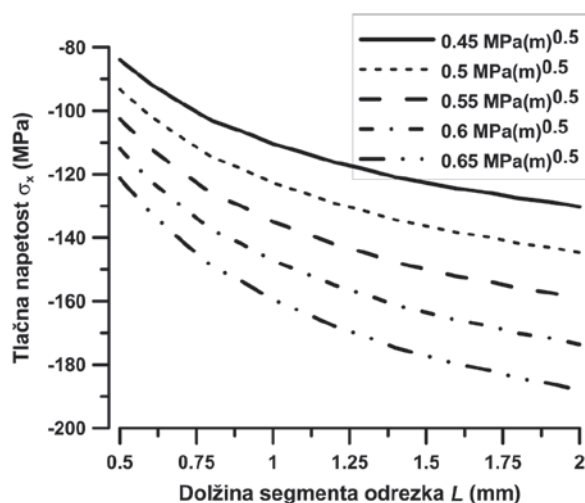
Slika 6. Porazdelitev dolžin segmentov odrezka debeline 0,3 mm, nastalega pri prsnem kotu 31°

Preglednica 1. Izmerjene vrednosti vzorca

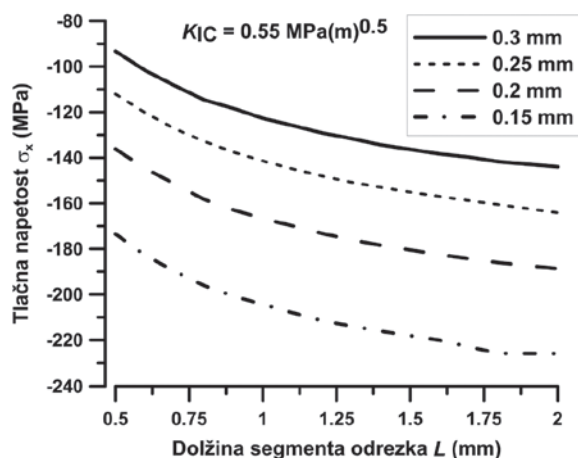
	K_{IC} ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)	E (MPa)	σ_u 4 točk (MPa)	σ_u konz. (MPa)
	0,52	13300	145	183
	0,73	13270	150,5	198
	0,68	15700	168,8	190
	0,56	16640	156,4	170
	0,66	13540	136	
		14874	149	
Povp.	0,63	14554	151,07	185,25
Std. odkl.	0,09	1415,38	11,04	11,87

bilnost materiala, posledično pa je povprečna vrednost nižja. V primeru konzolno vpetega preizkušanca pa je bila presečna površina bistveno manjša, kar pomeni bistveno manjši obseg variabilnosti znotraj vzorca, in pa veliko variabilnost med vzorci. V našem primeru smo naleteli na material z bistveno višjo trdnostjo. Izmerjene lastnosti prikazuje preglednica 1.

Na sliki 7 so prikazane izračunane tlačne napetosti v odrezku debeline 0,3 mm v odvisnosti od dolžine segmenta odrezka in faktorja koncentracije napetosti. Evidentno je, da je tlačna napetost v odrezku pri določeni dolžini segmenta v celoti odvisna od vrednosti faktorja koncentracije napetosti, le-ta pa je odvisen od geometrijskih značilnosti korena iniciacijske razpoke. Ker je velika variabilnost



Slika 7. Tlačne napetosti v odrezku debeline 0,3 mm v odvisnosti od dolžine segmenta odrezka L in faktorja koncentracije napetosti



Slika 8. Tlačne napetosti v odrezku odrezka pri faktorju koncentracije napetosti $K_{Ic} = 0,55 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ v odvisnosti od debeline odrezka in dolžine segmenta L

morfologije korena iniciacijske razpoke v lesnem tkivu bolj pravilo, kot izjema, je dokaj samoumevna tudi posledično velika variabilnost faktorja koncentracije napetosti.

Na sliki 8 je prikazan potek tlačnih napetosti v odrezku v odvisnosti od dolžine segmenta odrezka in njegove debeline pri predpostavljani vrednosti faktorja koncentracije napetosti $0,55 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. Pri tanjših odrezkih je tlačna trdnost dosežena pri bistveno krajših segmentih odrezka, kar pomeni, da je manjši tudi krivinski radij zvitega odrezka. Segmentacija odrezka je v veliki meri povezana s

samo nadzorljivostjo procesa odrezavanja. V primeru, ko je dolžina segmenta odrezka velika, je velika tudi dolžina razpoke, ki nastane kot posledica hipne sprostitve napetosti. Ker se razpoka širi v ravnini, kjer je razplastitev tkiva najverjetnejša, se lahko v primerih, ko smer odrezavanja ne sovпада z ravnino razplastitve, pojavijo določene težave, ki so povezane predvsem z morfologijo površin.

Iz slik 7 in 8 lahko razberemo veliko variabilnost dolžine segmenta odrezka ob dokaj majhnih spremembah kritičnega faktorja koncentracije napetosti in tlačne trdnosti. Glede na variabilnost materiala in različne izmerjene vrednosti, ki jih prikazuje preglednica 1, tako lahko za modul elastičnosti E , kritični faktor koncentracije napetosti K_{Ic} kakor tudi upogibne trdnosti σ_u , zaključimo, da je občutna spremenljivost dolžine segmenta odrezka pričakovana. To nedvomno potrjujejo tudi meritve dolžine segmenta odrezka (slika 6), iz katerih je razvidna tudi do 400 % variabilnost dolžine segmenta odrezka.

ZAKLJUČEK

Prikazana je vloga frakturne mehanike v procesu nastajanja odrezka tipa I. Časovni potek merjenih komponent rezalne sile kaže na to, da v procesu formiranja odrezka tipa I nedvomno prihaja do frakturiranja materiala, ki pa nikakor ni kontinuirano. Ker hitrost gibanja rezila ni enaka hitrosti širjenja frakture oziroma razpoke, je proces odrezavanja diskontinuiran. Morfologija odrezkov potrjuje predpostavljeno kronologijo formiranja odrezka, ki je posledica izmenjujočih se načinov porušitve materiala. Dokazano je bilo, da je dolžina segmenta v odrezku nedvomno zelo občutljiv parameter. Vzrok za veliko variabilnost dolžine segmentov lahko iščemo v mikro variabilnosti kritičnega faktorja koncentracije napetosti in porušne trdnosti.

V izračunih so bile uporabljene metode za linearno stabilno frakturo. Vprašanje je, ali je ta pristop povsem verodostojen. Ugotovili smo, da se les rad nestabilno cepi navkljub enakomernemu prodiranju klina oz. v našem primeru rezila, poleg tega pa se pojavlja tudi »bridging« efekt, kar povzroča nelinearnost. V teku je raziskava stabilnosti cepitve lesa oz. prodiranje razpoke, kjer smo s hitro kamero posneli silo in potek napredovanja razpoke. Navkljub stabilnemu prodiranju rezila v les je razpoka napredovala deloma nestabilno, kar pomeni, da model vtiskanja klina, ki ga je v svojem delu predstavila Stanzl-Tschegg (1995) kot stabilnega, v primeru odrezovanja bukovine ne drži povsem. Problem je nastanek razpoke v še nerazslojenem delu vzorca po lomu odrezka. V tem primeru se rezilo vtiska v les, kjer se kopiči elastična energija. Ob prisotnosti mikro diskontinuitete v materialu se nakopičena energija sprosti in nastala razpoka napreduje do ravnovesne dolžine z zelo veliko hitrostjo. Ko je dose-

žena ravnovesna dolžina razpoke, kjer se porabi nakopičena elastična energija, se razpoka širi skladno s pomikom rezila. Iz časovnega posnetka sil padec hitrosti napredovanja razpoke ni razviden. Sprememba hitrosti postane opazna, če potek sile diferenciramo. Hitrost spremembe sile sovпада s padcem hitrosti napredovanja razpoke, kar smo ugotovili s snemanjem s hitro kamero.

V raziskavi ni upoštevan radij zaokroženosti rezila, ki s svojo geometrijo povzroča plužni efekt. Glede na to, da konica rezila ni absolutno ostra, le-ta prav gotovo vpliva na iniciacijo in napredovanje razpoke.

ZAHVALA

Ministrstvu za visoko šolstvo znanost in tehnologijo se zahvaljujemo za finančno podporo, ki je omogočila nastanek prispevka. Raziskava je bila opravljena v Laboratoriju za mehanske obdelovalne tehnologije v sklopu raziskovalnega programa Razvojna vrednotenja (P2-0182-0481).

REFERENCE

1. **Atkins A.G. (2003)** Modelling metal cutting using modern ductile fracture mechanics: quantitative explanations for some long-standing problems. *International Journal of Mechanical Sciences*, 45:373-396
2. **Banks-Sills L., Hershkovitz I., Wawrzynek P.A., Eliasi R., Ingraffea A.R. (2005)** Methods for calculating stress intensity factors in anisotropic material: Part I- $z = 0$ is a symmetric plane. *Engineering Fracture Mechanics*, 72:2328-2358
3. **Hertzberg R. (1996)** Deformation and Fracture Mechanics of Engineering materials. Wiley, New York
4. **Koch P. (1985)** Utilization of hardwoods growing on southern pine sites. Agriculture handbook no. 605. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington
5. **Kollmann F.F.P., Cote W.A. (1984)** Principles of Wood Science and Technology, Volume I: Solid Wood. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
6. **Le-Ngoc L., McCallion H. (1997)** On the fracture toughness of orthotropic materials. *Engineering Fracture Mechanics*, 58(4):355-362
7. **McKenzie W.M. (1960)** Wood cutting process. *Forest Products Journal*, 10 (9):447-456
8. **McKenzie W.M. (1962)** The relationship between the cutting properties of wood and its physical and mechanical properties. *Forest Products Journal*, 12(6):287-294
9. **Saouma V.E., Sikiotis E.S. (1986)** Stress intensity factors in anisotropic bodies using singular isoparametric elements. *Engineering Fracture Mechanics*, 25(1):115-121
10. **Schachner H., Reiterer A., Stanzl-Tschegg S.E. (2000)** Orthotropic fracture toughness of wood. *Journal of Material Science Letters*, 19:1783-1785
11. **Sih G.C., Paris P.C., Irwin G.R. (1965)** On cracks in rectilinearly anisotropic bodies. *International Journal of Fracture Mechanics*, 1(3):189-203
12. **Sitkei G. (1983)** Fortschritte in der Theorie des Spanens von Holz. *Holztechnologie*, 24:67-70
13. **Stanzl-Tschegg S.E., Tan D.M., Tschegg E.K. (1995)** New splitting method for wood fracture characterization. *Wood Science and Technology*, 29:31-50
14. **Triboulot P., Asano I., Ohta M. (1983)** An application of fracture mechanics to the wood-cutting process. *Mokuzai Gakkaishi*, 29(2):111-117
15. **Williams J.G. (1998)** Friction and plasticity effects in wedge splitting and cutting fracture tests. *Journal of Material Science* 33:5351-5357

SEZONSKA DINAMIKA DEBELINSKE RASTI SADIK BORA IN BUKVE V LETU 2010 V RAZLIČNIH KLIMATSKIH RAZMERAH

Seasonal dynamics of radial growth of pine and beech saplings in 2010 in different climate conditions

Povzetek: V pričujoči raziskavi smo spremljali sezonsko dinamiko debelinske rasti enoletnih sadik rdečega bora (*Pinus sylvestris*) in navadne bukve (*Fagus sylvatica*). Eksperiment je potekal v rastni sezoni 2010, pri čemer smo skupine sadik izpostavili trem različnim okoljskim razmeram; v rastlinjaku, hladilni komori in na prostem (kontrola). Vpliv različnih okoljskih razmer na debelinsko rast sadik je bil opaznejši pri sadikah bora. Na debelinsko rast pri sadikah bora je negativno vplivalo hladno okolje, saj se je rast prej zaključila kot pri sadikah na prostem in v rastlinjaku. Pri sadikah bukve, ki so bile izpostavljene različnim okoljskim razmeram, nismo opazili razlik v dinamiki debelinske rasti.

Ključne besede: debelinska rast, *Fagus sylvatica*, kambij, klimatske razmere, les, *Pinus sylvestris*, poskus, sadike, umrljivost

Abstract: In the present study, we followed the seasonal dynamics of radial growth of one-year old saplings of Scotch pine (*Pinus sylvestris*) and common beech (*Fagus sylvatica*). The experiment was conducted during the growing season of 2010, when groups of saplings were exposed to three different environmental conditions; i.e. greenhouse, cooling chamber and outdoors (control). The influence of different environmental conditions on radial growth of trees was more noticeable in case of pine saplings. Cooler environment had a negative impact on radial growth in pine saplings since growth ended earlier in those saplings compared to the greenhouse and outdoors. In beech saplings, which were exposed to different environmental conditions, no differences in the dynamics of radial growth were observed.

Key words: radial growth, *Fagus sylvatica*, cambium, climatic conditions, wood, *Pinus sylvestris*, experiment, saplings, mortality

1. UVOD

Rast in razvoj dreves sta nadzorovana z notranjimi in zunanjimi dejavniki. Za drevesne vrste zmernege pasu je značilno periodično menjavanje obdobjev aktivnosti in dormance kambija, ki je v splošnem povezano z izmenja-

vami hladnih in toplih ali pa sušnih in deževnih obdobjev. Drevesa vsako leto tvorijo novo plast lesa, katere značilnosti določajo strukturo lesnih branik ter s tem lastnosti lesa (Larson, 1994; Plomion in sod., 2001).

Vpliv določenih klimatskih dejavnikov na sezonsko dinamiko debelinske rasti dreves je mogoče preučevati na drevesih, ki rastejo v naravnem okolju ali pa v eksperimentalno nadzorovanih razmerah (npr. Riding in Little, 1984, 1986; Mellerowicz in sod., 1992; Barnett in Miller, 1994; Rossi in sod., 2009). Ker je spremljanje rasti in razvoja odraslih dreves v njihovem naravnem okolju eksperimentalno zelo

* doc. dr., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za prirastoslovje in gojenje gozda, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, e-pošta: jozica.gricar@gozdis.si

** univ. dipl. inž. gozd., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno fiziologijo in genetiko, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

***prof. dr., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno fiziologijo in genetiko, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

zahtevno in drago, so v svetu zelo uveljavljene raziskave na sadikah, ki potekajo v nadzorovanih razmerah. Takšen pristop omogoča simulacijo različnih rastnih razmer in celovite študije odziva sadik na spremenjene okoljske razmere.

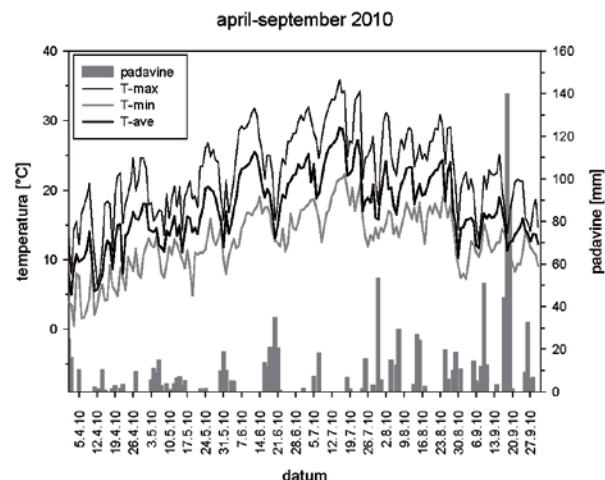
V pričujoči raziskavi smo spremljali sezonsko dinamiko debelinske rasti enoletnih sadik rdečega bora in navadne bukve. Eksperiment je potekal v rastni sezoni 2010, pri čemer smo skupine sadik izpostavili trem različnim okoljskim razmeram; v rastlinjaku, hladilni komori in na prostem (kontrola).

2. MATERIAL IN METODE

Za poskus, ki je potekal v rastni sezoni 2010, smo izbrali enoletne sadike rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) in navadne bukve (*Fagus sylvatica* L.). V novembru 2009 smo vsem sadikam izmerili premer stebela ter višino, jih označili in posadili v lonce (slika 1). Eksperiment smo zastavili v treh različnih okoljskih razmerah; rastlinjaku, hladilni komori in na prostem (kontrola). V vsakem režimu je bilo 30 sadik bukve in 40 sadik bora. Premer stebel vsake posamezne sadike smo vsakih 14 dni izmerili s kljunastim merilom na 0,1 mm natančno.

Kontrolne sadike bora in bukve so bile v loncih in postavljene na prostem, približno 10 m od rastlinjaka. Izpostavljene so bile naravnim klimatskim razmeram v Ljubljani v letu 2010 (slika 2). Vremenska postaja, ki je beležila povprečne, maksimalne in minimalne dnevne temperature zraka in količino padavin, je bila nameščena v neposredni bližini sadik.

Sadike v rastlinjaku so bile izpostavljene višjim temperaturam kot kontrolne sadike (slika 3). Minimalne temperature zraka so bile nad 10 °C, medtem ko so maksimalne velikokrat presegle 30 °C. V rastlinjaku in hladilni komori je bilo potrebno sadike zalivati. Zalivanje je bilo ročno glede na predhodno izmerjeno vlažnost substrata, ki smo ga merili s FD sondo Dacagon EC-5. Vlažnost substrata smo vzdrževali nad 15 %. V obdobju mirovanja (november 2009 –



Slika 2. Povprečne, maksimalne in minimalne dnevne temperature zraka in količina padavin v Ljubljani v obdobju med aprilom in septembrom 2010

marec 2010) smo sadike bukve na vsake 10 - 14 dni zalili z 1,5 dcl vode iz lokalnega vodovoda, sadike bora pa z 1 dcl vode. V obdobju rasti je bilo zalivanje pogostejše; tj. enkrat do trikrat na teden. Merili smo tudi relativno zračno vlažnost v obeh prostorih in zadostno vlažnost (70 % - 90 %) vzdrževali z zračnimi vlažilci.

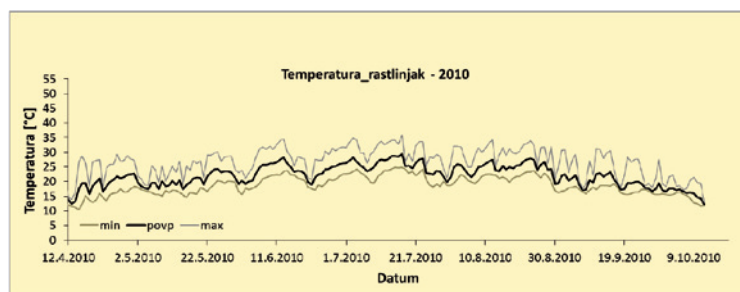
Sadike v hladilni komori so bile izpostavljene nižjim in bolj konstantnim temperaturam v primerjavi s kontrolnimi sadikami (slika 4). Minimalne temperature zraka so bile okoli 15 °C, maksimalne okoli 20 °C in povprečne okoli 17 °C.

3. REZULTATI IN DISKUSIJA

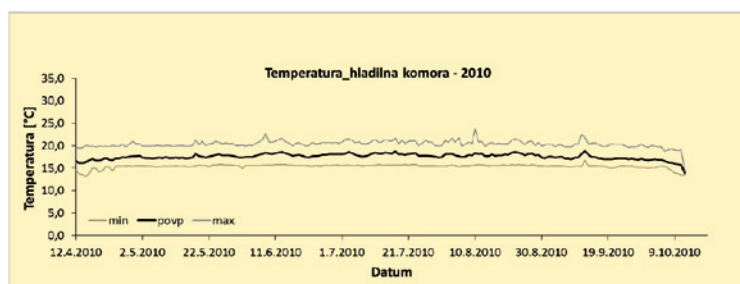
Ob koncu rastne sezone 2010 smo preverili, koliko sadik je propadlo v posameznih režimih (preglednica 1). Mortalitet je bila največja pri borih na prostem (12,5 %). Delni vzrok za to bi bilo mogoče pripisati napadom insektov, tj. male borove zapredkarice (*Acantholyda hieroglyphica*), ki roji v juniju in juliju ter odlaga jajčeca na konec pogankov. Ličinke, ki se zapredejo v zapredek, žrejo iglice nav-



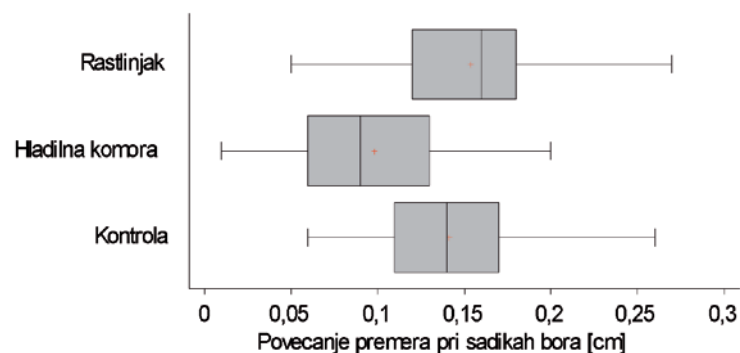
Slika 1. a) Sadike bora v hladilni komori; b) sadike bukve v rastlinjaku in c) kontrolne sadike bora in bukve na prostem



Slika 3. Povprečne, maksimalne in minimalne dnevne temperature zraka v rastlinjaku v obdobju med aprilom in septembrom 2010



Slika 4. Povprečne, maksimalne in minimalne dnevne temperature zraka v hladilni komori v obdobju med aprilom in septembrom 2010



Slika 5. Povečanje premera pri sadikah bora v različnih režimih v letu 2010

Preglednica 1. Umrljivost sadik v posameznih režimih

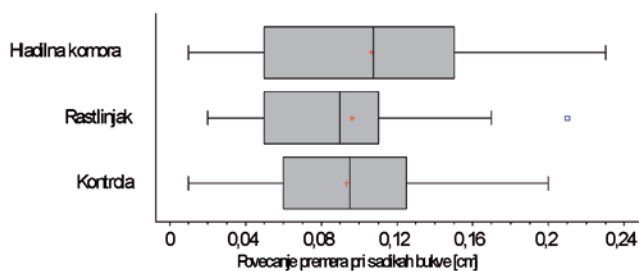
	Bor [%]	Bukev [%]
Kontrola	12,5	0
Rastlinjak	8,7	10
Hladilnica	5	0

z dol po terminalnem poganjku. Poškodbe oz. defoliacijo povzročajo v mladih sestojih in drevesnih sadikah (Ogris, 2010). Z rednim odstranjevanjem zapredkov na sadikah smo skušali njihov negativni vpliv in škodo kar-seda omiliti. V rastlinjaku je propadlo 8,7 % vseh sadik bora, v hladilni komori pa le 5 %. Pri sadikah bukke je bila stopnja umrljivosti znatno manjša, saj je propadlo le 10 % sadik v rastlinjaku, medtem ko so na prostem in v hladilni komori preživele vse sadike.

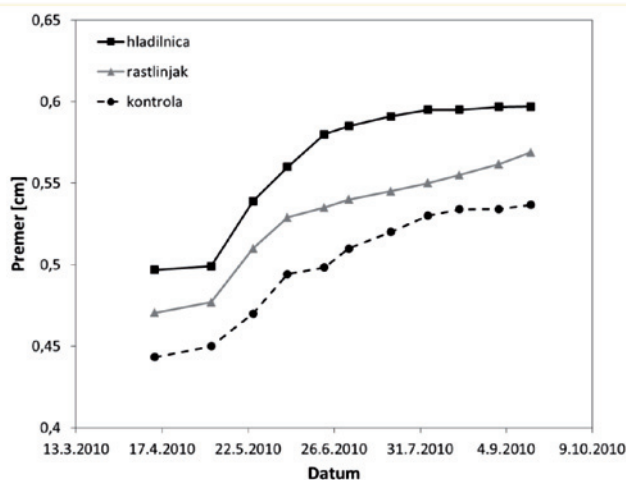
Z rednimi meritvami premera stebel sadik na istem mestu smo sledili njihovemu pri-raščanju v debelino v letu 2010. Variabilnost v povečanju premera med vzorci sadik bora je bila v vseh treh primerih precejšnja in primerljiva (rastlinjak $sd = 0,05$; hladilna komora $sd = 0,05$; kontrola $sd = 0,05$) (slika 5). Pri borih v hladilni komori smo zabeležili najmanjši dvojni debelinski prirastek (srednja vrednost = 0,10 cm), medtem ko so bile povprečne vrednosti pri borih v rastlinjaku (srednja vrednost = 0,15 cm) in na prostem (srednja vrednost = 0,14 cm) primerljive. Debelinski prirastek borov v hladilnici je bil statistično značilno manjši.

Pri sadikah bukke, ki so bile izpostavljene različnim okoljskim razmeram v rastni sezo-ni 2010, nismo opazili nobenih razlik v širini letnega debelinskega prirastka (slika 6); hla-dilna komora (srednja vrednost = 0,11 cm), rastlinjak (srednja vrednost = 0,10 cm) in na prostem (srednja vrednost = 0,09 cm). Varia-bilnost med vzorci je bila v vseh primerih ve-lika in primerljiva (rastlinjak $sd = 0,06$; hladilna komora $sd = 0,06$; kontrola $sd = 0,05$).

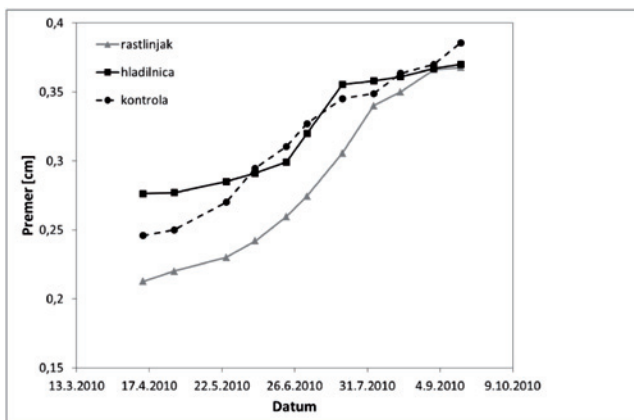
Z rednimi meritvami premera stebel sadik med vegetacijo smo skušali ovrednotiti di-namiko debelinskega priraščanja. Širina lesne branike je namreč odvisna od dinamike pri-raščanja in trajanja kambijeve aktivnosti. Maksi-mum debelinske rasti je pri sadikah bukke v vseh režimih konec maja (slika 7). Pri kontrol-nih sadikah bora je bil maksimum rasti ravno tako konec maja, v hladilni komori konec ju-nija in v rastlinjaku v začetku julija (slika 8). Po-leg tega pri sadikah bukke v različnih režimih nismo zasledili razlik v trajanju debelinske ra-sti, medtem ko se je rast pri sadikah bora za-ključila prej (konec julija) kot pa v ostalih dveh režimih (druga polovica avgusta).



Slika 6. Povečanje premera pri sadikah bukve v različnih režimih v letu 2010



Slika 7. Dinamika debelinskega priraščanja sadik bukve v različnih režimih v letu 2010



Slika 8. Dinamika debelinskega priraščanja sadik bora v različnih režimih v letu 2010

Iste drevesne vrste, ki rastejo na različnih rastiščih, se prilagodijo razmeram okolja glede začetka, konca in dinamike kambijeve aktivnosti, kar kaže na njihovo veliko fleksibilnost in plastičnost. Drevesne vrste se močno razlikujejo v plastičnosti in so jo različno sposobne razviti. Plastičnost je v določenih razmerah prednost, v nekaterih pa ne, oziroma je lahko celo slabost (Linhart in Grant, 1996). Fenotipska plastičnost predstavlja razliko v rasti in razvoju organizmov, ki jo povzročijo spremembe v okolju (Alpert in Simms, 2002). Obsežne raziskave sezone dinamike kambijeve aktivnosti pri številnih iglavcih, ki rastejo v hladnih področjih zmerne pasu, so pokazale, da je obdobje maksimalne celične produkcije okoli poletnega solsticija (21. junij), ko je dan najdaljši (Rossi in sod., 2006). Pred tem so domnevali, da so celične delitve najintenzivnejše v obdobju najvišjih temperatur, t.j. nekje v sredini julija (Mäkinen in sod., 2003). Vendar pa naj bi se drevesa uravnavala po stanovitnejšem signalu fotoperiode in ne po temperaturah (Rossi in sod., 2006). Poleg tega bi časovno usklajevanje maksimalne stopnje debelinske rasti s temperaturno kulminacijo, ki nastopi mesec dni kasneje, za rastline predstavljalo preveliko tveganje, saj poteka diferenciacija zadnjih nastalih celic v širokih lesnih branikah do pozne jeseni. Vendar pa se lahko obdobje najintenzivnejšega priraščanja pri iglavcih zamakne proti začetku vegetacije v neugodnih rastnih sezonah (npr. suha in vroča poletja) ali pri vrstah, ki rastejo na neugodnih rastiščih (Gričar, 2007). Za listavce pa je po drugi strani značilno, da imajo lahko maksimum debelinske rasti nekoliko prej, in sicer med koncem maja in sredino junija (Gričar, 2008).

4. SKLEPI

Vpliv različnih okoljskih razmer na debelinsko rast dreves je bil bolj opazen pri sadikah bora kot pri sadikah bukve. Na debelinsko rast sadik bora je hladnejše okolje negativno vplivalo, saj se je rast pri teh sadikah zaključila prej kot pri sadikah na prostem in v rastlinjaku. Pri sadikah bukve, ki so bile izpostavljene različnim okoljskim razmeram, nismo opazili razlik v dinamiki debelinske rasti. Vsekakor pa je smiselno nadaljevati z eksperimentom v naslednjih rastnih sezonah, saj se nekateri odzivi lahko pokažejo šele v daljšem obdobju.

5. ZAHVALA

Prispevek je bil pripravljen v okviru raziskovalnega programa Gozdna biologija, ekologija in tehnologija P4–0107 in projektov, ki jih financira Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije: L7–2393, V4–0496 in L4–2265 ter programa za usposabljanje mladih raziskovalcev.

Zahvaljujemo se Špeli Jagodic, Jani Janša, Ines Štraus, Meliti Hrenko in Barbari Štupar z Gozdarskega inštituta Slovenije za pomoč pri delu.

6. LITERATURA

1. **Alpert P., Simms E.L. (2002)** The relative advantages of plasticity and fixity in different environments: when is it good for a plant to adjust? *Evolutionary Ecology*, 16: 285-297
2. **Barnett J.R., Miller H. (1994)** The effect of applied heat on graft union formation in dormant *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. *Journal of Experimental Botany*, 45: 135-143
3. **Gričar J. (2007)** Xylo- and phloemogenesis in silver fir (*Abies alba* Mill.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Studia forestalia Slovenica, Professional and Scientific Works*, Ljubljana, 106
4. **Gričar J. (2008)** Dinamika ksilogeneze pri gradnu v letu 2007 = Xylogenesis dynamics in sessile oak during 2007. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 86: 45-50
5. **Larson P.R. (1994)** The vascular cambium. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: 725 str.
6. **Linhart Y.B., Grant M.C. (1996)** Evolutionary significance of local genetic differentiation in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 27: 237-ics,
7. **Mäkinen H., Nöjd P., Saranpää P. (2003)** Seasonal changes in stem radius and production of new tracheids in Norway spruce. *Tree Physiology*, 23: 959-968
8. **Mellerowicz E.J., Coleman W.K., Riding R.T., Little C.H.A. (1992)** Periodicity of cambial activity in *Abies balsamea*. I. Effects of temperature and photoperiod on cambial dormancy and frost hardiness. *Physiologia Plantarum*, 85: 515-525
9. **Ogris N. (2010)** Priročnik za določevanje vzrokov poškodb drevja: medmrežna različica. www.zdravgozd.si
10. **Plomion C., Leprévost G., Stokes A. (2001)** Wood formation in trees. *Plant Physiology*, 127: 1513-1523
11. **Riding R.T., Little C.H.A. (1984)** Anatomy and histochemistry of *Abies balsamea* cambial zone cells during the onset and breaking of dormancy. *Canadian Journal of Botany*, 62: 2570-2579
12. **Riding R.T., Little C.H.A. (1986)** Histochemistry of the dormant vascular cambium of *Abies balsamea*: changes associated with tree age and crown position. *Canadian Journal of Botany*, 64: 2082-2087
13. **Rossi S., Deslauriers A., Anfodillo T., Morin H., Saracino A., Motta R., Borghetti M. (2006)** Conifers in cold environments synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length. *New Phytologist*, 170: 301-310
14. **Rossi S., Simard S., Deslauriers A., Morin H. (2009)** Wood formation in *Abies balsamea* seedlings subjected to artificial defoliation. *Tree Physiology*, 29: 551-558, doi:10.1093/treephys/tpn044

MORFOLOŠKI IN FIZIOLOŠKI ODZIV MLADIH BUKEV (*FAGUS SYLVATICA* L.) NA SVETLOBO V NARAVNIH BUKOVIH SESTOJIH SLOVENIJE

Morphological and physiological light response of young beech (*Fagus sylvatica* L.) on natural sites in Slovenia

Izvleček: V sklopu proučevanja odziva bukve (*Fagus sylvatica* L.) na okoljske spremembe smo izbrali pet raziskovalnih ploskev z bukvami enake starosti vzdolž svetlobnega gradienta (ISF %) od razmer s polno zastrtostjo sestoja, preko gozdnega roba z delno zastrtostjo do sestojne vrzeli. Primerjali smo razlike v fiziološkem (maksimalna asimilacija) in morfološkem odzivu (plagiotropna rast; razmerje med dolžino in višino drevesc (l/h)) med ploskvami in znotraj svetlobnih kategorij. Potrdili smo različen odziv mladih dreves v pragozdu in gospodarskem gozdu ter razlike med proučevanima gozdnima kompleksoma (Pohorje in Kočevje). Mejna vrednost za plagiotropno rast je znašala na Pohorju 25% ISF, na Kočevskem območju pa 17 % ISF.

Ključne besede: svetloba, plagiotropna rast, odziv bukev, asimilacija, bodoča kakovost

Abstract: In view of evident changes in the reaction of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to environmental changes, five plots with young trees of the same age were established and studied. The beech trees were equally distributed along the light gradient and were divided according to light conditions (Indirect Site Factor, ISF) into groups of stand conditions, edge and open area conditions, without the sheltering effect of a mature stand. Differences among canopy, edge and open area responses were confirmed with high significance on all plots. On the same trees, the relation between tree length and height (l/h) was compared under various light conditions. Different physiological and morphological responses of young beech were observed between managed and virgin forest and between different forest complexes; the value of limiting light for a plagiotropic response was lower in Kočevje region (17 % ISF) than on Pohorje region (25 % ISF).

Keywords: light, plagiotropic growth, beech response, assimilation, future quality

UVOD

Večji del Slovenije pokrivajo mešani in listnati gozdovi. Kakovost in prihodnji razvoj obstoječih (bukovih) sestojev je odvisen od dobrega poznavanja vrste in njenega odziva, posebno v okolju z zmanjšano svetlobno intenziteto (npr. pod matičnim sestojem) in v mlajših razvojnih fazah. Dobro poznavanje odziva vrste je predpogoj za ustrezne gojitvene odločitve v okolju hitro spreminjajočih se dejavnikov, saj tako omogoča obstoj in večjo kakovost bodočih sestojev (Kazda 1997).

Sencozdržne vrste kot npr. bukev lahko prilagodijo svojo rast in morfologijo skromnim svetlobnim razmeram. V senci minimizirajo rast in oblikujejo drugačno razporeditev listja tako, da je svetlobni učinek čim večji, tudi orientacija poganjkov je drugačna glede na osebke, ki uspevajo na odprtem. Kolenasta ali plagiotropna rast debela, ki se kaže kot odklon od navpične osi ter asimetrično in pahljačasto razviti krošnji, je med najmanj zaželenimim pojavi, ki zmanjšujejo kakovost bodočega debela in se povečujejo z večanjem zastrtosti, posebno pri mladih osebkih (Lüpke s sod. 2004). Nekateri raziskovalci povezujejo pojav tudi z manjšo vitalnostjo (Nicolini 2000), posebno med sencozdržnimi vrstami (Canham 1989).

* dr., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija;
e-pošta: matjaz.cater@gozdis.si

Na različnih rastiščih bukve v Sloveniji smo v enakih svetlobnih razmerah primerjali morfološke in fiziološke kazalce odziva mladih bukovih dreves.

MATERIALI IN METODE

Meritve smo izvedli na ploskvah z mladimi bukovimi drevesi starosti od 10 do 15 let na naravnih bukovih rastiščih Pohorja (Brička in Kladje) in Kočevskega Roga (Snežna jama, Rajhenav, Vrhovo) v letih 2003, 2004 in 2005.

Ploskvi Brička in Kladje se nahajata na potencialnih rastiščih acidofilnega bukovja (*Luzulo albidae-Fagetum*) (Urbančič in Kutnar 2006), ploskvi Snežna jama in Rajhenav pa na rastiščih dinarskega jelovega bukovja (*Omphalodo-Fagetum*) (Kutnar in Urbančič 2008).

Na vsaki ploskvi velikosti 100x100m smo določili enotne svetlobne razmere s pomočjo hemisfernih posnetkov na osnovi tesnosti sklepa krošenj (ISF v %) in jih razvrstili v tri skupine: sestojne razmere, gozdni rob in razmere z malo ali brez zastiranja odraslega sestoja. Na vsaki ploskvi smo znotraj posamezne skupine za meritve naključno izbrali 24 mladih bukovih dreves. Morfološki odziv smo določali s primerjavo razmerja med dolžino in višino drevesc (l/h) v primerljivih svetlobnih kategorijah; v primeru pahljačaste rasti je postalo razmerje med dolžino in višino mladelega drevesa večje in obratno. Za mejno vrednost med oligo- in plagiotropno vrsto rasti smo izbrali vrednost 1,1.

Vrednosti svetlobe, kjer je prišlo do odklona od vertikalne rasti, smo določili za vsako ploskev ločeno. Podatke razmerja (l/h) v odvisnosti od svetlobe smo primerjali z ujemanjem triparametrsk negativne eksponentne krivulje in z njenim odvodom računsko določili mesto prevoja (1).

$$Y = A + B \cdot \exp^{-b \cdot x} \quad (1)$$

Razlike med skupinami in ploskvami smo primerjali z analizo variance in posteriorno analizo.

REZULTATI

V ugodnih svetlobnih razmerah je drevesna debelna os navpična, krošnja simetrična, z zmanjševanjem intenzitete svetlobe pod kritično vrednostjo pa prihaja do vse večjega odklona in posledično večje vrednosti razmerja (l/h). Primerjava vrednosti, pod katerimi je prišlo do kolenaste rasti, je bila različna med ploskvama Pohorja in Kočevskega Roga (preglednica 2).

Na vseh ploskvah je prišlo do drugačne rasti, če je intenziteta svetlobe upadla pod 20 % ISF. Povprečni odziv na ploskvah Pohorja je bil drugačen od poprečnega odziva na ploskvah Kočevskega Roga (slika 1).

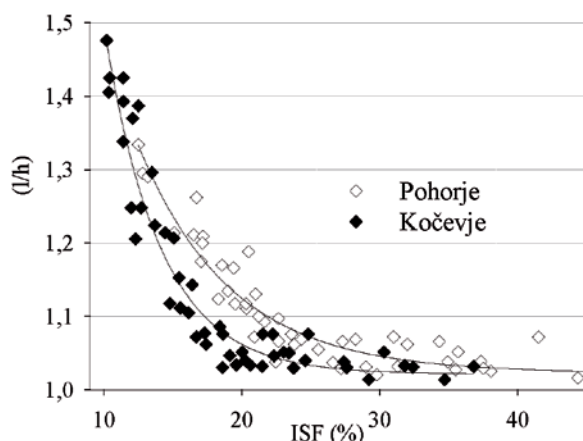
Vrednosti razmerja (l/h) so bile večje na ploskvah Kočevskega Roga, enak morfološki odziv pa so povzročile manjše vrednosti svetlobne intenzitete kot na ploskvah Pohorja.

Preglednica 2. Svetlobne razmere (ISF %) in pojav kolenaste rasti (razmerje med dolžino in višino debela (l/h)); podane so vrednosti, pod katerim je prišlo do pojava

Ploskev	ISF (%) pri (l/h = 1,1)	r ²
Vrhovo	23	0,89
Brička	23	0,94
Kladje	22	0,96
Snežna jama	17	0,95
Rajhenav	16	0,91

Preglednica 1. Značilnosti in lokacija raziskovalnih ploskev

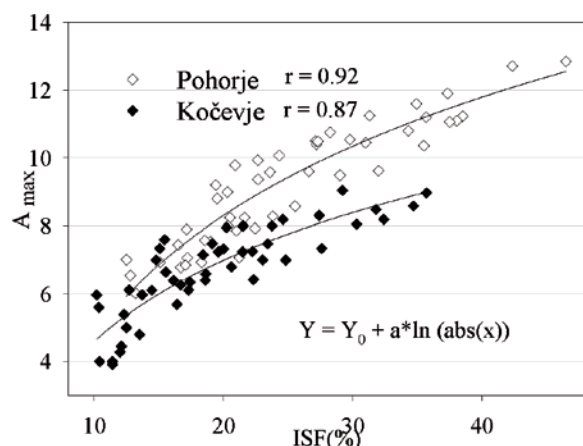
Ploskev	Nadm. višina (m)	Lat (0)	Long (0)	Letne padavine (mm)	Poprečna letna T (°C)	Talni tip	Št. dreves (Št. / ha)	Lesna zaloga (m ³ /ha)
Brička	1093	46°28'40"	15°15'40'	1190	9,1	Dystric Cambisol	173	477
Kladje	1308	46°28'48"	15°23'24"	1066	9,2	Dystric Cambisol	126	302
Vrhovo	273	45°48'25"	15°18'11"	1138	9,4	Acris Luvisol	189	479
Sn. jama	875	45°39'15"	15°01'40"	1330	8,3	Rendzic Leptosol	166	612
Rajhenav	865	45°39'36"	15°03'36"	1330	8,3	Rendzic Leptosol	167	992



Slika 1. Primerjava razmerja med dolžino in višino debel glede na svetlobne razmere (ISF) na ploskvah Pohorja in Kočevja

Tudi fiziološki odziv med ploskvami enakih svetlobnih razmer in med gozdnima kompleksoma je bil različen povsod (vse ploskve) med vsemi kategorijami svetlobne intenzitete z izjemo ploskve Rajhenava (pragozd), kjer nismo potrdili razlik v odzivu med gozdnim robom in razmerami na prostem ($df_{1,14}$; $F=0,13$; NS).

Vrednosti maksimalne fotosinteze so bile v vseh svetlobnih kategorijah vedno večje in značilno različne na ploskvi Rajhenav, kot v Snežni jami (zastor - $df_{1,30}$; $F = 285,99^{***}$), rob ($df_{1,30}$; $F = 171,68^{***}$), odprto ($df_{1,30}$; $F = 93,30^{***}$), kljub primerljivi vrednosti dušika v listju (Čater in Simončič, 2009; Čater, 2010).



Slika 2. Maksimalna asimilacija (A_{max}) v odvisnosti od svetlobne intenzitete; primerjava med gozdnima kompleksoma.

Razlike asimilacije (A_{max}) v odvisnosti od svetlobne intenzitete med gozdnima kompleksoma prikazuje slika 2.

RAZPRAVA IN SKLEPI

Sposobnost morfološke prilagoditve na različne svetlobne razmere je vrstno - specifična lastnost (Messier s sod., 1999), ki je do sedaj niso uspeli povezati s sencozdržnostjo (Messier in Nikinmaa, 2000; Paquette s sod., 2007). Zmanjševanje intenzitete svetlobe pod 20 % razmer na prostem zmanjša debelinski prirastek za 50 %, posebno v koreninskem delu (Burschel in Schmaltz, 1965), pod 10 % intenzitete sevanja nastopi močno umiranje osebkov in izrazita kolenasta rast, pod 8 % relativnega sevanja se zmanjša sinteza skupne biomase mladega bukovega drevja za 50 %, pri 1 % pa preživijo najvitalnejši bukovi osebki največ 2 leti (Röhrig, 1967).

Na Kočevskem z dolgoletno tradicijo sonaravnega gozdnega gospodarjenja (Diaci, 2006) je bil odziv proučevanih bukev drugačen kot na ploskvah Pohorja, kjer so v preteklosti pospeševali smreko na prvotnih bukovih rastiščih. Mejna vrednost za začetek kolenaste rasti je nastopila, če je intenziteta svetlobe upadla pod 22 % relativne osvetljenosti na Pohorju in pod 16 % na ploskvah Kočevske, kar označuje bukovo mladje na Kočevskem kot bolj sencozdržno. Razmerje med dolžino in višino drevesa (l/h) kot posledica svetlobnih razmer (zastiranje odraslega sestoja, položaj posameznega drevesa) je lahko dober indikator bodoče kakovosti in mehanske stabilnosti dreves.

Z raziskavo smo potrdili razlike v odzivu med gospodarskim gozdom in pragozdom znotraj istega gozdnega kompleksa; fotosintetska učinkovitost je bila večja v vseh svetlobnih kategorijah pragozdnega dela, kljub podobnim (neznačilnim) razlikam v vsebnosti dušika v listju proučevanega drevja (Čater in Simončič, 2009; Čater, 2010). Nekateri avtorji navajajo za mejne vrednosti intenzitete svetlobe 10 % (Wagner in Müller-Using, 1997) ali 15 % (Schmitt s sod., 1995), ki so nekoliko manjše od tistih, dobljenih za Pohorje. Lüpke s sod. (2004) navaja, da je plagiotropna oz. kolenasta rast izraziteje prisotna v razmerah prevladujoče difuzne komponente, vendar nanjo izrazito vpliva način gospodarjenja (Gralla s sod., 1997; Pampe s sod., 2003).

Raziskava je pokazala eksponentno naraščanje neželene ga tipa razrasti s povečevanjem tesnosti sklepa krošenj pod določeno mejno vrednostjo; usmerjenost terminalnih poganjkov ni več navpična, zato je vprašljiva bodoča kakovost takih dreves. Zagotavljanje intenzitete sevanja, večjega od 15 % do 25 % v mlajših fazah bukovij in zadostna presvetljenost odraslega sestoja tako ustvarjata ugodne razmere za razvoj kakovostnih bukovih sestojev. Zanimiva bi bila študija genetskih parametrov, saj so bile

do sedaj potrjene razlike le med različno onesnaženimi deli v Sloveniji (Brus, 1996).

VIRI

1. Čater M. (2010) Shoot morphology and leaf gas exchange of *Fagus sylvatica* as a function of light in Slovenian natural beech forests. *Dendrobiology*, 64: 3-11
2. Čater M., Simončič P. (2009) Photosynthetic response of young beech (*Fagus sylvatica* L.) on research plots in different light conditions. *Šumar. list.*, 83, 11/12: 569-576
3. Burschel P., Schmaltz J. (1965) Die Bedeutung des Lichtes für die Entwicklung junger Buchen. *Allg. Forst Jagdztg.*, 136: 193-210
4. Brus R. (1996) Vpliv onesnaževanja ozračja na genetsko strukturo bukovih populacij v Sloveniji (The effect of air pollution on the genetic structure of beech populations in Slovenia). *Zb. gozd. lesar.*, 49: 67-103
5. Canham C.D. (1989) Different responses to gaps among shade-tolerant tree species. *Ecology*, 70: 548-550
6. Diaci J. (2006) Fifty years of restoration in Norway spruce replacement forests in Slovenia. In: Simončič, P. (ed.), Čater, M. (ed.). *Splošne ekološke in gozdnogojitvene osnove za podsadnjo bukne (Fagus sylvatica L.) v antropogenih smrekovih sestojih*, (Studia forestalia Slovenica, št. 129). Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije, Silva Slovenica: 130-141
7. Gralla T., Müller-Using B., Uden T., Wagner S. (1997) Über die Lichtbedürfnisse von Buchenvoranbauten in Fichtenbaumhölzern des Westharzes. *Forstarchiv*, 68: 51-58
8. Kazda M. (1997) Lichtverteilung in Waldbeständen - Konsequenzen für den Waldbau. *Österreichische Forstzeitung*: 11-13
9. Kutnar L., Urbančič M. (2008) Influence of site and stand conditions on diversity of soil and vegetation in selected beech and fir-beech forests in the Kočevje region. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 80: 3-30
10. Lüpke B.v., Ammer C., Bruciamacchie M., Brunner A., Ceitel J., Collet C., Deleuze C., Di Placido J., Huss J., Jankovic J., Kantor P., Larsen J.B., Lexer M., Löf, M., Longauer R., Madsen P., Modrzyński J., Mosandl R., Pampe A., Pommerening A., Stefancik I., Tesar V., Thompson R., Zientarski J., (2004) Silvicultural strategies for conversion. In: Spiecker, H., Hansen, J., Klimo, E., Sterba, H., Skovsgaard, J.-P., Teuffel, von, K., (ed.): *Norway spruce conversion - Options and Consequences*. EFI Research Report 18, S. Brill Academic Publishers, Leiden, Boston: 121-164
11. Messier C., Doucet R., Ruel J.C., Claveau Y., Kelly C., Lechowicz M.J. (1999) Functional ecology of advance regeneration in relation to light in boreal forests. *Can J Res.*, 29: 812-823
12. Messier C., Nikinmaa E. (2000) Effects of light availability and sapling size on the growth, biomass allocation, and crown morphology of understory sugar maple, yellow birch, and beech. *Ecoscience* 7:345-356
13. Nicolini E. (2000) Nouvelles observations sur la morphologie des unités de croissance du hêtre (*Fagus sylvatica* L.). Symétrie des pousses, reflet de la vigueur des arbres. *Can. J. Bot.* 78: 77-87
14. Pampe A., Spellmann H., Schmidtke H., Rieckmann P. (2003) Jugendwachstum und Differenzierung von Fichtennaturverjüngungen - Konsequenzen für die waldbauliche Behandlung. *Forst und Holz* 58: 390-394
15. Paquette A., Bouchard A., Cogliastro A. (2007) Morphological plasticity in seedlings of three deciduous species under shelterwood under-planting management does not correspond to shade tolerance ranks. *For. Ecol. Managem.*, 241: 278-287
16. Röhrig E. (1967) Wachstum junger Laubholzpflanzen bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen. *Allg. Forst und J. Ztg.*: 224-239
17. Schmitt H.P., Mertens B., Lüpke B.v (1995) Buchenvoranbau im Stadtwald Meschede., *Allg. Forstzeitschr.*, 50: 1071-1075
18. Urbančič M., Kutnar L. (2006) Site conditions of the plot "Brička" and comparisons with other "Sustman" plots. *Studia Forestalia Slovenica*, Slovenian Forestry Institute: 68-85
19. Wagner S., Müller-Using B. (1997) Ergebnisse der Buchen-Voranbauversuche im Harz unter besonderer Berücksichtigung der lichtökologischen Verhältnisse. In: *Bodenordnung u. Forsten Landesanstalt für Ökologie, Waldbau von Nadelholzreinbeständen in Mischbeständen*. Schriftenreihe d. LÖBF / Landesamt f. Agrarordnung NRW, 13: 17-30

EKTOMIKORIZA IN DROBNE KORENINE BUKVE (*FAGUS SYLVATICA* L.) V ODRASLIH SESTOJIH, MLADJU IN NA SADIKAH

Beech (*Fagus sylvatica* L.) ectomycorrhiza and fine roots in
mature forests, regeneration stands and on seedlings

Povzetek: Združbe ektomikoriznih gliv so pomemben člen v dinamiki kroženja hranil v gozdnih tleh in prispevajo k pestrosti gozdnih ekosistemov. S primerjavo ektomikoriz in drobnih korenin na osmih različnih rastiščih po Sloveniji smo ugotavljali vpliv starosti bukovega sestoja na parametre pestrosti združbe ektomikoriznih gliv. Tipe ektomikorize smo določili na osnovi anatomskih in molekularnih lastnosti, hkrati smo določili deleže posameznih tipov ektomikorize glede na vitalne drobne korenine ter indekse pestrosti. Ugotovili smo, da se indeksi pestrosti ektomikorize med odraslimi in mlajšimi sestoji ne razlikujejo, kar lahko razlagamo z dejstvom, da bukev sodi med vrste, ki so manj občutljive na zunanje dejavnike, in da so gozdni ekosistemi z bukvi v Sloveniji dobro ohranjeni. Manjša izenačenost števila posameznih vrst in večje število drobnih korenin v mlajših sestojih pa potrjujeta za navadno bukev značilno strategijo intenzivnega zavzemanja razpoložljivega prostora in njeno veliko kompetitivnost z ostalimi vrstami v zgornjih plasteh tal.

Ključne besede: anatomska in molekularna identifikacija, indeksi pestrosti, starost sestoja, tla, združba ektomikoriznih gliv

Summary: Ectomycorrhizal communities play an important role in the dynamics of forest floor nutrient cycling and contribute to the diversity of forest ecosystems. This study compared the differences of ectomycorrhiza and fine roots at eight different locations in Slovenia to ascertain the influence of stand age on the parameters of ectomycorrhizal communities. The types of ectomycorrhiza were quantified by counting and determined by their anatomical, and molecular characteristics. Diversity indices were calculated in relation to all fine roots in samples. The results indicated no difference in the diversity indices between mature stands and younger stands, which could be explained by the fact that common beech belongs to the group of species less sensitive to external factors, as well as the fact that common beech forest ecosystems in Slovenia are well preserved. Lower evenness of the number of individual species and higher number of fine roots in younger stands confirm that beech employs the strategy of intensive occupation of disposable space and is highly competitive against other species in upper soil horizons.

Keywords: anatomical and molecular identification, diversity indices, stand age, soil, ectomycorrhizal community

UVOD

Navadna bukev je značilna ektomikorizna drevesna vrsta zmerne pasu (Smith in Read, 2008), s širokim naravnim arealom v Evropi, kjer ima pomembno ekološko

vlogo v različnih združbah (Jalas in Suominen, 1976), široko pa je razširjena tudi v Sloveniji (Ficko in sod., 2008). Micelij ektomikoriznih gliv in ektomikoriza predstavljata ključno povezovalno komponento med viri in porabniki hranil v gozdnih tleh (Kraigher, 1996), drobne korenine pa doprinesejo znaten delež k celokupni količini ogljika, shranjenega v gozdnih tleh (Grebenc in Kraigher, 2009).

* Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija,
e-pošta: anita.masek@gmail.com

V bukovih gozdovih Slovenije je bilo v preteklem desetletju opravljenih nekaj raziskav pestrosti ektomikorize in dinamike drobnih korenin glede na onesnaženost rastišč (Al Sayegh Petkovšek, 2004) in glede na različne načine gospodarjenja z gozdom (Westergren in sod., 2005; Grebenc, 2005, Grebenc in sod., 2009).

Na izbranih raziskovalnih ploskvah v Sloveniji smo ugotavljali, ali arbitrarno postavljena starostna kategorija sestoja (odrasel sestoje, mladje, nasad) vpliva na izbrane parametre združbe ektomikoriznih gliv in drobnih korenin pri navadni bukvi in s tem kaže na različne doprinose k celokupni pestrosti gozdnih ekosistemov z navadno bukvijo.

METODOLOGIJA

OPIS RAZISKOVALNIH PLOSKOV

V članek smo vključili 8 raziskovalnih ploskev iz različnih bukovih sestojev (Preglednica 1). Za lokacijo Abitanti smo podatke zbirali in analizirali sami, za ostalih sedem pa smo podatke povzeli iz predhodnih raziskav.

METODA VZORČENJA, IDENTIFIKACIJE

Na vseh ploskvah (razen Kamenski hrib) sta bila vzorčenje ter analiza ektomikorize in drobnih korenin izvedena po

postopku, opisanem v Kraigher (1996), kjer se v standardnem volumnu tal (274 ml) analizira tipe ektomikorize in prešteje število kratkih (drobnih) korenin. Drobne korenine smo očistili delcev zemlje ter jih pod lupo ločili na staro ektomikorizo in vitalne tipe ektomikorize, ki smo jih nato identificirali na osnovi anatomskih in morfoloških lastnosti (Agerer, 1991) ter s primerjavo molekularnih markerjev (Kraigher, 1996, Grebenc in sod., 2009). Na lokaciji Kamenski hrib je bil vzorčen in analiziran celoten koreninski sistem sadik, čemur smo kasneje ustrezno prilagodili tudi statistično analizo podatkov, ki so neposredno povezani z volumnom analiziranih vzorcev.

V vseh vzorcih smo prešteli število vitalnih ektomikoriznih korenin, število odmrlih drobnih korenin, število tipov ektomikorize in izračunali indeks bogastva vrst, Shannon-Weaverjev indeks vrstne pestrosti, indeks izenačenosti in uravnoveženosti vrst (Atlas in Bartha, 1981) ter delež vitalnih ektomikoriznih korenin med vsemi drobnimi koreninami. Dobljene vrednosti smo statistično ovrednotili glede na lokacijo in starost sestoja, pri čemer smo postavili tri kategorije: »odrasel sestoje« – odrasel sestoje z bukvijo, brez bukovega mladja v podrašti, »mladje« – sestoje (mikrolokacija), v katerem prevladuje bukov mladje do višine 4 m s prisotnimi posameznimi odraslimi drevesi, ter »sadike« – sadike bukve, sajene na provenienčnem poskusu Kamen-

Preglednica 1. Opis raziskovalnih ploskev

	Rastlinska združba	Klimatski pas	Nadmorska višina	Tip tal	Kamninska osnova
Abitanti	Ni podatka	Submediteranski	360 m	Ni podatka	fliš
Snežna jama	<i>Omphalodo-Fagetum</i>	Dinarski	880-890 m	rjava pokarbonatna	apnenec
Rajhenavski Rog	<i>Omphalodo-Fagetum</i>	Dinarski	850-900 m	rjava pokarbonatna	apnenec (kredni)
Kamenski hrib	Provenienčni nasad	Predinarski	540 m	eutrični kambisol in haplični luvisol	apnenec
Zavodnje	<i>Castaneo-Fagetum sylvaticae</i> var. geogr. <i>Hieracium rotundatum</i>	Predalpski	830 m	distrična rjava tla	tonalit
Dobovec	<i>Dentario-Fagetum</i>	Predalpski	790 m	rendzina in rjava pokarbonatna tla	apnenec
Preža	<i>Lamio orvale-Fagetum praedinaricum</i>	Dinarski	670 m	rendzina in rjava pokarbonatna tla	apnenec
Moravske gredice	<i>Blechno-Fagetum</i>	Dinarski	540 m	distrična rjava tla	skrilavci, peščenjaki

Preglednica 2. Indeksi pestrosti, število in deleži vitalne ektomikorize, starih drobnih korenin, starost sestoj na mestu odvzema posameznega vzorca (1 - odrasel sestoj, 2 – mladje, 3 – sadike) in šifra (oznaka) vzorca, kot je navedena v izvirni objavi podatka.

Lokacija	Abitanti					Snežna jama					Rajhenavski Rog									
	1	2	3	4	5	6	1	2	9	10	1	2	5	6	7	8	9	10		
Šifra vzorca	1																			
Starost	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1		
Št. tipov ECM	12	5	8	9	8	9	5	5	9	11	9	12	7	8	2	6	10	12		
Št. vitalnih kore-nin	3027	681	741	1226	800	984	788	844	647	425	243	417	563	521	114	431	688	823		
Št. starih ECM	2450	3004	3300	5583	6291	4643	1717	1441	1834	1629	938	1218	895	1150	451	635	1144	1296		
Skupaj korenin	5477	3685	4041	6809	7091	5627	2505	2285	2481	2054	1181	1635	1458	1671	565	1066	1832	2119		
Bogastvo vrst	3.16	1.41	2.44	2.59	2.41	2.67	0.60	0.59	1.24	1.65	1.46	1.82	0.95	1.12	0.21	0.82	1.38	1.64		
Shannon Weaver indeks	1.36	1.06	1.88	1.93	1.62	1.43	1.02	0.78	1.75	1.45	1.34	2.28	1.50	1.62	0.17	1.55	1.40	2.15		
Izenačenost	0.17	0.16	0.29	0.27	0.24	0.21	0.15	0.12	0.27	0.24	0.24	0.38	0.24	0.26	0.04	0.26	0.21	0.32		
Uravnoveženost	1.26	1.51	2.09	2.02	1.80	1.49	1.46	1.12	1.83	1.40	1.40	2.11	1.77	0.18	0.57	2.00	1.40	2.00		
% ECM	55.27	18.48	18.34	18.01	11.28	17.49	31.46	36.94	26.08	20.69	20.58	25.50	38.61	31.18	20.18	40.43	37.55	38.84		
Referenca	Ta študija					Grebenc, 2005;					Grebenc in sod., 2009									
											Grebenc, 2005; Grebenc in sod., 2009									

Lokacija	Kamenski hrib			Zavodnje				Dobovec				Preža				Moravške gredice				
Šifra vzorca	Sella	Idrija	Nizbor	Zb1	Zb2	Zb II	Zb III	Zb IV	D1	D2	DsIII	Db3II	III	P1	P2 II	PA1 III	PA III	Mg2	Mg2 II	Mg III
Starost	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Št. tipov ECM	8	14	9	11	15	16	10	10	10	12	10	8	8	17	9	7	9	13	7	10
Št. vitalnih korenin	1213	4338	2522	1873	2901	2551	1606	1026	1214	1342	1108	1180	751	1160	1875	1773	1667	1550	1511	2408
Št. starih ECM	3127	2718	1916	14414	11460	3131	1705	2537	3528	3367	2739	935	2265	4526	3544	2032	2046	2685	3301	3480
Skupaj korenin	4340	7056	4438	16287	14361	5682	3311	3563	4742	4709	3847	2115	3016	5686	5419	3805	3713	4235	4812	5888
Bogastvo vrst	2,27	3,57	2,35	3,10	4,00	4,40	2,80	3,00	2,90	3,50	2,90	2,30	2,40	5,20	2,40	1,80	2,50	3,80	1,90	2,70
Shannon Weaver indeks	1,80	1,68	1,59	1,50	2,00	2,00	1,40	1,30	1,60	2,30	2,00	1,80	1,80	2,60	1,60	2,60	1,80	2,80	1,30	1,90
Izenačenost	0,87	0,64	0,72	0,60	0,70	0,70	0,60	0,60	0,70	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,70	0,70	0,80	1,10	0,70	0,80
Uravnoveženost	1,99	1,47	1,67	1,44	1,70	1,66	1,40	1,30	1,60	2,13	2,00	1,99	1,99	2,11	1,68	3,08	1,89	2,51	1,54	1,90
% ECM	2795	61,48	56,83	11,50	20,20	44,90	48,50	28,80	25,60	28,50	28,80	55,80	24,90	20,40	4,60	46,60	44,90	36,60	31,40	40,90
Referenca	Westergren in sod., 2004			Al Sayegh Petkovšek, 2004				Al Sayegh Petkovšek, 2004				Al Sayegh Petkovšek, 2004				Al Sayegh Petkovšek, 2004				

ski hrib, ki so bile v času vzorčenja stare 7 let (Westergren in sod., 2004). Za podatke s po tremi kategorijami (indeksi in deleži) smo za primerjavo uporabili test ANOVA, za parno primerjavo absolutnih vrednosti števila korenin in ektomikorize pa Studentov T test.

REZULTATI

V bukovem sestoju na ploskvi Abitanti smo skupno analizirali 32730 drobnih korenin, od katerih je bilo 7459 ektomikoriznih in so na osnovi anatomsko-morfoloških lastnosti pripadale 43 različnim tipom ektomikorize. Iz ostalih študij smo povzeli podatke še za okoli 42000 vitalnih ektomikoriznih korenin ter skupno 131876 drobnih korenin (Preglednica 2).

Izhodiščno hipotezo, ki predvideva razlike med sestoji različnih starosti, smo potrdili le za število vitalnih ektomikoriznih korenin in število tipov ektomikorize (vrst gliv), ki se odraža tudi v sicer neznatni razliki parametra bogastva vrst. V obeh primerih je bilo število značilno večje v odraslem sestoju brez mladja. Značilno razliko med izenačenostjo analiziranih skupin ($p=0.0055$) smo ugotovili predvsem na račun vzorcev sadik iz provenienčnega poskusa (Preglednica 3).

DISKUSIJA

Navadna bukev je pomembna vrsta slovenskih gozdov, tako s stališča lesne produkcije kot s stališča nosilca biotske raznovrstnosti gozdnih ekosistemov, v katerih se pojavlja. V predhodnih študijah smo ugotavljali, da lahko nekateri vplivi, kot je kronično izpostavljanje sestoji povečanim koncentracijam ozona v krošnjah, značilno vplivajo na pojavljanje tipov ektomikorize in na število drobnih ko-

renin (Grebenc in Kraigher, 2007; Železnik in sod., 2007), pa tudi na hitrost in čas življenjskega cikla (Mainiero in sod., 2009), medtem ko se indeksi raznovrstnosti različno onesnaženih gozdnih raziskovalnih ploskev bukovih sestojev niso značilno razlikovali (Al Sayegh Petkovšek, 2004). Celostni pregled parametrov pestrosti glede na starost sestoja oziroma gospodarjenje do sedaj še ni bil narejen, razen za primer analize vpliva sestojne vrzeli, kjer pojav vrzeli pričakovano vpliva na drastično zmanjšanje števila drobnih korenin in vrstne pestrosti tipov ektomikorize (Grebenc, 2005; Grebenc in sod., 2009).

Pregled razpoložljivih in primerljivih analiz ektomikorize in drobnih korenin na navadni bukvi za Slovenijo je pokazal, da se indeksi pestrosti ektomikorize (bogastvo vrst in z njim povezan Shannon Weaverjev indeks vrstne pestrosti) med analiziranimi kategorijami ne razlikujejo. Značilno večji koeficient izenačenosti v kategoriji »odrasel sestoj« pa kaže, da je število posameznih vrst v teh vzorcih bolj izenačeno kot pri kategorijah »mladje« in »sadike«, kjer med opaženimi tipi ektomikorize prevladuje samo en ali pa manjše število tipov.

Za skupno število drobnih korenin smo v odraslem sestoju v primerjavi z mladjem ugotovili neznatno manjše vrednosti, razlika pa je postala statistično značilna, če smo ločeno analizirali samo vitalne ektomikorizne korenine. Neznatne razlike lahko razlagamo z (v splošnem) dobro ohranjenostjo gozdnih ekosistemov z bukvijo v Sloveniji ter dejstvom, da navadna bukev sodi med vrste, ki so manj občutljive na zunanje dejavnike (onesnažila) (Al Sayegh Petkovšek, 2004; Kraigher in Al Sayegh Petkovšek, 2011). Manjše število drobnih korenin v starejših sestojih je v soglasju s predhodnimi preglednimi objavami (Finer in sod., 2007).

Za navadno bukev je v primerjavi z drugimi drevesnimi vrstami značilna strategija intenzivnega zavzemanja razpoložljivega prostora (gozdnih tal) (Leuschner in sod., 2001) in velika kompetitivnost z morebitnimi ostalimi vrstami v sestoju, predvsem v zgornjih plasteh tal (Curt in Prévosto, 2003), ki smo jih analizirali tudi mi. V tem smislu lahko dodatno potrdimo odsotnost značilnih razlik v skupnem številu drobnih korenin med analiziranimi starostnimi kategorijami. Prispevek navadne bukve k biotski raznovrstnosti mikoriznih gliv je ne glede na starostno kategorijo sestoja nesporen, kar kažejo tudi primerjave z indeksi pestrosti sestojev drugih ektomikoriznih vrst gozdnega drevja (Kraigher, 1999; Kernaughan in Harper, 2001; Al Sayegh Petkovšek, 2004).

Preglednica 3. Statistično ovrednotenje razlik med starostnimi kategorijami sestoja za izbrane parametre ektomikorize in drobnih korenin s testom ANOVA ali Studentovim T testom

	P	F	Test
Št. tipov ECM	0.021	/	Student T test
Št. vitalnih korenin	0.032	/	Student T test
Skupaj korenin	0.46	/	Student T test
Bogastvo vrst	0.11	2.369	Anova
Shannon Weaver indeks	0.28	1.309	Anova
Izenačenost	0.0055	6.059	Anova
Uravnoteženost	0.22	1.58	Anova
% ECM	0.041	3.5	Anova

VIRI

1. **Agerer R. (1991)** Characterization of ectomycorrhiza. *Methods in Microbiology*, 23: 25-73
2. **Al Sayegh Petkovšek S. (2004)** Biodiversity of types of ectomycorrhizae in *Fagus* stands in differently polluted forest research plots. *Zbornik Gozdarstva in Lesarstva*, 75: 5-19
3. **Atlas R., Bartha R. (1981)** Introduction to microbiology. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, 560
4. **Curt T., Prévosto B. (2003)** Rooting strategy of naturally regenerated beech in silver birch and Scots pine woodlands. *Plant Soil*, 255: 265-279
5. **Ficko A., Klopčič M., Matijašič D., Poljanec A., Bončina A. (2008)** The distribution of beech and structural characteristics of beech stands in Slovenia. *Zbornik Gozdarstva in Lesarstva*, 87: 45-60
6. **Grebenc T. (2005)** Types of ectomycorrhizae on beech (*Fagus sylvatica* L.) in natural and managed forest. Doctoral dissertation. Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, Ljubljana, 174
7. **Grebenc T., Christensen M., Vilhar U., Čater M., Martin M.P., Simončič P., Kraigher H. (2009)** Response of ectomycorrhizal community structure to gap opening in natural and managed temperate beech-dominated forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 39 (7): 1375-1386
8. **Grebenc T., Kraigher H. (2007)** Changes in the community of ectomycorrhizal fungi and increased fine root number under adult beech trees chronically fumigated with double ambient ozone concentration. *Plant Biology (Stuttg.)*, 9 (2): 279-287
9. **Grebenc T., Kraigher H. (2009)** Interakcije v mikorizosferi določajo dinamiko ogljika v ekosistemu bukovih gozdov. *Zbornik Gozdarstva in Lesarstva*, 88: 11-19
10. **Jalas J., Suominen J. (1976)** *Atlas Florae Europaeae*. Cambridge University Press, Cambridge UK, 128
11. **Kernaghan G., Harper K.A. (2001)** Community structure of ectomycorrhizal fungi across an alpine/subalpine ecotone. *Ecography*, 24: 181-188
12. **Kraigher H. (1996)** Types of ectomycorrhizae - their taxonomy, role and application. *Zbornik Gozdarstva in Lesarstva*, 49: 33-66
13. **Kraigher H. (1999)** Diversity of Types of Ectomycorrhizae on Norway Spruce in Slovenia. *Phyton*, 39 (3): 199-202
14. **Kraigher H., Al Sayegh Petkovšek S. (2011)** Mycobioidication of stress in forest ecosystems. V: Rai M (ur.) in Varma A (ur.): Diversity and biotechnology of ectomycorrhizae. (Soil biology, vol. 25). Springer, Heidelberg; New York, 301-322
15. **Leuschner C., Hertel D., Coners H., Büttner V. (2001)** Root competition between beech and oak: a hypothesis. *Oecologia*, 126: 276-284
16. **Mainiero R., Kazda M., Häberle K.H., Simeonova Nikolova P., Matyssek R. (2009)** Fine root dynamics of mature European beech (*Fagus sylvatica* L.) as influenced by elevated ozone concentrations. *Environmental Pollution*, 157: 2638-2644
17. **Smith S.E., Read D.J. (2008)** *Mycorrhizal symbiosis*, Third edition. Academic Press, London, 787
18. **Westergren M., Grebenc T., Božič G., Brus R., Kraigher H. (2004 [i.e. 2005])** Identification of types of ectomycorrhizae on seedlings in a beech provenance trial. *Zbornik Gozdarstva in Lesarstva*, 75: 87-104
19. **Železnik P., Hrenko M., Then C., Koch N., Grebenc T., Levanič T., Kraigher H. (2007)** CASIROZ : root parameters and types of ectomycorrhiza of young beech plants exposed to different ozone and light regimes. *Plant Biology (Stuttg.)*, 9 (2): 298-308

IZBRANI PRIMERI GENETSKIH ANALIZ PROSTOŽIVEČIH GOZDNIH ŽIVALI V SLOVENIJI

Genetic analyses of forest animals in Slovenia – case studies

Povzetek: Sposobnost preživetja in uspešnost neke populacije sta odvisna od dejavnikov okolja in genetske sestave populacije, kar ugotavljamo z analizami genetskih označevalcev. V prispevku prikazujemo stanje dveh izbranih gozdnih živalskih vrst (divji petelin, *Tetrao urogallus* in gams, *Rupicapra rupicapra*) in predstavimo metode za analizo genetske strukture populacij teh vrst v Sloveniji kot pomemben vir informacij za učinkovito trajnostno upravljanje s populacijami in rastišči gozdnih živali, tudi gozdnih živali, ter ohranjanje ogroženih vrst. V sklopu analiz smo pridobili številne biološke vzorce divjega petelina, gamsa ter nekaterih drugih vrst divjadi ter vzpostavili protokole za analizo izbranih genetskih označevalcev in obdelavo pridobljenih podatkov. V pregledu smo predstavili nekaj možnosti in predlogov uporabe genetskih analiz gozdnih živali v Sloveniji. Na primeru podatkov o genetski pestrosti razmejene alpsko-SZ dinarske in JV dinarske populacije divjega petelina predlagamo usmeritve gospodarjenja s habitati v smeri povezovanja obeh populacij in preprečitve prekomernega genetskega siromašnja zaradi fragmentacije in izolacije populacij.

Ključne besede: biotska raznovrstnost na genskem nivoju, gozdne živali, gospodarjenje z gozdom, mikrosateliti, molekularni označevalci

Summary: The survival and the success of a population of any species depend on environmental factors and genetic fitness of the population, which can be assessed by analysis of suitable genetic markers. We discuss the status of western capercaillie (*Tetrao urogallus*) and chamois (*Rupicapra rupicapra*) populations in Slovenia and present methods for analysis of genetic composition of populations of these forest animal species. Genetic analyses are discussed as an invaluable source of information for sustainable management of forest animal populations, including game, their habitats and conservation of endangered species. We performed a large scale collection of biological samples of the western capercaillie, the chamois as well as other forest animal species and implemented protocols for analysis of suitable genetic markers. Possibilities, applicability and utility of genetic analyses of game species in Slovenia are succinctly presented. Based on the results of the genetic diversity analysis of the isolated Alpine-NW Dinaric and SE Dinaric capercaillie populations in Slovenia we propose the strategy of capercaillie habitat areas management with an aim of reconnecting both populations to prevent excessive genetic impoverishment due to population fragmentation and isolation.

Keywords: biodiversity at gene levele, forest game, forest management, microsatellites, molecular markers

* univ. dipl. inž. gozd., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; e-pošta: marko.bajc@yahoo.com

** dr., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; e-pošta: miran.cas@gozdis.si

*** dr., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; e-pošta: tine.grebenc@gozdis.si

**** prof. dr., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; e-pošta: hojka.kraigher@gozdis.si

Prispevek prvih dveh avtorjev je enakovreden.

UVOD

Spremembe v genomu so gibalo evolucije in nastanka novih taksonov v najširšem obsegu – od sevov, genetskih linij, vrst, pa vse do kraljestev in domen (Futuyma, 2009). Vsak organizem ima svojevrstne značilnosti dednega zapisa, ki ga ločijo od ostalih. Govorimo o t. i. genetskem podpisu, ki omogoča nedvoumno identifikacijo organizma na

vseh taksonomskih nivojih, tudi na nivoju osebka (Jeffreys in sod. 1984). Metode analize genetskega podpisa se med organizmi različnih kraljestev bistveno ne razlikujejo, nujen je le izbor ustrezno informativnih označevalcev.

Sposobnost preživetja in uspešnost populacije opisujemo s parametrom, imenovanim fitness, in je odvisna od genetske sestave populacije in dejavnikov okolja. Genetski fitness opredeljuje sposobnost preživetja in reprodukcije populacije (Orr, 2009). V splošnem velja, da je za dolgoročno uspešnost in preživetje populacije potrebna zadostna mera genetske pestrosti. Ta zagotavlja večjo zmožnost prilagajanja populacije na spremembe (podnebne spremembe, pojav novih bolezni ipd.) (Booy in sod., 2000). V sklopu analiz populacijske genetike lahko ugotovljamo različne kazalce genetske pestrosti in nevarnosti parjenja v sorodstvu (Griffiths in sod., 1998). Tako lahko identificiramo populacije, ki so zaradi nizke genetske pestrosti oz. genetske osiromašenosti dolgoročno bolj ogrožene in izpostavljene izumrtju. Za primer izpostavimo populacijo gamsa (*Rupicapra rupicapra* Linnaeus) v gorovju Chartreuse, ki kaže znake genetske osiromašenosti zaradi večkratnega zmanjšanja števila osebkov in geografske izolacije (Rodríguez in sod., 2010). Podobno so Segelbacher in sod. (2003) ter Segelbacher in Pierny (2007) dokazali prve znake zmanjševanja genetske pestrosti v izoliranih populacijah divjega petelina (*Tetrao urogallus* Linnaeus) v srednji Evropi, katerih številčnost v zadnjih desetletjih vztrajno in strmo pada (Storch, 2007; Čas, 1999; Čas, 2006; Purnat in sod., 2007). Stanje genetske ohranjenosti populacij divjega petelina v Sloveniji do sedaj še ni bilo preučeno. Glede na študije prostorske razširjenosti in številčnosti populacij pa lahko sklepamo, da je vrsta na območju ogrožena in podvržena drastičnemu zmanjševanju števila osebkov (Čas, 2001; Kutnar in sod., 2005; Čas, 2008; Čas,



Slika 1. Genetske analize lahko pripomorejo k razvoju ukrepov za trajnostno upravljanje s populacijami in habitatmi ogroženega divjega petelina (*Tetrao urogallus* L.) (foto: Milan Cerar)

2010a). Namen naloge je pregledati raziskave genetske pestrosti divjega petelina in izbranih vrst divjadi ter oceniti uporabnost genetskih analiz populacij gozdnih živali v Sloveniji, saj so genetske, filogenetske in filogeografske analize lahko pomemben vir informacij za učinkovito trajnostno upravljanje s populacijami in habitatmi gozdnih živali, tudi divjadi, ter ohranjanje ogroženih živalskih vrst.

METODOLOGIJA

Prvi korak vseh genetskih analiz je vzorčenje ustreznega biološkega vzorca, ki vsebuje nukleinske kisline tarčnega organizma. Vzorčenje je za divjega petelina potekalo na področju celotne Slovenije na vseh registriranih rastiščih iz popisa leta 2000 (Čas, 2006; Bajc in sod., 2011). Vzorčili smo ves razpoložljiv material, primeren za genetske analize (Bajc in sod., 2011). Za primer gamsa smo vzorce pridobivali na lovskih odkupnih postajah, kjer smo za potrebe analiz odvzeli manjši del trebušnega mišičnega tkiva odstreljenih osebkov (Čas, 2010b).

V laboratoriju Oddelka za gozdno fiziologijo in genetiko (FIGE) Gozdarskega inštituta Slovenije smo uvedli protokole za ekstrakcijo celokupnih nukleinskih kislin iz različnih živalskih vzorcev, ki vključujejo vse vrste mehkih tkiv, iztrebke, kri, peresa (Horvath in sod., 2005) in dlake, membrane jajčnih lupin (Bush in sod., 2005) in tkiva prepariranih trofej in muzejskih primerkov. Zmožnost učinkovite ekstrakcije tarčnih nukleinskih kislin iz iztrebkov, slin, membran že izvaljenih jajc, dlak in peres omogoča, da vzorčenje opravimo neinvazivno, tj. brez fizičnega stika s preučevanimi živalmi in brez prekomernega vznemirjanja živali v naravnem okolju. Ekstrakcije DNK smo izvedli z uporabo predpripravljenih kompletov za ekstrakcijo nukleinskih kislin proizvajalca Mo-bio Laboratories (Carlsbad, ZDA) in postopkov, prilagojenih tipu vzorca (Bajc in sod., 2011). Postopek ekstrakcije sledi navodilom proizvajalca, pri čemer za ekstrakcijo DNK iz iztrebkov uporabljamo komplet PowerSoil® DNA isolation kit, iz vseh tkiv in krvi pa UltraClean® tissue & cells DNA isolation kit.

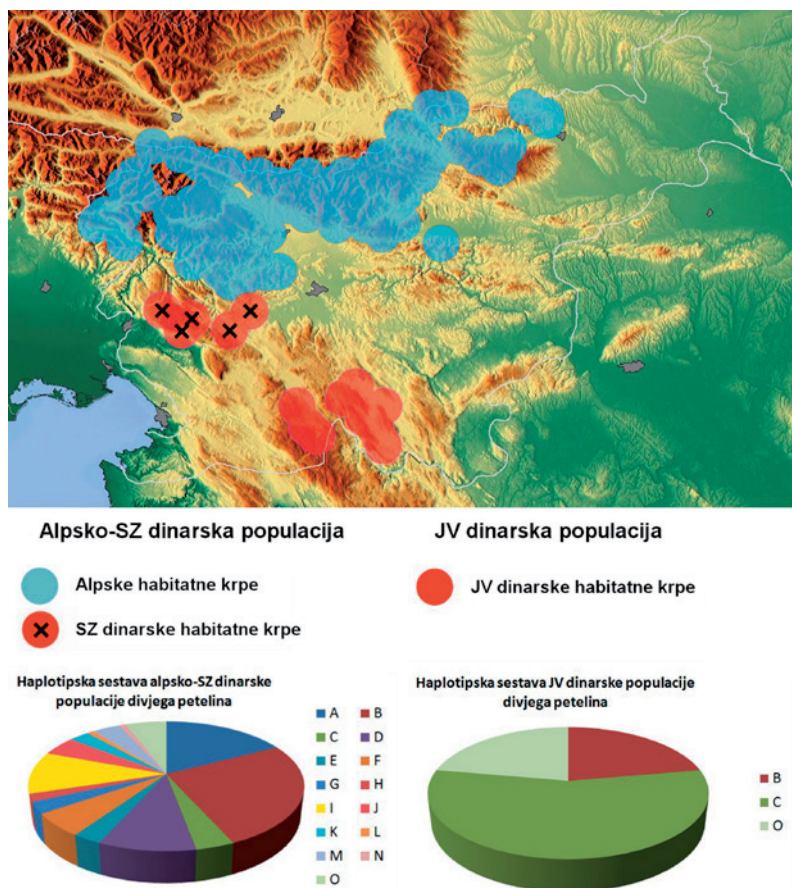
Naslednji korak genetskih analiz je pomnoževanje tarčnega nukleotidnega zaporedja, t. i. genetskih označevalcev, v reakciji pomnoževanja s polimerazo (PCR). Izbor genetskega označevalca je odvisen od namena genetskih raziskav. Med bolj uveljavljene spada analiza mikrosatelitov, ki ob ustreznem izboru označevalcev omogoča tudi ločevanje na nivoju osebka (Blouin in sod., 1996). Poleg analize mikrosatelitov so pogostejše uporabljane tudi analize genov za elongacijske faktorje, gena za citokrom b in nukleotidnih zaporedij različnih odsekov ribosomskega operona ter mitohondrijske DNK (mtDNK) (Lucchini in sod., 2001). Za filogeografske študije divjega petelina (Bajc in sod., 2011) pomnožujemo 435bp dolg odsek CRI

kontrolne regije mtDNK z začetnima oligonukleotidoma GalF in GalRi (Duriez in sod., 2007). Protokol pomnoževanja po Duriez in sod. (2007) smo modificirali z dodatkom petih t. i. »touch-down« predcikov (od 60 °C do 56 °C), ki izboljšajo specifičnost reakcije. Reakcije ugotavljanja nukleotidnega zaporedja s PCR pomnoženih tarčnih označevalcev za nas komercialno opravljajo v podjetju Macrogen inc. (Seul, Republika Koreja).

Analizo osnovnih kazalcev genetske pestrosti – število različnih haplotipov, k; število polimorfnih nukleotidnih mest, S; nukleotidna diverziteteta, π (Nei, 1987; Tajima, 1983); haplotipska diverziteteta, H (Nei, 1987); homozigotnost, HO (Nei, 1987) – divjega petelina v Sloveniji smo izvedli s programom Arlequin v3.5.1.2 (Excoffier in Lischer, 2010). Poleg analiz živalske mtDNK smo v laboratoriju FIGE razvili tudi standardne postopke za analizo drugih regij genoma oz. genetskih označevalcev in tudi drugih skupin organizmov (Grebenc in Kraigher, 2004).

REZULTATI IN DISKUSIJA

Analize genetskih označevalcev so pokazale obstoj dveh genetskih linij divjega petelina (*Tetrao urogallus* L.) v Evraziji – t.i. borealne linije in južne linije sensu Duriez in sod. (2007) (Segelbacher in sod., 2003; Duriez in sod., 2007; Rodríguez-Muñoz in sod., 2007). Izsledki teh raziskav so spodbudili obsežnejšo analizo genetske diferenciacije divjega petelina na področju od slovenskih Alp, vzdolž Balkanskega polotoka do bolgarskih Rodopov, ki smo jo opravili na FIGE v obdobju od 2008 do 2010. Analizirali smo preko 400 vzorcev iztrebkov, peres in drugih tkiv in natančneje opredelili razširjenost in pojavnost obeh genetskih linij ter definirali zahodno kontaktno cono med linijama, ki poteka v centralnem delu Balkanskega polotoka. Vsi vzorci iz Slovenije sodijo v borealno linijo, pri čemer na tem področju obstaja prekinitev nekdanje povezane alpsko-dinarske metapopulacije (Slika 2), kar pa se na nivoju kontrolne regije mtDNK še ne odraža značilno, saj obe populaciji izražata skupne haplotipe. JV dinarska populacija, ki je vezana na dinarski fito-geografski prostor, je v primerjavi z alpsko-SZ dinarsko populacijo (Čas, 2006) po številu osebkov in po številu prisotnih haplotipov siromašnejša (Preglednica 1), skupni aleli (aleli B, C in O) pa so v obeh populacijah med dominantnimi



Slika 2. Habitatne krpe alpsko-SZ dinarske in JV dinarske populacije divjega petelina (*Tetrao urogallus* L.) v Sloveniji – stanje ob popisu v zadnjih desetletjih 20. stoletja (Čas, 2006) (zgoraj) in ugotovljeni haplotipi kontrolne regije mtDNK v celotni analizirani alpsko-SZ dinarski (levo spodaj) in JV dinarski (desno spodaj) populaciji

(Slika 2). JV dinarska populacija tudi izraža skoraj trikrat višjo stopnjo homozigotnosti v primerjavi z Alpsko-SZ dinarsko populacijo (Preglednica 1). Širšo distribucijo genotipov, kot smo jo opazili tudi v Bajc in sod. (2011), avtorji razlagajo v odvisnosti od velikih poledenitev zadnje ledenice dobe (Segelbacher in sod., 2003; Duriez in sod., 2007; Rodríguez-Muñoz in sod., 2007).

Genetske analize živali omogočajo opredelitev pripadnosti osebkov določeni podvrsti oz. ugotavljanje območja razširjenosti posamezne podvrste. V primeru divjega petelina rezultati genetskih analiz nasprotujejo in zavračajo tradicionalno delitev na 12 podvrst (de Juana, 1994), ki so bile opisane na osnovi razlik v morfologiji in vedenju, in nakazujejo, da je teh bistveno manj (Liukkonen-Anttila in sod., 2004; Segelbacher in Pierny, 2007). Na širšem območju Balkanskega polotoka genetske analize dokazujejo prisotnost dveh genetskih linij (Duriez in sod., 2007; Bajc

Preglednica 1. Indeksi genetske pestrosti populacij divjega petelina (*T. urogallus* L.) v Sloveniji: k – število različnih haplotipov; S – število polimorfnihi nukleotidnih mest; π – nukleotidna diverziteteta; H – haplotipska diverziteteta; HO – homozigotnost; SD – standardna deviacija

Populacija	k	S	$\pi \pm SD$	H $\pm$ SD	HO
Alpsko-SZ dinarska	15	13	0,0047 $\pm$ 0,0030	0,8757 $\pm$ 0,0179	0,1243
JV dinarska	3	3	0,0036 $\pm$ 0,0027	0,6667 $\pm$ 0,1318	0,3333



Slika 3. Analize populacijske genetike gamsa (*Rupicapra rupicapra* L.) v Sloveniji lahko razkrijejo vpliv osamitve in obseg le-tega na genetsko sestavo domnevno izoliranih populacij (foto: Peter Čadež)

in sod., 2011).

Z rezultati genetske pestrosti divjega petelina lahko podpremo tudi predhodno izraženo potrebo po povezovanju trenutno ločenih območij razširjenosti alpsko-SZ dinarske in JV dinarske populacije na področju Slovenije ter ustreznega gospodarjenja z gozdnim prostorom potencialnih habitatov vrste (Čas, 2010a). S tem bi zagotovili kontinuiran pretok genov, pripomogli k boljši genetski strukturi in posledično dolgoročnemu preživetju obeh, sedaj ločenih populacij. Zlasti JV dinarska populacija je zaradi razdrobljenosti habitata, majhnega števila osebkov (Čas, 2006) in haplotipov ter višje homozigotnosti ogrožena z vidika zmanjševanja genetske pestrosti in potencialno tudi negativnih učinkov parjenja v sorodstvu.

Genetske analize populacij gamsa (*Rupicapra* spp.) so na Gozdarskem inštitutu še v začetnih fazah. Zbrali smo okoli 450 vzorcev tkiv za molekularne analize, ki so v teku. Število in distribucija vzorcev zadostuje za reprezentativno analizo vseh pomembnejših populacij in podpopulacij v Sloveniji (Čas, 2010b, c). Populacije gamsa so v Sloveniji najštevilčnejše v osrednjem alpskem habitatu, ki obsega Julijske Alpe, Karavanke z obrobniimi hribovjem, Kamniško Savinjske Alpe in Pohorje. Migracijska povezanost v teh območjih predvidoma omogoča dober pretok genov in posledično ohranjanje zadostne genetske pestrosti. Večje

nejasnosti o morebitnem vplivu fragmentacije habitatov na genetsko pestrost in viabilnost se potencialno pojavljajo v izoliranih habitatnih krpah v Zasavju, na Krimskem območju in ob Kolpi, kjer so migracijske poti vsaj delno prekinjene tudi z umetnimi pregradami, npr. z avtocestami. V do sedaj analiziranih populacijah gamsa v Sloveniji se izpostavlja predvsem problem zmanjšanja heterozigotnosti kot posledica razdrobljenosti in izoliranosti (Bužan in Kryštufek, 2010). Rezultati do sedaj opravljenih genetskih raziskav gamsov v Evraziji pa nakazujejo, da je današnja diverzifikacija in subspeciacija predvsem posledica krčitve habitata in geografske izolacije v času poledenitev in križanj izvornih genetskih linij v času razširitve habitata ter da delitev rodu na dve vrsti (*Rupicapra pyrenaica* Bonaparte in *Rupicapra rupicapra* L.) ni povsem jasna in nedvoumna (Rodríguez in sod., 2009; Rodríguez in sod., 2010).

Genetske raziskave imajo v analizah gozdnih živali široke možnosti uporabe. Rezultati analiz divjega petelina nakazujejo na nujnost ohranjanja in zagotavljanja primernih in ustrezno razporejenih habitatov s ciljem povezovanja trenutno ločenih populacij, saj le tako lahko ohranimo zadostno genetsko pestrost in posledično viabilnost populacij. Pričakujemo, da bomo na osnovi podrobne analize na lokalnem nivoju lahko sklepali tudi na stanje populacij in morebitne ukrepe za gospodarjenje z gamsom, za katerega je značilno, da se v več področjih pojavlja v izrazito osamelih habitatnih krpah.

Nadaljnje možnosti uporabe vpeljanih pristopov so na primer identifikacija povzročiteljev plenjenja drobnice v Sloveniji, ki naj bi ga zagrešili volkovi (Černe in sod., 2010; Dolf in sod., 2000; Scandura in sod., 2006). Molekularni pristopi lahko pripomorejo tudi pri ugotavljanju prisotnosti in razširjenosti genetskih bolezni in povzročiteljev okužb v populacijah prostoživečih gozdnih živali (Liz in sod., 2002; Marco in sod., 2009; De Nardi in sod., 2005; Depner in sod., 2006). Rutinskih testov za genetske bolezni gozdnih živali se trenutno še ne izvaja, čeprav so postopki za tovrstne analize za nekatere vrste, npr. domače pse (Optigen®, 2011), že razviti. Ravno tako molekularni pristopi še niso nadomestili seroloških in klasičnih mikrobioloških preiskav (Pravilnik o boleznih živali, 2007) okuženosti populacij gozdnih živali s povzročitelji različnih bolezni (Vengust in sod., 2006b), tudi takih, ki predstavljajo nevarnost prenosa na

ljudi in gospodarsko pomembne domače živali (Meng in sod., 2009) in posledično povzročitev gospodarske škode, kot sta na primer klasična prašičja kuga (Vengust in sod., 2006a) in Aujeszkijska bolezen (Capua in sod., 1997; Vengust in sod., 2005). Možnosti za vpeljavo in uporabo molekularnih pristopov je še mnogo, njihova vpeljava pa bo, tako kot na primeru sodelovanja pri analizah divjega petelina in gamsa, nujno vključevala predloge in potrebe več vpletenih inštitucij in končnih uporabnikov.

ZAHVALA

Raziskave so finančno podprli: Programska skupina P4 0107 (Gozdna biologija, ekologija in tehnologija) in projekti CRP V4-0492 ter Zavod za gozdove Slovenije in Triglavski Narodni Park prek Pogodbe o sodelovanju pri vzorčenju (2008-2011) ter Lovska zveza Slovenije prek zbiranja vzorcev v lovskih družinah, zlasti v izoliranih populacijah in posebnih habitatih, večinoma prostovoljno in zastonj. Posebno zahvalo izrekamo Miru Hladetu, Tomažu Šlibarju in Milanu Jakiču iz podjetja za odkup divjačine Nimrod d.o.o., ki so nam omogočili odvzem čez 400 vzorcev tkiv gamsa.

VIRI

1. Bajc M., Čas M., Ballian D., Kunovac S., Zubić G., Grubešić M., Zhelev P., Paule L., Grebenc T., Kraigher H. (2011) Genetic differentiation of *Tetrao urogallus* L. highlights the importance of South-Eastern Europe for understanding phylogeography of the species. – Public Library of Science (oddano)
2. Blouin M.S., Parsons M., Lacaille V., Lotz S. (1996) Use of microsatellite loci to classify individuals by relatedness. *Molecular ecology*, 5: 393–401
3. Booy G., Hendriks R.J.J., Smulders M.J.M., Van Groenendael J.M., Vosma B. (2000) Genetic Diversity and the Survival of Populations. *Plant biology*, 2: 379 – 395
4. Bush K.L., Vinsky M.D., Aldridge C.L., Paszkowski C.A. (2005) A comparison of sample types varying in invasiveness for use in DNA sex determination in an endangered population of greater sage-grouse (*Centrocercus urophasianus*). *Conservation genetics*, 6: 867–870
5. Bužan E.V., Kryštufek B. (2010) Ohranjanje gamsa tudi s pomočjo genetike. *Lovec*, 93: 364–365
6. Capua I., Casaccia C., Calzetta G., Caporale V. (1997) Characterisation of Aujeszky's disease viruses isolated from domestic animals and from a wild boar (*Sus scrofa*) in Italy between 1972 and 1995. *Veterinary Microbiology*, 57: 143–149
7. Čas M. (1999) Spatial endangerment of capercaillie (*Tetrao urogallus* L.) populations in Slovenia in 1998. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 60: 5–52
8. Čas M. (2001) Divji petelin v Sloveniji - indikator devastacij, rabe, razvoja in biodiverzitete gorskih gozdnih. *Gozdarski vestnik*, 59: 411–428
9. Čas M. (2006) Fluctuation of capercaillie (*Tetrao urogallus* L.) population in relation to past land use and forest structures in the South-East Alps. *University of Ljubljana*, 263
10. Čas M. (2008) Capercaillie monitoring is an important tool for observing changes in boreal forest ecosystems, but introduction of a hunting ban in the Slovenian Alps has highlighted certain problems. *Grouse news*, 35: 16–20
11. Čas M. (2010a) Disturbances and predation on Capercaillie at leks in Alps and Dinaric mountains. *Šumarski list*, 134, 9/10: 487–495
12. Čas M. (2010b) Ogrožen osamel habitat gamsa med Starim trigom in Predgradom nad Kolpo. *Lovec*, 93: 221–222
13. Čas M. (2010c) Raziskave spreminjanja habitatov in genetske pestrosti nekaterih domorodnih vrst (divji petelin, gams, volk). *Lovec*, 93, 4, 195–197
14. Černe R., Jerina K., Jonozovič M., Kavčič I., Stergar M., Krofel M., Marenče H. (2010) Škode od volkov v Sloveniji: analiza v okviru projekta Life+ SloWolf Akcija A4. Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana, 20
15. de Juana E. (1994) Family Tetraonidae. V: *Handbook of the birds of the World*. del Hoyo J (Ur.), Elliot A (Ur.), Sargatal J (Ur.), Lynx Edición, Barcelona, 376–410
16. De Nardi R., Terregino C., Cattoli G., Toffan A., Beato M.S., Guberti V., Scremin M. (2005) Preliminary results of an influenza surveillance in wild birds, game birds, domestic ducks and geese in North Eastern Italy. *Italian Journal of Animal Sciences*, 4: 292–295
17. Depner K., Bunzenthall C., Heun-Münch B., Streblow G., Hoffmann B., Beer M. (2006) Diagnostic evaluation of a real-time RT-PCR assay for routine diagnosis of classical swine fever in wild boar. *Journal of Veterinary Medicine*, B53: 317–320
18. Dolf G., Schläpfer J., Gaillard C., Randi E., Lucchini V., Breitenmoser U., Stahlberger-Saitbekova N. (2000) Differentiation of the Italian wolf and the domestic dog based on microsatellite analysis. *Genetics, Selection, Evolution*, 32: 533–541
19. Duriez O., Sachet J.M., Menoni E., Miquel C., Taberlet P. (2007) Phylogeography of the capercaillie in Eurasia: what is the conservation status in the Pyrenees and Cantabrian mounts? *Conservation Genetics*, 8: 513–526
20. Excoffier L., Lischer H.E.L. (2010) Arlequin suite ver 3.5: A new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources*, 10: 564–567
21. Futuyma D.J. (2009) *Evolution*. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 633
22. Grebenc T., Kraigher H. (2004) Molekularna analiza bioloških vzorcev : SOP FIGE MET 001 : velja od 01.03.2004. *Gozdarski inštitut Slovenije*, Ljubljana, 10
23. Griffiths A.J.F., Miller J.H., Suzuki D.T., Lewontin R.C., Gelbart W.M. (1998) *An introduction to genetic analysis*. New York: W. H. Freeman, 726–727
24. Horváth M.B., Martínez-Cruz B., Negro J.J., Kalmár L., Godoy H.A. (2005) An overlooked DNA source for non-invasive genetic analysis in birds. *Journal of avian biology*, 36: 84–88
25. Jeffreys A.J., Wilson V., Thein S.W. (1984) Hypervariable 'minisatellite' regions in human DNA. *Nature*, 314: 67–73
26. Kutnar L., Urbančič M., Čas M. (2005) Preservation of forest soil and vegetation in the Capercaillie (*Tetrao urogallus* L.) habitat within the eastern Karavanke region and the eastern Kamnik-Savinja Alps in Slovenia. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 77: 5–42
27. Liukkonen-Anttila T., Rätti O., Kvist L., Helle P., Orell M. (2004) Lack of genetic structuring and subspecies differentiation in the capercaillie (*Tetrao urogallus*) in Finland. *Ann Zool Fenn*, 41: 619–633
28. Liz J.S., Sumner J.W., Pfister K., Brossard M. (2002) PCR Detection and Serological evidence of Granulocytic Ehrlichial Infection in Roe Deer (*Capreolus capreolus*) and Chamois (*Rupicapra rupicapra*). *Journal of Clinical Microbiology*, 40: 892–897
29. Lucchini V., Höglund J., Klaus S., Swenson J., Randi E. (2001) Historical biogeography and a mitochondrial DNA phylogeny of grouse and ptarmigan. *Molecular phylogenetics and evolution*, 20: 149–162
30. Marco I., Rosell R., Cabezón O., Mentaberre G., Casas E., Velarde R., Lavín S. (2009) Border disease virus among chamois, Spain. *Emerging infectious diseases*, 15: 448–450

31. Meng X.J., Lindsay D.S., Sriranganathan N. (2009) Wild boars as sources for infectious diseases in livestock and humans. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Biological Sciences*, 364: 2697–2707
32. OptiGen – Tests offered – Canine genetic testing. Optigen®, LLC. (1.4.2011) http://www.optigen.com/opt9_test.html (6.5.2011)
33. Orr H.A. (2009) Fitness and its role in evolutionary genetics. *Nature Reviews Genetics*, 10: 531–539
34. Pravilnik o boleznih živali (2007) Uradni list Republike Slovenije, 81/7.9.2007: 11096–11142 in Uradni list Republike Slovenije, 24/22.3.2010: 3206–3215
35. Purnat Z., Čas M., Adamič M. (2007) Problematika ohranjanja habitata divjega petelina *Tetrao urogallus* na Menini (osrednja Slovenija) in vpliv pašništva. *Acrocephalus*, 28, 134: 105–118
36. Rodríguez F., Hammer S., Pérez T., Suchentrunk F., Lorenzini R., Michallet J., Martinkova N., Albornoz J., Domínguez A. (2009) Cytochrome b phylogeography of chamois (*Rupicapra* spp.). Population contractions, expansions and hybridizations governed the diversification of the genus. *Journal of Heredity* 100: 47–55
37. Rodríguez F., Pérez T., Hammer S., Albornoz J., Domínguez A. (2010) Integrating phylogeographic patterns of microsatellite and mtDNA divergence to infer the evolutionary history of chamois (*genus Rupicapra*). *Evolutionary biology*, 10: 222–240
38. Rodríguez-Muñoz R., Mirol P.M., Segelbacher G., Fernández A., Tregenza T. (2007) Genetic differentiation of an endangered capercaillie (*Tetrao urogallus*) population at the Southern edge of the species range. *Conservation Genetics*, 8: 659–670
39. Scandura M., Capitani C., Iacolina L., Marco A. (2006) An empirical approach for reliable microsatellite genotyping of wolf DNA from multiple noninvasive sources. *Conservation Genetics*, 7: 813–823
40. Segelbacher G., Hoglund J., Storch I. (2003) From connectivity to isolation: genetic consequences of population fragmentation in capercaillie across Europe. *Molecular Ecology*, 12: 1773–1780
41. Segelbacher G., Pieltney S. (2007) Phylogeography of the European capercaillie (*Tetrao urogallus*) and its implications for conservation. *Journal of Ornithology*, 148: 269–274
42. Storch I. (2007) Grouse: Status survey and conservation action plan 20006–2010. IUCN, Gland/World Pheasant association, Fordingbridge, 114
43. Vengust G., Grom J., Bidovec A., Kramer M. (2006a) Monitoring of Classical Swine Fever in Wild Boar (*Sus scrofa*) in Slovenia. *Journal of Veterinary Medicine*, B53: 247–249
44. Vengust G., Valenčak Z., Bidovec A. (2005) Presence of Antibodies Against Aujeszky's Disease Virus in Wild Boar (*Sus scrofa*) in Slovenia. *Journal of Wildlife Diseases* 41: 800–802
45. Vengust G., Valenčak Z., Bidovec A. (2006b) A Serological Survey of Selected Pathogens in Wild Boar in Slovenia. *Journal of Veterinary Medicine*, B53: 24–27

KAKŠNI BI LAHKO BILI UČINKI SEGREVANJA OZRAČJA NA BUKOVE GOZDOVE V PRIHODNOSTI?

What might be the effects of global warming on the beech forests in the future?

Izvleček: V raziskavi smo simulirali prostorsko prerazporeditev bukovih vegetacijskih tipov v Sloveniji, do katere bi lahko prišlo ob pričakovanih podnebnih spremembah. Napovedi na osnovi treh podnebnih scenarijev kažejo, da bo pod vplivom segrevanja podnebja do leta 2070 prišlo do spremembe razporeditve in zmanjšanja deleža danes prevladujočih bukovih gozdov.

Ključne besede: *Fagus sylvatica*, gozdna vegetacija, podnebne spremembe, prostorska razporeditev, model, simulacija, Slovenija

Abstract: The redistribution of beech vegetation types in Slovenia, driven by the expected climate change, has been simulated. Based on the three different climate scenarios, the predictions showed that the spatial pattern of actual prevailing beech forests will be altered under the impacts of climate warming till the year 2070 and decrease of their share is expected.

Key words: *Fagus sylvatica*, forest vegetation, climate change, spatial distribution, model, simulation, Slovenia

UVOD

Podnebni scenariji za naslednja desetletja napovedujejo segrevanje podnebja, ki bo na severu Evrope izrazitejše v zimskem času, na jugu in osrednjem delu Evrope pa v poletnem času. V južnem delu napovedujejo tudi zmanjšanje količine padavin (IPCC 2001, 2007). Na podlagi modelov splošne cirkulacije (angl. General Circulation Model) in dosedanjih meritev napovedujejo segrevanje ozračja in spremembo padavinskega režima v prihodnosti tudi za območje Slovenije (Bergant, 2003, 2007). Meritve temperature in količine padavin v zadnjem času že potrjujejo spreminjanje podnebja na tem območju (Bergant, 2007).

Napovedano globalno segrevanje ozračja bi lahko imelo znatne posledice za različne gozdne ekosisteme (npr. Sha-

ver in sod., 2000; Lexer in sod., 2002; Askeev in sod., 2005; Freeman in sod., 2005; Maracchi in sod., 2005; Kellomäki, Leinonen, 2005; Koca in sod., 2006; IPCC 2007). Po dosedanjih ocenah bi bili na območju Slovenije med najbolj prizadetimi gozdnimi ekosistemi predvsem prevladujoči bukovi gozdovi (Kutnar, Kobler, 2007; Ogris in sod., 2008; Kutnar in sod., 2009).

Na podlagi obstoječih scenarijev podnebnih sprememb in ob uporabi novih metodoloških pristopov smo v tej raziskavi simulirali razporeditev bukovih vegetacijskih tipov v Sloveniji v prihodnosti.

METODE

BUKOVI VEGETACIJSKI TIPI

Ob uporabi drugačnega metodološkega pristopa kot v predhodnih raziskavah (Kutnar, Kobler, 2007; Kutnar in sod., 2009) obravnavamo tri površinsko prevladujoče bukove vegetacijske tipe v Sloveniji (številčne oznake vegetacijskih tipov in površine so povzete po Kutnar in sod., 2009): 1 - acidofilna bukovja (14 % celotne gozdne

* dr., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: lado.kutnar@gozdis.si,

** mag., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za načrtovanje in monitoring gozdov in krajine, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: andrej.kobler@gozdis.si

*** prof. dr., Inštitut Jožef Stefan, Odsek za tehnologije znanja, Jamova cesta 39, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: saso.dzeroski@ijs.si

površine), 3 - podgorska bukovja (13 %); 6 - (visoko)gorska bukovja v (pred)dinarskem območju (11 %). Med (visoko)gorskimi bukovji v (pred)dinarskem območju poleg prevladujočih dinarskih jelovo-bukovih gozdov razmeroma velik delež predstavljajo tudi preddinarski visokogorski bukovi gozdovi (*Cardamini savensi-Fagetum*), ki so bili opisani tako na dolomitih in apnencih v preddinarskem območju kot tudi na silikatnih kamninah na Pohorju (Košir in sod., 1974, 2003).

SCENARIJI PODNEBNIH SPREMEMB IN MODELIRANJE

Po podatkih Svetovne meteorološke organizacije je bilo desetletje 1998–2007 najtoplejše, odkar imamo meritve temperature na zemeljskem površju (povzeto po ARSO, 2008). Trend segrevanja ozrača v zadnjih desetletjih izrazito narašča (CRU, 2008).

Za simulacije sprememb bukovih gozdov smo uporabili obstoječe napovedi podnebnih sprememb (Bergant, 2003, 2007), ki temeljijo na različnih modelih splošne cirkulacije zraka in so podane v obliki intervalnih vrednosti za posamezno podnebno spremenljivko. Iz podanih intervalnih napovedi temperatur, padavin in evapotranspiracije smo oblikovali tri scenarije: srednji scenarij (srednja temperatura *T*, srednje padavine *R*, srednja evapotranspiracija *E*), pesimistični scenarij (maks. *T*, min. *R*, maks. *E*) in optimistični scenarij (min. *T*, maks. *R*, min. *E*) (Kutnar in sod., 2009).

Simulacije prihodnje porazdelitve bukovih vegetacijskih tipov temeljijo na (1) empiričnem modelu, ki za vsak z gozdom pokrit kilometrski kvadrant v Sloveniji napoveduje prisotnost posameznega vegetacijskega tipa in na (2) scenarijih možnih podnebnih sprememb v prihodnosti. Uporabili smo empirični model (Ferrier, Guisan, 2006; Guisan in sod., 2002; Steinmann in sod., 2009), ki izraža leta 2000 veljavno prostorsko razporeditev vegetacijskih tipov pri tedaj veljavnih vrednostih ekoloških parametrov, ne upošteva pa drugega splošnega vedenja o združbah in tudi ne sekundarnih učinkov podnebnih sprememb. Ciljna spremenljivka v modelu so bukovi vegetacijski tipi, ki združujejo podobne potencialne gozdne združbe (Košir in sod., 1974, 2003; Zorn, 1975). Predmet modeliranja in simulacij je prostor znotraj gozdnega roba (po stanju leta 2000). Uporabili smo dve skupini pojasnjevalnih spremenljivk (podnebne in pomožne), s katerimi model pojasnjuje vrednosti ciljne spremenljivke. Podnebne spremenljivke prikazujejo mesečna in letna povprečja temperatur, padavin in evapotranspiracije za 30-letno obdobje med 1971 in 2000 (ARSO, 2005, 2006a, 2006b). Ločljivost vseh podnebnih kart je 1 km × 1 km. Pomožne spremenljivke so: nadmorska višina digitalnega modela reliefa DMR-lo-

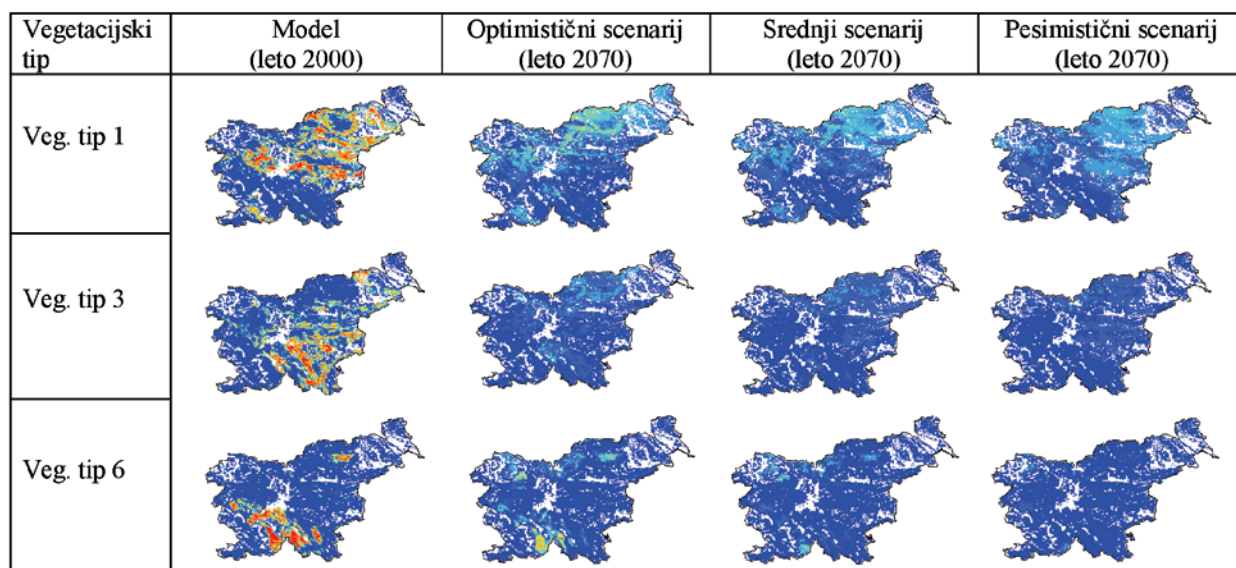
čljivosti 100 m × 100 m (GURS, 2006), iz DMR izpeljano karto naklonov in ekspozicij ter FAO-pedološki razred tal, tudi ločljivosti 100 m × 100 m (CPVO, 1999).

Empirični model v obliki ansambla regresijskih dreves random forest (Breiman, 2001) je bil zgrajen iz učnih podatkov z metodo Top-Down Induction of Decision Trees (TDIDT) z orodjem CLUS (Kocev, 2011; Kocev in sod., 2007; Struyf in Džeroski, 2006; Blockeel in Struyf 2002). Algoritem TDIDT se začne z izbiro testa za korenensko vozlišče (angl. root node). Glede na izid testa se učna množica razdeli na podmnožice. V primeru binarnih dreves se razdeli v dve podmnožici: ena vsebuje zapise, za katere je test uspel, druga pa zapise, za katere test ni uspel. Ta postopek se med konstrukcijo drevesa rekurzivno ponavlja. Deljenje se ustavi, ko je zadovoljen ustavitveni kriterij (na primer število zapisov v podmnožicah pade pod določen prag; dolžina poti od korena do tekoče podmnožice preseže nek prag in podobno). Točnost modela smo ocenili z 10-kratnim prečnim preverjanjem veljavnosti (cross-validation). Pearsonov korelacijski koeficient modela znaša 0,80, 0,78 in 0,89 po vrsti za vegetacijski tip 1, 3 in 6. Koren relativne kvadratne napake (RMSE), izražen v procentnih deležih vegetacijskega tipa, znaša 21 %, 20 % in 12 % po vrsti za vegetacijski tip 1, 3 in 6. Napovedi prihodnjega stanja smo po modelu izračunali z upoštevanjem treh podnebnih scenarijev. Simulacije prihodnjega stanja smo primerjali z modelnim današnjim stanjem (izračunanim z modelom iz danes veljavnih podnebnih vrednosti), ne z dejanskim. Tako razlika med modelnim današnjim in prihodnjim stanjem ne vključuje napak modela.

REZULTATI

Na sliki 1 so prikazane razporeditve danes prevladujočih bukovih vegetacijskih tipov v modelnem stanju in njihove simulirane razporeditve v letu 2070 na osnovi empiričnega modela ob uporabi treh različnih scenarijev (optimistični, srednji, pesimistični scenarij). Iz legende je razvidno, da bolj ko je posamezni kvadrant (območje) obarvano oranžno ali rdeče, bolj je določeni vegetacijski tip prevladujoč v posameznem kvadratnem kilometru (nad 80 % zastopanost). Na območjih, kjer se pojavljajo intenzivno modri odtenki, je manjši delež določenega vegetacijskega tipa (najbolj temno modra barva pomeni, da se vegetacijski tip v kilometrskem kvadrantu pojavlja na manj kot 10 % površine).

Acidofilna bukovja so v modelnem stanju z največjim deležem zastopana predvsem v osrednjem in vzhodnem delu Slovenije. Večinoma se pojavljajo v predalpskem, preddinarskem in subpanonskem območju (Wraber, 1969). Zasledimo pa jih tudi v nekoliko višjih legah v alpskem območju (vzhodne Karavanke in Pohorje) in na



Legenda:

Veg. tip 1 = Acidofilna bukovja; Veg. tip 3 = Podgorska bukovja; Veg. tip 6 = (Visoko)gorska bukovja v (pred)dinarskem območju;

Delež vegetacijskega tipa (%):



Slika 1. Napoved spremembe razporeditve bukovih vegetacijskih tipov v letu 2070 po različnih scenarijih

nekaterih predelih v submediteranskem območju (slika 1). Po napovedih modela bi se delež acidofilnih bukovij povsod zmanjšal. Celo po optimističnem scenariju bi bil njihov delež v vseh kilometrskih kvadrantih pod 60 %. Še posebej izrazito bi se zmanjšal delež acidofilnega bukovja v predalpskem in predinarskem območju, kjer se v nekoliko nižjih nadmorskih višinah pojavlja predvsem združba bukve z rebrenjačo (*Blechno-Fagetum*). Nekoliko večji površinski delež acidofilnega bukovja pa bi se po napovedih modela lahko obdržal na Pohorju in Karavankah.

Podgorska bukovja so danes najpogostejše prisotna v preddinarskem, subpanonskem in predalpskem območju. S povečanjem temperatur, ki ga predvidevajo vsi trije scenariji, se bo delež podgorskih bukovij na celotnem območju verjetno zmanjšal (povsod pod 40 %, večinoma pa celo pod 20 % zastopanosti). Podgorska bukovja bi po napovedi modela verjetno izgubila največji delež površine prav v današnjem osrednjem delu njihovega areala (pred-

dinarsko območje). Model napoveduje izrazito zmanjšanje tudi v subpanonskem območju. Nekoliko večji delež gozdov, podobnih današnjim podgorskim bukovjem, lahko pričakujemo tudi na nekaterih območjih današnjih acidofilnih bukovij (npr. vznožje Pohorja).

Gorska in visokogorska bukovja v dinarsko-preddinarskem območju (vegetacijski tip 6) se poleg dinarskega območja pojavljajo tudi na Pohorju, manjše otoke pa najdemo v preddinarskem območju. Napovedi deležev in razporeditve tega vegetacijskega tipa po optimističnem scenariju se precej razlikuje od napovedi po pesimističnem scenariju. Čeprav lahko tudi po optimističnem scenariju (naraščanje temperature ob hkratnem povečanju količine padavin) pričakujemo močno zmanjšanje njegovega deleža na celotnem sedanjem arealu, pa bi se po tej napovedi lahko obdržal na večini dinarskega območja. Z nekoliko večjim površinskim deležem bi se lahko obdržal predvsem v višjih legah notranjskega in goteniškega Snežnika. Podobni

gozdovi, ki smo jih uvrstili v ta vegetacijski tip, bi se po teh napovedih lahko pojavljali tudi na Pohorju in na drugih alpskih planotah. Ob uresničitvi pesimističnega scenarija (naraščanje temperature ob hkratnem zmanjšanju količine padavin) pa lahko podobne gozdove pričakujemo z razmeroma majhno zastopanostjo v kvadrantih (npr. max. 30 %–40 %) le še v posameznih v predelih Dinaridov in Alp. Na veliki večini sedanjega areala tega tipa pa lahko pričakujemo drugačno vegetacijo z drugimi dominantnimi drevesnimi vrstami.

RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

V nasprotju z ugotovitvami, da se delež bukve v naših gozdovih v zadnjih desetletjih povečuje (Ficko in sod., 2008; Poljanec in sod., 2010), je simulacija potencialnih vplivov podnebnih sprememb na prevladujoče bukove gozdove z uporabo novega metodološkega pristopa nakazala možnost zmanjšanja njihovega deleža. Simulacije nakazujejo podobne trende kot predhodne napovedi za območje Slovenije (Kutnar, Kobler 2007; Kutnar in sod., 2009; Kobler, Kutnar, 2010), kot tudi za srednjeevropski prostor (npr. Brzeziecki in sod., 1993, 1995; Fotelli in sod., 2002; Geßler in sod., 2007).

Tudi nekoliko drugače zasnovan model je napovedal upadanje prevladujočih bukovih gozdov kot predhodna raziskava (Kutnar in sod., 2009), ki je do leta 2070 napovedala zmanjšanje njihove površine na manj kot polovico sedanje. Raziskava je potrdila tudi negativne napovedi dosedanjih raziskav, da bi lahko bili dinarski jelovo-bukovi gozdovi med najbolj ogroženimi (Kutnar, Kobler, 2007; Kutnar in sod., 2009). Potencialno zmanjševanje njihovega deleža bi lahko pomenilo veliko izgubo v gospodarskem in ekološko-naravovarstvenem pogledu.

Naše napovedi vpliva podnebnih sprememb na bukove gozdove temeljijo na poenostavljenih predpostavkah in so zato uporabne predvsem za zožitev negotovosti pri odločanju o prihodnjem gospodarjenju z njimi. V modelih namreč ni bilo mogoče upoštevati številnih dejavnikov (npr. ekološke niše vrst in združb, širjenje novih bolezni in škodljivcev, gozdni požari, drugi antropogeni vplivi na rabo prostora), ki bi lahko odločilno vplivali na njihovo pojavljanje v prihodnosti.

ZAHVALA

Prispevek je nastal v okviru projekta V4-0494, ki ga je financiralo Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS ter raziskovalnega programa P4-0107. Zahvaljujemo se recenzentu dr. Nikici Ogris za vsebinsko in tehnično izboljšanje prispevka.

LITERATURA

1. ARSO – Agencija RS za okolje (2005) Podnebne karte povprečnih mesečnih in letnih temperatur 1971-2000
2. ARSO – Agencija RS za okolje (2006a) Podnebne karte povprečnih mesečnih in letnih padavin 1971-2000
3. ARSO – Agencija RS za okolje (2006b) Podnebne karte povprečnih mesečnih in letnih evapotranspiracij 1971-2000
4. ARSO – Agencija RS za okolje (2008) Svetovne podnebne razmere v letu 2007 (povzeto po Svetovni meteorološki organizaciji, pripravili Cegnar T, Zupančič M), <http://www.arso.gov.si/podnebne%20spremembe/podatki%20o%20spreminjanju%20podnebja/Svetovne%20podnebne%20razmere%20v%20letu%202007.pdf>
5. Kiselev O.V., Tischen D., Sparks T.H., Askeev I.V. (2005) The effect of climate on the phenology, acorn crop and radial increment of pedunculate oak (*Quercus robur*) in the middle Volga region, Tatarstan, Russia. Int. J. Biometeorol. 49: 262-266
6. Bergant K. (2003) Projekcije simulacij globalne klime na lokalni nivo in njihova uporaba v agrometeorologiji. Doktorska disertacija, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani
7. Bergant K. (2007) Projekcije podnebnih sprememb za Slovenijo. V: Jurc M (ur.) Podnebne spremembe – Vpliv na gozd in gozdarstvo. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire, Ljubljana, Strokovna in znanstvena dela, 130: 67-86
8. Blockeel H., Struyf J. (2002) Efficient algorithms for decision tree cross-validation. Journal of Machine Learning Research, 3, 621-650
9. Breiman L. (2001) Random forests. Machine Learning 45 (1), 5–32
10. Brzeziecki B., Kienast F., Wildi O. (1993) A simulated map of the potential natural forest vegetation in Switzerland. Journal of Vegetation Science, 4: 499-508
11. Brzeziecki B., Kienast F., Wildi O. (1995) Modelling potential impacts of climate change on the spatial distribution of zonal forest communities in Switzerland. Journal of Vegetation Science, 6: 257-268
12. CPVO – Center za pedologijo in varstvo okolja (1999) Digitalna pedološka karta Slovenije 1:25000
13. CRU – Climatic Research Unit (2008) School of Environmental Sciences, Faculty of Science, University of East Anglia, Norwich, UK, <http://www.cru.uea.ac.uk>
14. Ferrier S., Guisan A. (2006) Spatial modelling of biodiversity at the community level. Journal of Applied Ecology, 43, 3: 393-404
15. Ficko A., Klopčič M., Matijašič D., Poljanec A., Bončina A. (2008) Razširjenost bukve in strukturne značilnosti bukovih sestojev v Sloveniji. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 87: 45-60
16. Fotelli N.M., Rennenberg H., Geßler A. (2002) Effects of drought on the competitive interference of an early successional species (*Rubus fruticosus*) on *Fagus sylvatica* L. seedlings: 15N uptake and partitioning, responses of amino acids and other N compounds. Plant Biology, 4: 311-320
17. Freeman M., Morén A.S., Strömberg M., Linder S. (2005) Climate change impacts on forests in Europe: biological impact mechanisms. In: Kellomäki, S, Leinonen, S. (ur.), Management of European Forest under Changing Climatic Conditions, University of Joensuu Research Notes 163: 46-115
18. Geßler A., Keitel C., Kreuzwieser J., Matyssek R., Seiler W., Rennenberg H. (2007) Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. Trees, 21: 1-11
19. Guisan A., Edwards T.C., Hastie T. (2002) Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. Ecological Modelling, 157: 89-100
20. GURS – Geodetska uprava RS (2006) Digitalni model reliefa DMR100
21. IPCC (2001) Climate Change 2001: impacts, adaptation and vul-

- nerability. V: McCarthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White KS (ur.), Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK
22. **IPCC (2007)** Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. V: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, Van Der Linden PJ, Hanson CE (ur.), Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK
 23. **Kellomäki S., Leinonen S. (ur.) (2005)** Management of European forests under changing climatic conditions. Final Report of the Project Silvistrat. University of Joensuu, Research Notes, 163, Joensuu, Finland
 24. **Kobler A., Kutnar L. (2010)** Potential forest change in Slovenia due to climate warming. IUFRO 3.08 Small-Scale Forestry Conference Proceedings, Bled, 6 – 12 junij 2010
 25. **Koca D., Smith S., Sykes M.T. (2006)** Modelling regional climate change effects on potential natural ecosystems in Sweden. Climatic Change, 78: 381-406
 26. **Kocev D. (2011)** Ensembles for predicting structured outputs. Doktorska dizertacija, Jožef Stefan International Postgraduate School, Ljubljana, Slovenija.
 27. **Kocev D., Vens C., Struyf J., Dzeroski S. (2007)** Ensembles of multi-objective decision trees. V: ECML '07: Proceedings of the 18th European Conference on Machine Learning, LNCS 4701, 624-631. Springer, Berlin-Heidelberg.
 28. **Košir Ž., Zorn-Pogorelc M., Kalan J., Marinček L., Smole I., Čampa L., Šolar M., Anko B., Accetto M., Robič D., Toman V., Žgajnar L., Torelli N. (1974)** Gozdnovegetacijska karta Slovenije, M 1:100.000. Biro za gozdarsko načrtovanje, Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana
 29. **Košir Ž., Zorn-Pogorelc M., Kalan J., Marinček L., Smole I., Čampa L., Šolar M., Anko B., Accetto M., Robič D., Toman V., Žgajnar L., Torelli N., Tavčar I., Kutnar L., Kralj A. (2003)** Gozdnovegetacijska karta Slovenije, digitalna verzija. Biro za gozdarsko načrtovanje, Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana
 30. **Kutnar L., Kobler A. (2007)** Potencialni vpliv podnebnih sprememb na gozdno vegetacijo v Sloveniji (Potential impact of climate changes on forest vegetation in Slovenia). V: Jurc M (ur.) Podnebne spremembe : vpliv na gozd in gozdarstvo : Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Studia forestalia Slovenica, 130: 289-304
 31. **Kutnar L., Kobler A., Bergant K. (2009)** Vpliv podnebnih sprememb na pričakovano prostorsko prerezporeditev tipov gozdne vegetacije. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 89: 33-42
 32. **Lexer M.J., Hönninger K., Scheifinger H., Matulla Ch., Groll N., Kromp-Kolb H., Schadauer K., Starlinger F., Englisch M. (2002)** The sensitivity of Austrian forests to scenarios of climatic change: a large-scale risk assessment based on a modified gap model and forest inventory data. Forest Ecology and Management, 162: 53-72
 33. **Maracchi G., Sirotenko O., Bindi M. (2005)** Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe. Climatic Change, 70: 117-135
 34. **Ogris N., Jurc M., Jurc D. (2008)** Varstvo bukovih gozdov - danes in jutri. V: Bončina A (ur.) Bukovi gozdovi-ekologija in gospodarjenje: zbornik razširjenih povzetkov predavanj. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 36-39
 35. **Poljanec A., Ficko A., Bončina A. (2010)** Spatiotemporal dynamic of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Slovenia, 1970–2005. Forest Ecology and Management, 259: 2183-2190
 36. **Shaver G.R., Canadell J, Chapin F.S., Gurevitch J., Harte J., Henry G., Ineson P., Jonasson S., Mellilo J., Pitelka L., Rustad L. (2000)** Global warming and terrestrial ecosystems: a conceptual framework for analysis. Bioscience, 50: 871-882
 37. **Steinmann K., Linder H.P., Zimmermann N.E. (2009)** Modelling plant species richness using functional groups. Ecological Modelling, 220: 962-967
 38. **Struyf J., Dzeroski S. (2006)** Constraint based induction of multi-objective regression trees. V: Proc. of the 4th International Workshop on Knowledge Discovery in Inductive Databases KDID, LNCS 3933, 222-233. Springer.
 39. **Wraber M. (1969)** Pflanzengeographische Stellung und Gliederung Sloweniens. Vegetatio, The Hague, 17: 176-199
 40. **Zorn M. (1975)** Gozdnovegetacijska karta Slovenije. Opis gozdnih združb. Biro za gozdarsko načrtovanje, Ljubljana, 150

Andrej FICKO**, Matija KLOPČIČ**, Aleš POLJANEC***,
Tina SIMONČIČ**, Andrej BONČINA*

UDK 630*22

KLJUČNI IZSLEDKI PROSTORSKE IN ČASOVNE DINAMIKE JELKE IN BUKVE V SLOVENIJI

Spatiotemporal dynamics of silver fir and European beech
in Slovenia: a synthesis

Izvleček: Predstavljamo ključne izsledke raziskav časovne in prostorske dinamike jelke in bukve v Sloveniji v obdobju 1970–2005 (2008) in ključne izsledke analize dinamike jelovo-bukovih gozdov v preteklem stoletju. Po letu 1970 smo bili v Sloveniji priča znatnemu širjenju bukve in povečevanju njenega obilja v sestojih. Nasprotno, več indikatorjev kaže na nazadovanje jelke v Sloveniji, ki je bilo izrazitejše v jelovo-bukovih gozdovih. V nekaterih območjih izven dinarskih jelovo-bukovih gozdov se kažejo za jelko ugodni razvojni trendi. Dinamika jelovo-bukovih gozdov v preteklem stoletju je bila odvisna predvsem od preteklega gospodarjenja, naravnih motenj in rastiščnih razmer. V prihodnjih desetletjih pričakujemo nadaljnje povečevanje deleža bukve v gozdovih Slovenije in uspešnejšo vrst in postopno povečevanje obilja jelke med tanjšim drevjem v predalpskih jelovo-bukovih gozdovih in v jelovjih na nekarbonatu.

Ključne besede: razvoj gozdov, jelka, bukev, razširjenost vrst, propadanje jelke, jelovo-bukovi gozdovi, drevesna sestava, debelinska struktura

Abstract: We analysed changes in the distribution of beech and silver fir in Slovenia in the period 1970–2005 (2008) and long-term dynamics of silver fir-beech forests in selected forest management units. Since 1970, beech has expanded its area by more than 1200 ha per year on average. On contrary, most selected indicators confirmed the hypothesis of fir decline in the period 1970–2008, which was more evident in silver fir-beech forests. However, the opposite trends are remarkable outside silver fir-beech forests. The spatiotemporal dynamics of fir in the last century was particularly underpinned by past forest management, natural disturbances, and site conditions. The future of silver fir is much more uncertain in the Dinaric fir-beech forests than in the fir-beech forests in the Alps or fir forests on non-carbonate bedrock. In the next decades, we expect an increase of the proportion of beech in Slovenia and the excessive recruitment of beech, and slightly increasing of the proportion of silver fir in small-diameter trees in pre-alpine silver fir-beech forests and in silver fir forests on non-carbonate bedrock.

Key words: stand development, silver fir, beech, species distribution, fir decline, silver fir-beech forests, tree species composition, dbh structure

* Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: andrej.boncina@bf.uni-lj.si

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

*** Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana in
Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana

1. UVOD

Spremembe so stalnica procesov v gozdnih ekosistemih, njihovo proučevanje na velikoprostorski ravni pa je pogostokrat oteženo ali celo nemogoče zaradi počasnosti sprememb in pomanjkanja ustreznih podatkov daljših časovnih obdobj. Gozdni ekosistemi z bukvijo (*Fagus sylvatica* L.) so v Sloveniji tako v okoljskem, gospodarskem kot socialnem pomenu med najpomembnejšimi, saj predstavljajo okrog 70 % površine vseh slovenskih gozdov. Tudi

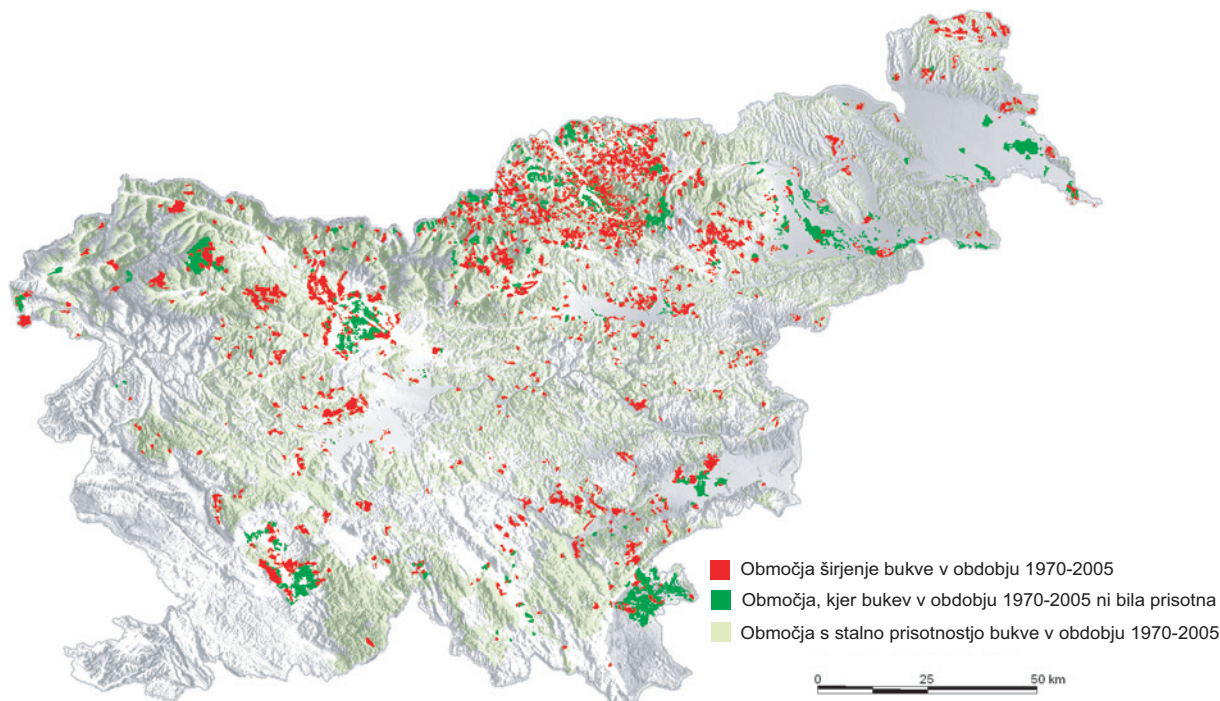
jelka je imela posebno mesto v slovenskem gozdarstvu, v zadnjih desetletjih predvsem zaradi propadanja in aktualne gozdnogojitvene problematike. Jelka in bukev tudi v raziskovalnem in gospodarskem smislu predstavljata stalnici slovenskega gozdarstva, saj je najdaljša tradicija načrtnega gospodarjenja z gozdovi prav na območjih, ki jih po naravi v znatnem obsegu poraščata ti dve vrsti. Intenzivno izkoriščanje jelovo-bukovih gozdov v Sloveniji se je večinoma začelo v 19. stoletju, ko se je v Sloveniji začelo načrtno gospodarjenje z gozdovi. Iz tega obdobja so ohranjeni nekateri gozdnogospodarski načrti s podrobnimi podatki o takratnem stanju gozdov, ki so lahko dragoceni vir za rekonstrukcijo dolgoročnega razvoja gozdov. Z razvojem gozdarske miselnosti in gozdarskega načrtovanja so se spreminjali načini zajema podatkov, prostorske enote za spremljanje razvoja gozdov ter načini hranjenja podatkov, kar otežuje znanstveno proučevanje procesov sprememb. Veliko pomembnih informacij o preteklem razvoju gozdov in gospodarjenju je ostalo brez enotne vsebinske in prostorske podlage. Šele v enoten informacijski sistem zbrani in z uporabo sodobnih orodij analizirani podatki iz različnih ureditvenih obdobj (Poljanec, 2008; Klopčič in sod., 2010a; Poljanec in sod., 2010; Ficko in sod., 2011; Klopčič, Bončina, 2011) so omogočili vpogled v dolgoročne razvojne spremembe slovenskih gozdov, ki predstavljajo izhodišče za načrtovanje prihodnjega razvoja gozdov.

2. METODE

Prispevek podaja pregled ključnih izsledkov novejših raziskav s področja časovne in prostorske dinamike jelke in bukve v Sloveniji in ključnih izsledkov analize dinamike jelovo-bukovih gozdov v preteklem stoletju, ki so bile opravljene v Skupini za urejanje gozdov in biometrijo na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete v Ljubljani. Raziskave časovne in prostorske dinamike jelke in bukve temeljijo predvsem na informacijskem sistemu Silva-SI (Poljanec, 2008), ki ga gradi več prostorskih zbirk podatkov za različna obdobja in različne prostorske ravni in vključuje podatke o stanju gozdov in izbranih vplivnih dejavnikih na ravni oddelkov. Podrobnejši opis vseh metod je predstavljen v Poljanec in sod. (2010), Klopčič in sod. (2010a) ter Ficko in sod. (2011).

3. PROSTORSKA IN ČASOVNA DINAMIKA BUKVE V SLOVENIJI PO LETU 1970

Na podlagi podatkov prostorskega informacijskega sistema Silva-SI (Poljanec, 2008) smo za večji del slovenskega gozdnega prostora (22.220 oddelkov s skupno površino 7446 km²) in z uporabo evropske klasifikacije gozdnih tipov (EEA, 2006) analizirali spreminjanje razširjenosti bukve ter njenega obilja v obdobju 1970–2005 glede na vpliv izbranih okoljskih, sestojnih in gospodarskih spremenljivk (Poljanec in sod., 2010). Vpliv dejavnikov na širjenje bukve v obdobju 1970–2005 smo preverjali z binarno logistično



Slika 1. Širjenje bukve v Sloveniji v obdobju 1970–2005 (po Poljanec in sod., 2010)

regresijo (Hosmer, Lemeshow, 2000), spremembe v obilju pa smo proučevali po evropskih gozdnih tipih in razlike analizirali z Welchvim testom (Welch, 1947).

V proučevanem obdobju smo bili priča znatnemu širjenju bukve v Sloveniji (slika 1). Površina gozdov z bukvijo se je od sedemdesetih let dalje v povprečju povečevala za 0,24 % letno. Širjenje bukve najboljše pojasnjujejo okoljske in sestojne spremenljivke; širjenje bukve je bilo intenzivnejše na rastiščih, kjer je bukev v potencialni vegetaciji kodominantna ali dominantna drevesna vrsta, na nižjih nadmorskih višinah in strmejših terenih ter v bližini obstoječih bukovih sestojev. Pogostejše se je širila v sestoj, ki so imeli leta 1970 večji delež jelke in manjši delež smreke. Jakost povprečnega načrtovanega poseka ni značilno vplivala na prostorsko dinamiko bukve.

Analiza razvoja gozdnih sestojev v obdobju 1970–2005 kaže, da se je lesna zaloga bukve podvojila, njen delež v skupni lesni zalogi pa se je povečal iz 31 % na 34 %. Spremembe deleža bukve v lesni zalogi gozdnih sestojev so bile med gozdnimi tipi značilno različne. Delež bukve se je v obdobju 1970–2005 najbolj povečal na njenih optimalnih rastiščih (evropska gozdna kategorija bukovi gozdovi) EEA (2006), znatno se je povečal tudi v acidofilnih hrastovjih, zmanjšal pa se je v termofilnih listopadnih gozdovih in v alpskih iglastih gozdovih.

Rezultati časovne in prostorske dinamike bukve v obdobju 1970–2005 kažejo, da se je bukev najintenzivneje širila in povečevala obilje na svojih naravnih rastiščih, posebno na območjih, kjer sta bili razširjenost in obilje bukve zmanjšani zaradi različnih človekovih vplivov (steljarjenje, izsekovanje). Kot ključni omejujoči dejavnik širjenja bukve v obdobju 1970–2005 so se pokazale za bukev neprimerne ekološke razmere in možnosti širjenja semena.

4. PROSTORSKA IN ČASOVNA DINAMIKA JELKE V SLOVENIJI PO LETU 1970

S pomočjo sistema Silva-SI smo analizirali tudi časovno in prostorsko dinamiko jelke v Sloveniji v obdobju 1970–2008 (Ficko in sod., 2011). Proučevali smo spremembe v razširjenosti in obilju ter spremembe debelinske strukture lesne zaloge. Analizirali smo pomlajevanje jelke in stopnjo njene vrasti nad meritveni prag. Za analizo sprememb njene razširjenosti smo uporabili umetne nevronske mreže, ki z učenjem iz podatkov same ugotovijo pravilo, ki povezuje izhodne podatke (spremembe v pojavljanju jelke) z vhodnimi (okoljske, sestojne in gozdnogospodarske spremenljivke) (Lek in sod., 1996). Veliko število podatkov sicer grobe prostorske resolucije nam je omogočilo uspešno učenje mrež in ustrezno preverjanje pojasnjevalnega modela na veliki površini. Z uporabo devetih vhodnih spremenljivk (povprečna letna temperatura, povprečne

letne padavine, povprečna jakost poseka, bližina jelovih sestojev, gozdni tip, ekspozicija, tip tal, delež jelke v naravni drevesni sestavi, matična podlaga) smo v povprečju z 79,5 % zanesljivostjo uspeli pojasniti procese izginjanja jelke, zanesljivost pojasnjevalnega modela širjenja jelke pa je znašala v povprečju 85 %.

Rezultati raziskave kažejo na pomembno različno stanje in razvojne značilnosti jelke na štirih obravnavanih rastiščih, kjer jelka naravno uspeva. Tako izginjanje jelke kot njeno pojavljanje namreč najboljše opredeljuje rastiščni tip, ki je kombinacija posrednih vplivov preteklega gospodarjenja in rastiščnih razmer. Prostorsko dinamiko jelke lahko pojasnimo tudi z razlikami v naravni potencialni drevesni vegetaciji in deležu jelke v njej, s povprečnimi letnimi padavinami in povprečnimi letnimi temperaturami. Proces izginjanja jelke je bil najizrazitejši v dinarskih jelovo-bukovih gozdovih, kjer so jelko v preteklosti najbolj pospeševali; neposredno – predvsem z odstranjevanjem bukve ter saditvijo ali setvijo jelke, ali posredno – s prebiralnim gojitvenim sistemom, ki so ga izvajali na pretežnem delu dinarskih jelovo-bukovih gozdov vse od začetka načrtnega gospodarjenja z gozdovi (konec 19. in začetek 20. stoletja). K obilnemu pomlajevanju jelke sredi 19. stoletja, vraščanju jelke konec 19. stoletja in njeni prevladi v lesni zalogi sestojev v 20. stoletju je znatno prispevala tudi manjša gostota populacije jelenjadi, ki je bila nekaj desetletij v drugi polovici 19. stoletja tudi povsem iztrebljena (Klopčič in sod., 2010a). Regresija jelke je bila izrazitejša tudi na rastiščih, kjer je delež jelke v potencialni drevesni sestavi majhen ali pa jelke ni ter na sušnejših in toplejših rastiščih. Nasprotno, progresija jelke je bila izrazitejša v nekarbonatnih jelovjih, na rastiščih, kjer je jelka po naravi močnejše zastopana in na območjih, ki so bila v poprečju bolj namočena in hladnejša.

Na nekaterih manjših območjih (Bohor) smo izvedli podrobnejšo analizo razvoja sestojev (Simončič, Bončina, 2010). Iz ohranjenih gozdnogospodarskih načrtov za gozdnogospodarsko enoto Bohor (ZGS, 1958–2008) smo pridobili podatke o spremembah drevesne sestave in debelinske strukture, načinu gospodarjenja (gozdnogojitveni sistemi, ciljne lesne zaloge, načrtovani in izvedeni poseki) in drugih dejavnikih, na primer divjadi in boleznih, ki bi lahko vplivali na dinamiko jelke v gozdnih sestojih. Na osrednjem delu enote v gorskih bukovih gozdovih in acidofilnih bukovih gozdovih smo podrobneje analizirali pomlajevanje jelke (Simončič, 2008).

Spreminjanje debelinske strukture gozdnih sestojev na Bohorju v obdobju 1957–2007 kaže na staranje, kar ne velja za jelko. V obdobju 1967–1987 se je zmanjšala količina debelih jelk s prsnim premerom nad 50 cm. Količina tanjših jelk se sicer ni pomembno spreminjala, a jelka je

Preglednica 1. Spremembe v razširjenosti jelke v Sloveniji 1970–2008 po podatkih prostorskega informacijskega sistema Silva-Si (prirejeno po Ficko in sod., 2011)

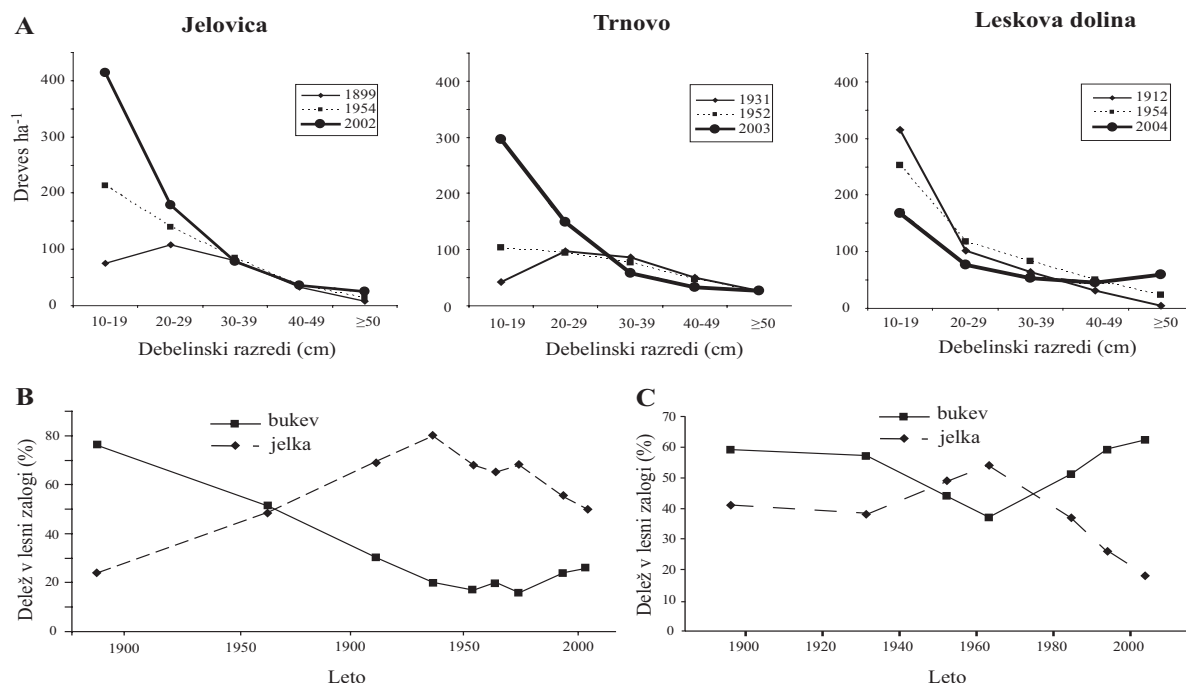
		Rastiščni tip									
		Predalpski jelovo-bukovi gozdovi		Dinarski jelovo-bukovi gozdovi		Jelovja s praprotni in jelovja na nekarbonatnih kamninah		Druga rastišča		Slovenija	
Območje razširjenosti jelke 1970 (ha)		38.042		84.704		26.491		191.098		340.334	
Območje razširjenosti jelke 2008 (ha)		39.152		85.234		29.631		191.428		345.445	
Število oddelkov s prisotno jelko 1970		925		2188		898		5502		9513	
Število oddelkov s prisotno jelko 2008		945		2188		1121		5275		9529	
Delež jelke v lesni zalogi sestojev 1970		18,6		53,0		41,5		6,6		17,4	
Delež jelke v lesni zalogi sestojev 2008		8,4		30,5		21,8		2,4		7,8	
		1970	2008	1970	2008	1970	2008	1970	2008	1970	2008
Delež gozdne površine 1970 in 2008 glede na obilje jelke v lesni zalogi (LZ) (%)	1–5 % v LZ	11,8	31,2	3,2	6,5	4,1	8,7	11,9	20,4	10,4	18,9
	6–25 % v LZ	47,2	48,5	12,3	29,4	11,6	4,3	14,9	11,3	16,4	17,0
	>25 % v LZ	24,6	6,4	80,9	61,0	66,8	43,2	6,4	1,3	18,9	10,5

uspešno vraščala v najnižje debelinske stopnje. Od 1998 do 2007 se je število jelk s prsnim premerom med 10 in 30 cm povečalo za 6,2 dreves/ha, njihov delež v lesni zalogi jelke pa za 8 %. V zadnjih desetih letih sta se število tankih jelk in njihov delež v skupnem številu jelke znatno povečala, visok je tudi delež jelke v skupnem pomladku (25,2 %). Mortaliteta jelovega pomladka je majhna, jelka uspešno prerašča v višje višinske razrede.

Na uspešen razvoj jelke v gozdovih Bohorja je verjetno vplivalo več dejavnikov; izpostavimo lahko način gospodarjenja (malopovršinsko obnavljanje, prebiranje, pomlajevanje pod zastorom) in nizke gostote populacij rastlinojede parkljaste divjadi, predvsem jelenjadi. Tudi specifične rastiščne razmere (npr. mešan substrat) na Bohorju bi lahko bile eden od pomembnih vzrokov za uspešno pomlajevanje in vraščanje jelke v teh gozdovih.

V Sloveniji je padec obilja jelke znten; ocene prve povojne inventarizacije gozdov (Bončina, 2007) so kazale na nekaj manj kot 20 % delež jelke, v sedemdesetih letih je znašal njen delež okrog 17 %, podatki za leto 2009 kažejo na 7,4 % delež v lesni zalogi. Znatno se je zmanjšala povr-

šina sestojev s prevladujočo jelko (preglednica 1). Raziskava Ficka in sodelavcev (2011) kaže, da lahko intenzivnejše zmanjševanje obilja jelke v obdobju 1970–2008 pojasnimo z okoljskimi vplivi (višje povprečne temperature zraka, večja izoliranost posameznih sestojev z jelko), z rastiščnimi dejavniki (na karbonatni matični podlagi je regresija izrazitejša kot na nekarbonatni) in z gozdnogospodarskimi dejavniki (velike lesne zaloge jelke). Lesna zaloga jelke se je najbolj zmanjšala v dinarskih jelovo-bukovih gozdovih (–19,7 m³/ha), nekoliko manj v ostalih gozdnih tipih. Delež debelih jelk se je od leta 1990 do 2008 povečal s 24 % na 39 %. Najbolj opazne spremembe v debelinski strukturi so ugotovljene za dinarska jelova bukovja, kjer se je močno zmanjšala lesna zaloga tankih jelk (za 9,5 m³/ha) in najbolj povečala zaloga debelih jelk (za 16,2 m³/ha). Jelka se najobilneje pomlajuje v jelovjih na nekarbonatih, kjer je njen delež v pomladku 5–6 krat večji kot v Dinaridih ali v predalpskih jelovih bukovjih, vendar je delež jelke v pomladku povsod še vedno nesorazmeren deležu v lesni zalogi. Prav tako je slaba tudi vrast, saj v povprečju znaša le 4,8 jelk/ha/10 let. V raziskavi debelinskega priraščanja jelke (N = 42.265 jelk) Klopčič in sod. (2010b) ugo-



Slika 2. Debelinska struktura jelovo-bukovih gozdov v izbranih raziskovalnih objektih (A) in izmenjava v dominanci med jelko in bukvijo v Leskovi dolini (B) in na Trnovem (C) (prirejeno po Klopčič, Bončina, 2011)

tavljajo majhen povprečni letni debelinski prirastek jelke z veliko variabilnostjo v priraščanju. V našem največjem rastiščnem tipu z jelko, v dinarskih jelovih- bukovjih, je pomlajevanje jelke izrazito slabo, prav tako tudi vrast, saj v povprečju v desetih letih vrastejo le 4 jelke/ha, predvsem zaradi vpliva jelenjadi (Bončina in sod., 2009; Klopčič in sod., 2010a; Ficko in sod., 2011).

5. RAZVOJNA DINAMIKA JELOVO-BUKOVIH GOZDOV V ZADNJEM SOLETJU

V raziskavi dinamike razvoja jelovo-bukovih gozdov v zadnjem stoletju (Klopčič in sod., 2010a; Klopčič, Bončina, 2011) so bili vključeni raziskovalni objekt v Alpah (GGE Jelovica z delom GGE Notranji Bohinj, v nadaljevanju GGE Jelovica; 6784 ha) s prevladujočimi predalpskimi jelovo-bukovimi gozdovi, in dva objekta v dinarskih jelovo-bukovih gozdovih; (GGE Trnovo (3562 ha) v Trnovskem gozdu na severnem obrobju Dinaridov in GGE Leskova dolina (2456 ha) na Snežniškem v osrednjem delu Dinaridov. Dinamiko razvoja gozdov smo proučevali s pomočjo dostopnih arhivskih virov. Izdelali smo GIS zbirko podatkov, v kateri smo preračunali podatke za vsa ureditvena obdobja in jih prikazali na ravni današnjih odsekov (v povprečju 12,7 ha – 20,1 ha).

Dinamika razvoja jelovo-bukovih gozdov v Dinaridih se je značilno razlikovala od dinamike v Alpah, prav tako smo ugotovili razvojne razlike znotraj dinarskih jelovo-bukovih gozdov. Med analiziranimi objekti smo ugotovili razlike v

debelinski strukturi, lesni zalogi, drevesni sestavi in vrsti dreves prek meritvenega praga.

Analiza spreminjanja debelinske strukture jelovo-bukovih gozdov je pokazala dva značilno različna procesa, ki ju lahko opišemo kot (slika 2): »stiranje sestojev« v Leskovi dolini in »pomlajevanje sestojev« na Trnovem in Jelovici.

V Leskovi dolini se je število drevja zmanjšalo, ugotovili smo opazen premik porazdelitve števila dreves proti debelemu drevju. Nasprotno se je v GGE Trnovo in GGE Jelovica število dreves povečalo, predvsem na račun večanja števila tankega drevja s premerom med 10 in 29 cm. Med glavnimi drevesnimi vrstami je jelka v najslabšem stanju, saj se je njena populacija v Dinaridih razvojno drastično »postarala«, precej »mlajša« pa je njena populacija v predalpskih jelovih-bukovjih.

Skladno z dinamiko debelinske strukture gozdnih sestojev se je spreminjala tudi lesna zaloga. Ta se je v opazovanem obdobju v vseh objektih povečevala in dosegla največje vrednosti v zadnjem desetletju. V Leskovi dolini se je povprečna lesna zaloga sestojev povečala za 2,4 krat na današnjih 468 m³/ha, v GGE Trnovo in Jelovica pa se je povečala za 1,6 krat na sedanjih 328 oz. 340 m³/ha.

Spremembe drevesne sestave analiziranih gozdov so se med objekti značilno razlikovale; na spremembe je najbolj vplivalo preteklo gospodarjenje z gozdovi. V predalpskih jelovo-bukovih gozdovih je v celotnem proučevanem obdobju močno prevladovala smreka (od 68 % do

75 % lesne zaloge sestojev), delež bukve je bil konstanten, delež jelke pa je upadal. V dinarskih jelovih-bukovjih je opazna izmenjeva dominance jelke in bukve (slika 2). V GGE Trnovo je izmenjava v dominanci potekala hitreje (med letoma 1931 in 1983) kot v GGE Leskova dolina (med letoma 1864 in 2004). Delež jelke v lesni zalogi gozdnih sestojev je po letu 1960 začel upadati (najmočneje v GGE Trnovo), nasprotno pa je začel naraščati delež bukve.

Med glavnimi vplivnimi dejavniki dinamike jelovo-bukovih gozdov velja izpostaviti preteklo rabo gozdov, naravne motnje ter rastiščne razmere. Intenzivna raba gozdov (gozdna paša, glažutarstvo, železarstvo) je še pred začetkom načrtnega gospodarjenja z gozdovi pomembno spremenila strukturo in sestavo takratnih gozdov. V zadnjem stoletju je gospodarjenje z gozdovi z uporabo različnih gozdnogojitvenih sistemov (prebiralni in skupinsko postopni sistem v Leskovi dolini; zastorni in skupinsko postopni sistem na Trnovem; golosečni, zastorni in skupinsko postopni sistem na Jelovici) ter razlikami pri njihovi aplikaciji (npr. različna velikost vrzeli) značilno vplivalo predvsem na spremembe drevesne sestave sestojev, pa tudi njihove strukturne zgradbe. V dinarskih jelovih-bukovjih je glavna naravna motnja visoka stopnja objedenosti pomladka, ki ga veliki rastlinojedi selektivno objedajo, kar dolgoročno vpliva na vrst najbolj prizadetih drevesnih vrst (jelka, gorski javor) v drevesno plast ter posledično na strukturo in sestavo odraslih sestojev. V Alpah se nakazuje velik vpliv abiotičnih motenj na dinamiko gozdnih sestojev.

Napovedi prihodnjega razvoja gozdnih sestojev so za analizirana območja različne. Analiza vrsti dreves preko meritvenega praga (prsni premer = 10 cm) nakazuje, da bo delež smreke v predalpskih jelovih-bukovjih v prihodnosti še vedno velik, pričakujemo povečanje deleža bukve in drugih listavcev ter jelke. V Trnovskem gozdu je pričakovati prevlado bukve in povečanje deleža smreke, predvsem na račun jelke, ki zelo slabo vrašča v drevesno plast. Na Snežniškem pričakujemo prevlado bukve, zaradi znatno večje vrsti smreke preko meritvenega praga od vrsti jelke se bo nekoliko povečal tudi delež smreke. Rezultati opozarjajo na neugoden ohranitveni status jelke v dinarskih ter znatno ugodnejši ohranitveni status v predalpskih jelovih-bukovjih.

6. SKLEPI

Glede na ugotovljeno razvojno dinamiko bukve, njeno uspešno naravno pomlajevanje in glede na sestojne parametre v gozdovih z bukvijo (Ficko in sod., 2008) pričakujemo nadaljnje povečevanje deleža bukve v lesni zalogi gozdnih sestojev, navkljub klimatskim spremembam. Ob dejstvu, da je populacija bukve v Sloveniji razvojno mlajša od populacije smreke in znatno mlajša od populacije jelke, in ob upoštevanju trendov zmanjševanja deleža jelke na

praktično njenem celotnem evropskem arealu (Ficko, Bončina, 2006), problemov pri njenem pomlajevanju doma in v tujini (Motta, 1996, Klopčič in sod., 2010a), neugodne debelinske strukture lesne zaloge jelke v Sloveniji (Ficko in sod., 2011) in glede na opisane zakonitosti širjenja bukve in povečevanja njenega deleža v zadnjih desetletjih, se utegnejo največje spremembe v vrstni sestavi zgoditi v dinarskih jelovo-bukovih gozdovih. Seveda pa ne smemo prezreti nasprotnih razvojnih dogajanj v gozdovih z jelko in bukvijo na drugih območjih (npr. Bohor, Jelovica), ki so v slovenskem merilu zaenkrat posebne in tudi zaradi tega vredne bolj poglobljenih dolgoročnih raziskav.

7. VIRI

1. **Bončina A. (2007)** (Ur.). Inventarizacija gozdov 1946 in 1947. Viri za zgodovino gozda in gozdarstva na Slovenskem, 10. Ljubljana: Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, 325.
2. **Bončina A., Ficko A., Klopčič M., Matijašič D., Poljanec A. (2009)** Gospodarjenje z jelko v Sloveniji. Zbornik gozdarstva in lesarstva 90: 43–56
3. **EEA (2006)** European forest types, categories and types for sustainable forest management reporting and policy. Technical Report No. 9.
4. **Ficko A., Bončina A. (2006)** Silver fir (*Abies alba* Mill.) distribution in Slovenian forests. Zbornik gozdarstva in lesarstva 79: 19–35
5. **Ficko A., Klopčič M., Matijašič D., Poljanec A., Bončina A. (2008)** Razširjenost bukve in strukturne značilnosti bukovih sestojev v Sloveniji. Zbornik gozdarstva in lesarstva 87: 45–60
6. **Ficko A., Poljanec A., Bončina A. (2011)** Do changes in spatial distribution, structure and abundance of silver fir (*Abies alba* Mill.) indicate its decline? Forest Ecology and Management 261,4: 844–845
7. **Hosmer D.W., Lemeshow S. (2000)** Applied Logistic Regression, Second Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York.
8. **Klopčič M., Jerina K., Bončina A. (2010a)** Long-term changes of structure and tree species composition in Dinaric uneven-aged forests: are red deer an important factor? European journal of forest research 129, 3: 277–288
9. **Klopčič M., Matijašič D., Bončina A. (2010b)** Značilnosti debelinskega priraščanja jelke v Sloveniji. Gozdarski vestnik 68,4: 203–216
10. **Klopčič M., Bončina A. (2011)** Stand dynamics of silver fir (*Abies alba* Mill.)-European beech (*Fagus sylvatica* L.) forests during the past century: a decline of silver fir? Forestry, v tisku.
11. **Lek S., Delacoste M., Baran P., Dimopoulos I., Lauga J., Aulagnier S. (1996)** Application of neural networks to modelling nonlinear relationships in ecology. Forest Ecology and Management 90, 39–52
12. **Motta R. (1996)** Impact of wild ungulates on forest regeneration and tree composition of mountain forests in the western Italian Alps. Forest Ecology and Management 88: 93–98
13. **Poljanec A., Ficko A., Bončina A. (2010)** Spatiotemporal dynamic of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Slovenia, 1970–2005. Forest Ecology and Management 259,11: 2183–2190
14. **Poljanec A. (2008)** Strukturne spremembe gozdnih sestojev v Sloveniji v obdobju 1970–2005 : doktorska disertacija.
15. **Simončič T. (2008)** Sestojna zgradba in pomlajevanje gozdov Bohorja. Diplomsko naloga. Ljubljana, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire.
16. **Simončič T., Bončina A. (2010)** Jelka v gozdovih Bohorja - posebnost v slovenskem merilu. Gozdarski vestnik 68, 1: 3–15
17. **Welch B.L. (1947)** The generalization of "student's" problem when several different population variances are involved. Biometrika 34, 28–35
18. **ZGS (1958–2008)** Šest gozdnogospodarskih načrtov za GGE Bohor za obdobje 1958–2017. Brežice, ZGS, OE Brežice.

VSEBINE SPLETNEGA PORTALA O VARSTVU GOZDOV V SLOVENIJI

Contents of internet portal about forest protection in Slovenia

Povzetek: Vzpostavili smo elektronski sistem za varstvo gozdov v Sloveniji (EVG), ki je zgrajen iz dveh enot: podatkovne zbirke in spletnega portala. Namen portala EVG je, da posreduje znanja o varstvu gozdov, da spodbuja komunikacijo na temo varstva gozdov, da sporoča javnosti aktualna dogajanja na področju varstva gozdov. Vsebine portala EVG so: priročnik za določevanje vzrokov poškodb drevja, elektronska revija Novice iz varstva gozdov, izobraževalno gradivo, slovar strokovnih pojmov, letna poročila iz varstva gozdov, arhiv poročil poročevalske, prognostično-diagnostične službe za gozdove (PDP), predpisi, aktualni dogodki, posebni nadzori škodljivih organizmov. Uporabniki portala EVG so v prvi vrsti zaposleni na Zavodu za gozdove Slovenije in vsi uporabniki PDP službe, ki jo vodi Gozdarski inštitut Slovenije. Portal EVG bo dvignil raven informiranosti in ozaveščenost javnosti na področju varstva gozdov.

Ključne besede: informacijski sistem, internet, komunikacija, priročnik, revija, slovar, varstvo gozdov, znanje

Abstract: We developed electronic information system for forest protection in Slovenia (EVG) which is built up from two units: database and internet portal. Purpose of the EVG portal is to mediate knowledge about forest protection, to encourage communication in the field of forest protection, to inform public about events in the field of forest protection. The contents of EVG portal are: user's manual for determining causes of tree damages, electronic journal Forest protection news, educational material, glossary, forest protection yearly reports, archive of Reporting, prognostic-diagnostic service for forests (PDP), forest protection legislation, current events in the field of forest protection, special surveys of harmful organisms related with forestry. The users of EVG portal are employees from Slovenian Forestry Service (ZGS) and all users of PDP service, which is managed by Slovenian Forestry Institute. The EVG portal will raise the level of public awareness in the field of forest protection.

Keywords: information system, internet, communication, user's manual, journal, glossary, forest protection, knowledge

UVOD

Vzpostavili smo elektronski informacijski sistem za varstvo gozdov v Sloveniji (EVG), katerega cilj je učinkovito uresničevanje nalog Poročevalske, prognostično-diagnostične službe za gozdove (PDP), ki je del javne gozdarske službe. Sistem EVG je sestavljen iz dveh enot. Prvo enoto predstavlja zbirka in drugo spletni portal. Zbirka EVG je osrednje skladišče podatkov varstva gozdov v Sloveniji. Dostop do zbirke EVG je omejen. Vhod v zbirko predstavlja vnos podatkov po obrazcih, ki so določeni v Pravilniku o varstvu gozdov in drugih pravnih aktih, ki določajo delovanje PDP službe. V prispevku opisujemo vsebine spletnega portala

o varstvu gozdov Slovenije, ki predstavlja drugi del sistema EVG.

VSEBINE PORTALA

Spletni portal EVG je informacijsko središče za varstvo gozdov v Sloveniji. Dostop do portala EVG je javen preko svetovnega spleta na naslovu <http://www.zdravgozd.si>. Portal ureja GIS. Namen portala EVG je: (1) posreduje znanja o varstvu gozdov, izobražuje "on-line", (2) spodbuja komunikacijo na temo varstva gozdov, (3) sporoča javnosti aktualna dogajanja na področju varstva gozdov.

Vsebine portala EVG so: (1) priročnik za določevanje vzrokov poškodb drevja, (2) elektronska revija Novice iz varstva gozdov, (3) izobraževalno gradivo s področja varstva gozdov, (3) letna poročila Zavoda za gozdove Slovenije o

* dr., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: nikica.ogris@gozdis.si

pojavo podlubnikov, o pojavi škodljivih dejavnikov žive in nežive narave v gozdu ter o gozdnih požarih, (4) arhiv PDP poročil in elaboratov, (5) predpisi, povezani z varstvom gozdov, (6) posebni nadzori škodljivih organizmov, povezani z gozdarstvom, (7) dogodki s področja varstva gozdov, (8) koristne povezave, (9) kontakti za varstvo gozdov iz naslednjih organizacij: Gozdarski inštitut Slovenije, Biotehniška fakulteta, Zavod za gozdove Slovenije, Fitosanitarna uprava Republike Slovenije, posebni nadzori škodljivih organizmov, gozdne drevesnice.

PRIROČNIK ZA DOLOČEVANJE VZROKOV POŠKODB DREVJA

Priročnik vsebuje opise bolezni, škodljivcev in drugih škodljivih dejavnikov za gozd. Vsebuje opise simptomov in poškodb, skupaj s slikovnim gradivom.

Priročnik nudi različne načine iskanja povzročitelja poškodb drevja (slika 1): (1) enostavni iskalnik, to je čarovnik, ki vodi uporabnika do določitve povzročitelja poškodbe v treh korakih, kjer uporabnik najprej izbere drevesno vrsto, potem poškodovan del rastline in simptom. To je eno-



Slika 1. Priročnik za določevanje vzrokov poškodb drevja (<http://www.zdravgozd.si>)

stavni ključ za določanje povzročiteljev poškodb drevja; (2) napredni iskalnik – v tem iskalniku uporabnik lahko najde povzročitelje poškodb drevja z določitvijo več iskalnih pogojev naenkrat, npr. naziv povzročitelja, naziv gostitelja, določitve dela poškodovane rastline, tipa bolezni, skupine škodljivih dejavnikov, vrste parazita, simptoma, razvojne faze; (3) iskanje po abecednem seznamu – če uporabnik pozna ime povzročitelja (latinsko, slovensko, angleško, nemško), ga lahko na hiter način najde v tem seznamu; (4) iskanje na osnovi taksonomije – tukaj uporabnik lahko najde povzročitelja poškodb drevja na osnovi poznavanja njegove taksonomije. Uporabnik lahko rezultate iskanja enostavnega in naprednega iskalnika razišče v obliki preglednice ali slikovnega gradiva.

Posamezen zapis povzročitelja poškodb drevja vsebuje naslednje podatke: naziv (latinski, slovenski, angleški, nemški), sinonimi, taksonomska uvrstitev, skupina organizmov, tip bolezni, frekvenca pojavljanja, vrsta parazita, razširjenost, morfologija, biologija, ekonomske posledice, sovražniki, ukrepi ob najdbi, obseg poškodbe, poškodovani deli rastline, gostitelji, razvojna faza gostitelja, simptomi, možne zamenjave z drugimi povzročitelji.

Sestavni del priročnika je tudi slovar strokovnih pojmov s področja varstva gozdov.

NOVICE IZ VARSTVA GOZDOV

Novice iz varstva gozdov je prosto dostopna elektronska revija, ki jo izdaja Gozdarski inštitut Slovenije. Registrirana je pod ISSN 1855-8348. Njen cilj je na hiter način sporočati javnosti novosti s področja varstva gozdov, predstaviti aktualne probleme v varstvu gozdov ter opisati biotske in abiotske škodljive dejavnike za gozd. Revija je začela izhajati v letu 2008. Nova številka revije izide enkrat na leto. Takrat pripravimo PDF dokument, ki vsebuje vse prispevke izdane številke. Na revijo se lahko tudi naročimo. Ob izidu nove številke naročnik dobi obvestilo o novi številki Novic iz varstva gozdov v svoj e-poštni nabiralnik.

V sklopu revije je tudi iskalnik prispevkov, ki omogoča uporabnikom poiskati določen prispevek. Uporabnik lahko išče po naslovu prispevka, avtorjih, po polnem besedilu, po naslovu slik ali vseh poljih naenkrat. Rezultate iskanja lahko pregledujemo v obliki seznama ali slikovnega gradiva.

GRADIVO

Na portalu EVG smo gradivo razdelili na naslednje enote: izobraževalno gradivo, letna poročila ZGS (poročila o pojavu podlubnikov, o pojavu škodljivih dejavnikov žive in nežive narave v gozdu, o gozdnih požarih), poročila in elaborati PDP službe, predpisi, povezani z varstvom gozdov, posebni nadzori škodljivih organizmov.

PDP poročila so med gradivi najboljše enota. Digitalizirali smo arhivska poročila od leta 1982 naprej in jih procesirali z optično prepoznavo znakov (OCR, angl. Optical Character Recognition), kar je omogočilo iskanje po polnem besedilu. Od vseh avtorjev in soavtorjev smo pridobili pisno dovoljenje za javno objavo njihovih poročil in elaboratov v elektronski obliki. Uporabnik lahko išče PDP poročila v predpripravljenih seznamih: seznam poročil po letih, seznam poročil po avtorjih, seznam poročil po gozdnogospodarskih območjih (GGO). Drug način iskanja PDP poročil je napreden način, v katerem uporabnik lahko podrobneje določi pogoje iskanja. V naprednem načinu lahko uporabnik določi polje, po katerem želi izvesti iskanje (avtor, leto, naslov, besedilo, viri), GGO, način iskanja (se začne z, vsebuje, se konča z) in iskalni niz. Prednost naprednega načina iskanja je v tem, da lahko uporabnik hitreje najde želeno PDP poročilo, saj lahko ta način vrne manj zadetkov kot prej omenjeni sezname. PDP poročila lahko pregledujemo v formatu PDF (npr. z bralnikom Adobe Acrobat Reader®) ali pa v golem besedilu (brez slik in preglednic), ki je rezultat OCR.

SPLOŠNO ISKANJE PO PORTALU

V glavi portala se nahaja splošni iskalnik po portalu (slika 1). Splošni iskalnik omogoča iskanje po vseh vsebinah portala naenkrat. Uporaba je zelo preprosta: uporabnik vpiše ključno besedo v enovrstično iskalno polje in potrdi iskanje. Zadetki se izpišejo v naslednjem formatu: naslov dokumenta, izsek vsebine in sklop portala, na katerega se nanaša dokument. Izpiše se 10 zadetkov na stran. Po straneh rezultatov iskanja se premikamo s povezavami na dnu vsake strani. V primeru, ko splošno iskanje vrne veliko zadetkov, lahko rezultate iskanja zožimo s pomočjo orodja, ki se nahaja pod menijem levo. Rezultate iskanja lahko zožimo tako, da izberemo kategorijo, ki nas bolj podrobno zanima, npr. priročnik, slovar, Novice iz varstva gozdov, predpisi, PDP poročila, kontakti, idr. V primeru, ko iščemo bolj podrobno po priročniku za določevanje vzrokov poškodb drevja ali Novicah iz varstva gozdov, lahko rezultate iskanja pregledujemo tudi v obliki slikovnega gradiva.

ZAKLJUČKI

Sistem EVG bo imel izredno dolgoročen vpliv na razvoj področja varstva gozdov v Sloveniji. S portalom EVG je vzpostavljeno javno informacijsko središče za varstvo gozdov v Sloveniji. Z njim se bo dvignila kakovostna raven znanja gozdarjev in s tem tudi kakovost podatkov, ki jih gozdarji zbirajo na področju varstva gozdov. Kakovostnejši podatki pa pomenijo zanesljivejše prognoze, ki jih izvajamo v okviru PDP službe. Portal EVG bo dvignil raven ozaveščenosti in informiranosti javnosti na področju varstva gozdov. Razvoj in vzdrževanje portala EVG se bo v

naslednjih letih nadaljeval in nadgrajeval z dodatnimi vsebinami in funkcijami, npr. forum, pregledne karte povzročiteljev poškodb gozda v Sloveniji, izobraževalno gradivo, prognoze pojavov škodljivih dejavnikov, idr.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, ki je s financiranjem podoktorskega projekta Razvoj prognostičnih osnov za varstvo gozdov v Sloveniji (Z4-3663) omogočila razvoj informacijskega sistema za varstvo gozdov v Sloveniji in s tem tudi portala EVG, ki smo ga predstavili v tem prispevku. Projekt razvoja sistema EVG je podprlo tudi Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano v sklopu javne gozdarske službe na GIS, usmerjanje in strokovno vodenje PDP službe. Zahvaljujemo se tudi Programski skupini za gozdno biologijo, ekologijo in tehnologijo (0404-003), v okviru katere poteka zgoraj navedeni projekt. Bojanu Jurcu se zahvaljujemo za oblikovanje grafične predloge portala.

VIR

1. Spletni portal o varstvu gozdov Slovenije. Gozdarski inštitut Slovenije. <http://www.zdravgozd.si> (4. 2. 2011)

DOLOČITEV VSEBNOSTI FLAVONOIDOV V BUKOVINI S KOLORIMETRIČNO METODO

Determination of flavonoid content in beechwood
by colorimetric method

Izvleček: Vsebnost flavonoidov v metanolnih ekstraktih lesnih tkiv mehansko poškodovane bukve (*Fagus sylvatica* L.) ter v bukovi in smrekovi grči smo proučevali kolorimetrično. Po dodatku reagenta $AlCl_3$ smo ekstraktom izmerili absorbanco pri 415 nm z UV-Vis spektrofotometrom. Rezultati spektrofotometrične raziskave so pokazali, da se deleži celokupnih flavonoidov v metanolnih ekstraktih različnih delov lesa bukve in grč med seboj razlikujejo. Visoka koncentracija celokupnih flavonoidov je bila značilna za ekstrakt reakcijske cone in bukove grče, relativno visok delež flavonoidov pa smo določili tudi v diskoloriranem lesu. V poranitvenem lesu, beljavi in smrekovi grči je bil delež celokupnih flavonoidov manjši. Kolorimetrična analiza, ki temelji na uporabi $AlCl_3$ kot barvnega reagenta, predstavlja primerno metodo za določevanje deleža celokupnih flavonoidov v različnih tipih lesa in grčah.

Ključne besede: bukev, smreka, metanolni ekstrakt, flavonoidi, UV-Vis spektrofotometrija, aluminijev klorid $AlCl_3$, kvercetin, reakcijska cona, beljava, diskoloriran les, poranitveni les, grča.

Abstract: Content of flavonoids was determined colorimetrically in methanol extracts of different types of beechwood tissues (*Fagus sylvatica* L.) and knots. After addition of $AlCl_3$ reagent, absorbances of extracts were measured at 415 nm by UV-Vis spectrophotometer. Results of spectrophotometric research revealed variability in total flavonoid contents among different categories of beechwood tissues, including beech and spruce knots. High amounts of total flavonoids were characteristic for reaction zone and beech knot extracts, while in the sapwood, wound-wood and spruce knot contents of flavonoids were lower. Furthermore, relative high concentration of total flavonoids was also determined for the red heart extract. Colorimetric analysis based on the aluminum chloride reagent represents a suitable method for determination of total flavonoid contents in wood and knots extracts.

Key words: beech, spruce, methanol extract, flavonoids, UV-Vis spectrophotometry, aluminum chloride $AlCl_3$, quercetin, reaction zone, sapwood, discolored wood, wound-wood, knot.

UVOD

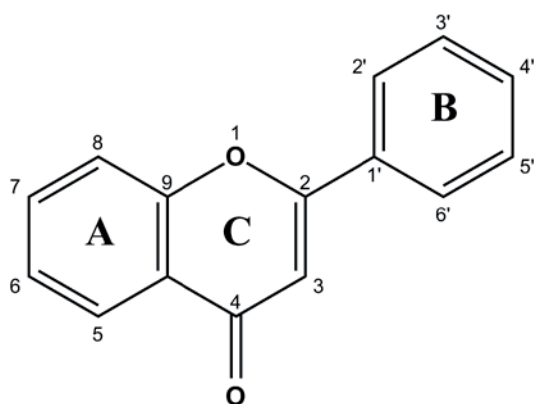
Rastline sintetizirajo na tisoče aromatskih spojin, ki vsebujejo po eno ali več fenolnih skupin in jih imenujemo fenolne spojine, rastlinski fenoli, polifenoli ali polifenolne spojine (Abram in Simčič, 1997). Flavonoidi so fenolne

snovi, ki imajo v molekuli 15 ogljikovih atomov urejenih v difenilpropansko ogrodje ($C_6 - C_3 - C_6$). Osnovno ogrodje flavonoidov je 2-fenilbenzopiron (Slika 1). Obroče v 2-fenilnilkromen-4-oni enoti označujemo z oznakami A, C in B.

V naravi se flavonoidi lahko pojavljajo kot samostojne spojine, pogostejše pa nastopajo kot 3-O-glikozidi. Sladkorne enote se lahko vežejo na C3 atom obroča C, na C5 ali C7 atom obroča A in redkeje tudi na obroč B (Abram in Simčič, 1997; Vermerris in Nicholson, 2006). Glikonsko enoto lahko predstavlja npr. glukoza, galaktoza, arabinoza, ramnoza, ksiloza, manoza in tudi kompleksnejši oligo-

* mladi raziskovalec, univ. dipl. inž. les., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: viljem.vek@bf.uni-lj.si

** izr. prof. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: primoz.oven@bf.uni-lj.si

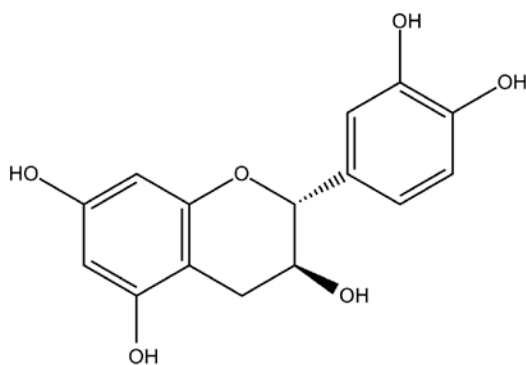


Slika 1. Osnovno strukturno formulo flavonoidov predstavlja 2-fenilkromen-4-on

saharidi, aglikonski del pa je lahko povezan tudi z amino skupinami, lipidi in terpenoidi (Fengel in Wegener, 1984; Kure, 2006; Vermerris in Nicholson, 2006).

Flavonoide lahko klasificiramo glede na stopnjo oksidacije C3 enote na 12 razredov, torej na flavone, flavonole, katehine (flavan-3-ole), flavanone, dihidroflavonole, proantocianidine ali levkoantocianidine (flavan-3,4-diole), antocianidine, izoflavonoide (3-fenilbenzopiran), neoflavone (4-fenilbenzopiran), halkone, dihidrokalkone in avrone (Abram in Simčič, 1997).

Flavonoidi predstavljajo zelo razširjeno skupino v polarnih topilih topnih spojin. Nekateri viri navajajo, da je identificiranih več kot 5000 flavonoidov (Abram in Simčič, 1997; Kai, 1991). Ker na antioksidacijsko sposobnost spojin vpliva položaj in razporeditev -OH skupin, predvsem tistih na B obroču, so vsi flavonoidi s 3',4'-dihidroksi ali 3',4',5'-trihidroksi skupinami dobri antioksidanti (Abram in Simčič, 1997), vključno s katehinom, ki je redna sestavina ekstraktivov številnih lesnih vrst (Choi in sod., 2001; Mantani in sod., 2001). V lesu zavirajo kolonizacijo tkiva z glivami in odvrčajo ksilofagne insekte, vplivajo na naravno odpornost in trajnost lesa ter so pogosto tiste fenolne spojine, ki dolo-



Slika 2. (+)-katehin

čajo barvo lesa (Fengel in Wegener, 1984; Kai, 1991; Koch in sod., 2003; Malterud in sod., 1985; Mantani in sod., 2001; Pietarinen in sod., 2006; Pohjamo in sod., 2003).

Pri kemijski analizi lesa se zaradi različnih raziskovalnih ciljev pogosto srečamo s problemom določitve vsebnosti določene snovi ali skupine spojin v preiskovanem vzorcu, kar se v primeru heterogene skupine molekul, kakršni so fenolni ekstraktivi, izkaže za resen problem. Za potrebe sumarne analize lesa (ang.: summative analysis), pogosto zadostuje že informacija o vsebnosti celokupnih fenolnih ekstraktivov v lesu, kar je mogoče določiti spektrofotometrično (Scalbert in sod., 1989; Umezawa, 2000; Vek in sod., 2010). Pogosto pa želimo dobiti tudi podatek o zastopnosti posameznih razredov fenolov v ekstrakcijski zmesi. Tudi za določitev vsebnosti celokupnih flavonoidov v rastlinskih tkivih je na voljo spektrofotometrična metoda, ki pa je bila v raziskavah lesa dokaj redko uporabljena (Brighente in sod., 2007; Diouf in sod., 2009; Quettier-Deleu in sod., 2000).

V pričujoči raziskavi smo določili vsebnost celokupnih flavonoidov v različnih kategorijah lesnih tkiv debela navadne bukve ter v smrekovi in bukovi grči z $AlCl_3$ kolorimetrično metodo.

MATERIAL IN METODA

V spektrofotometrično analizo smo vključili vzorčni kolut debela mehansko poškodovane bukve (*Fagus sylvatica* L.). Bukev z nekaj metrov dolgo mehansko poškodbo je bila posekana na jugozahodnem pobočju primestnega gozda Rožnik v Ljubljani.

Na kolutu smo na osnovi rastnih posebnosti označili mesta vzorčenja ter izžagali vzorce zdrave beljave (B), reakcijske cone (RC), rdečega srca (RS) in poranitvenega lesa (PL) tako, kot je opisano v Vek in sod. (2010). V raziskavo smo vključili tudi bazo žive veje bukve in smreke, kar bomo v nadaljevanju navajali kot bukovo (*Grča-B*) in smrekovo grčo (*Grča-S*). Homogenizacijo vzorcev različnih tipov lesnega tkiva in grč smo izvedli na rotacijskem mlinu *Retsch ZM200*, s čimer smo pridobili 0,5 mm lesno frakcijo.

Za ekstrakcijo in spektrofotometrično analizo smo uporabili kemikalije proizvajalcev *Sigma-Aldrich* oziroma *Fluka*.

Sledila je ekstrakcija flavonoidov s 70 % metanolom (aq) (*Sigma*, HPLC grade), pri čemer je razmerje vzorec/topilo (R) znašalo 1:10 (slika 3). Vzorce smo ob stalnem mešanju pri sobni temperaturi na večmestnem magnetnem mešalu ekstrahirali 6 ur (Albert in sod., 2003). Ekstrakte smo nato prefiltrirali z uporabo presesalne buče in Büchnerjevega lija (*Whatman GF/C*) in jih do pričetka spektrofotometrične analize hranili pri temperaturi 4 °C.

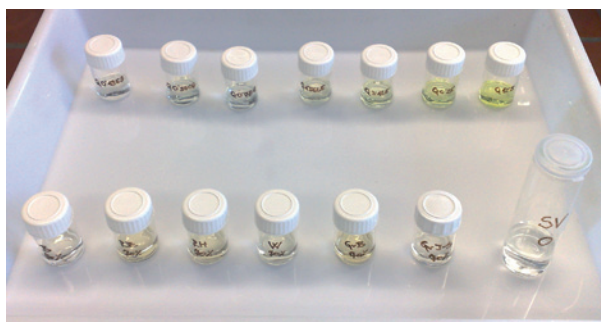


Slika 3. Ekstrakcija s 70 % metanolom (aq) na večmestnem magnetnem mešalu

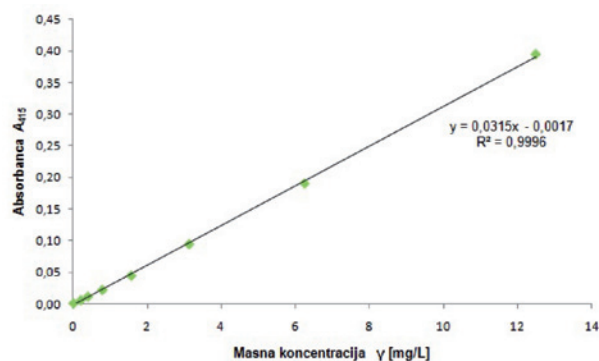
Vsebnost celokupnih flavonoidov v ekstraktih mehansko poškodovane bukve ter ekstraktih grč bukve in smreke smo določili spektrofotometrično po AlCl_3 metodi, ki jo opisuje Diouf s sodelavci (2009) ter temelji na uporabi aluminijevega klorida kot barvnega reagenta (Lamaison in Carnat, 1990; Quettier-Deleu in sod., 2000). Predhodno smo pripravili 2 % metanolno raztopino aluminijevega klorida (*Fluka*, $\text{AlCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$, *purum p.a.*) ter standardne raztopine kvercetina (*Sigma*, anhydrous) z masnimi koncentracijami 12,50; 6,250; 3,125; 1,562; 0,7812; 0,3906; 0,1953 mg/L. Slednje so služile za formiranje 7-točkovne umeritvene krivulje.

Pred spektrofotometričnimi meritvami smo k 2 mL metanolnega ekstrakta tkiv in v raztopine kvercetina dodali po 2 mL AlCl_3 barvnega reagenta. Hkrati smo pripravili tudi slepi vzorec (ang.: method blank), pri čemer smo 70 % metanolu (aq) dodali enak alikvot 2 % metanolne raztopine AlCl_3 . Tako pripravljene vzorce smo dobro premešali, nakar je sledila 1-urna inkubacija pri sobni temperaturi (slika 4) (Diouf in sod., 2009).

Po inkubaciji smo z UV-Vis spektrofotometrom *Perkin-Elmer Lambda 2* pomerili absorbance vzorcev in standardnih raztopin kvercetina proti referenci, torej 70 % metanolu (aq), pri 415 nm, kot navaja Brighente s sodelavci (2007).



Slika 4. Metanolni ekstrakti lesa bukve in grč po dodatku AlCl_3 barvnega reagenta

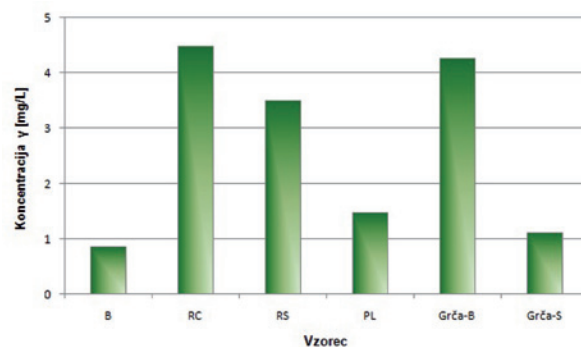


Slika 5. Umeritvena krivulja za kvercetin z enačbo premice in vrednostjo koeficienta determinacije R^2 . Absorbanca je bila merjena pri valovni dolžini 415 nm.

Delež celokupnih flavonoidov v lesnih tkivih smo izračunali na osnovi absorbanc A_{415} z rešitvijo premice regresijskega modela umeritvene krivulje za kvercetin (slika 5). Končne rezultate smo izrazili v ekvivalentih masnih koncentracij kvercetina [mg/L].

REZULTATI IN RAZPRAVA

Reagent AlCl_3 se pri kolorimetrični metodi za določanje flavonoidov uporablja zato, ker aluminijev klorid tvori kislinsko stabilen kompleks s C4 keto skupino ter C3 ali C5 hidroksilno skupino flavonoidov (Bohm, 1998). Poleg tega aluminijev klorid tvori kislinsko labilne komplekse z orto-hidroksilno skupino na A ali B-obroču flavonoidov (Bohm, 1998). Dodatek vodne raztopine HCl zato povzroči razpad aluminijevih kompleksov na orto položajih obroča A in B. Nastanek in razpad aluminijevih kompleksov je povezan s premikom spektralnih pasov, kar je mogoče zabeležiti z UV-Vis spektrofotometrom. Ker v našem poskusu kisline nismo dodali, lahko domnevamo, da smo z meritvami pridobili vpogled v vsebnost celokupnih flavonoidov v



Slika 6. Koncentracija celokupnih flavonoidov v ekstraktih lesa bukve (B = zdrava beljava, RC = reakcijska cona, RS = rdeče srce, PL = poranjen les) ter bukovi (Grča-B) in smrekovi (Grča-S) grči

ekstraktih lesa. Vsebnost celokupnih flavonoidov v metanolnih ekstraktih različnih lesnih tkiv mehansko poškodovane bukve ter v ekstraktih bukove in smrekove grče prikazuje slika 6.

Koncentracija celokupnih flavonoidov je bila najvišja v metanolnih ekstraktih reakcijske cone in bukove grče (4,5 in 4,3 mg/mL). Relativno visoko koncentracijo flavonoidov smo izmerili tudi v ekstraktu rdečega srca (3,5 mg/L). Nasprotno, nižje koncentracije flavonoidov smo določili v ekstraktih beljave in poranitvenega lesa ter smrekove grče (0,86, 1,5 oz. 1,1 mg/L).

Delež flavonoidov je bil najvišji v ekstraktu reakcijske cone, kar sovпада s kompartmentalizacijsko funkcijo teh tkiv, v katerih se očitno kopičijo bioaktivni flavonoidi, kot sta npr. taksifolin in (+)-katehin (slika 2). Slednje je mogoče pojasniti z odzivom živih parenhimskih celic na delovanje biotskih in abiotskih dejavnikov v poškodovanih tkivih (Schwarze in Baum, 2000; Shain, 1967).

Visok delež flavonoidov v diskoloriranem lesu proučevane bukve lahko pripišemo sodelovanju teh spojin pri formiranju barvnih substanc oziroma barve v centralnem delu debla (Albert in sod., 2003; Torelli, 2001). Dokazano je, da imata pri formiranju barve jedrovine in diskoloriranega lesa pri določenih drevesnih vrstah pomembno vlogo dihidrokvercetin in (+)-katehin (Dellus in sod., 1997; Mayer in sod., 2006). Flavan-3-oli oziroma katehini imajo namreč pomembno funkcijo tudi pri obrambnih odzivih rastlin na oksidativni stres in pri bukvi nastopajo v fazi formacije diskoloracije (Hofmann in sod., 2004).

Najnižjo koncentracijo flavonoidov smo določili v ekstraktu beljave. Nekoliko višji delež flavonoidov kot vzorec beljave je vseboval ekstrakt poranitvenega lesa, kar dokazuje, da se flavonoidi sintetizirajo že v beljavi. Prav pojava flavonoidov v beljavi bukve bi bil lahko razlog za relativno dober kompartmentalizacijski potencial te drevesne vrste.

Izredno visoka koncentracija flavonoidov je značilna tudi za bukovo grčo. Očitno je, da se že na bazi zdravih vej sintetizira visoka koncentracija snovi, ki imajo v drevesu zaščitno funkcijo. Pri listavcih in iglavcih se odziv ksilemskih tkiv na bazi veje po odlomu ali odmrtnosti veje nekoliko razlikuje. Pri listavcih se razvije zaščitna cona, ki zatesni eksponirano mesto, pri iglavcih pa se baza veje (grča) prepoji z oleinsko smolo, zaščitna cona pa izostane. Menimo, da ima povečana vsebnost flavonoidov v bukovi grči pasivno zaščitno vlogo, ki je v tkivu verjetno prisotna od določenega leta dalje. Nasprotno smo ugotovili za ekstrakt smrekove grče, saj je ta vseboval znatno manjši delež flavonoidov, ki je primerljiv koncentraciji flavonoidov v beljavi. Kljub temu, da grče iglavcev predstavljajo bogat vir bioaktivnih polifenolov, (Willför in sod., 2004a; Willför

in sod., 2004b), pa so spojine flavonoidnega značaja v teh tkivih manj pogoste.

Rezultati preliminarne raziskave potrjujejo primernost kolorimetrične analize, ki temelji na uporabi $AlCl_3$ barvnega reagenta, za spektrofotometrično določevanje deleža celokupnih flavonoidov v lesnih tkivih. Rezultati analize kažejo, da je vsebnost flavonoidov večja v tkivih, ki imajo v drevesu bodisi pasivno zaščitno funkcijo (baza zdravih vej - grče) in v tkivih (reakcijske cone), ki nastanejo kot aktiven obrambni odziv živih parenhimskih celic na neugodne posledice poškodovanja.

ZAHVALA

Avtorji se zahvaljujemo Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije za finančno podporo programske skupine P4-0015-0481.

VIRI

1. **Abram V., Simčič M. (1997)** Fenolne spojine kot antioksidanti. Farmaceutski vestnik, 48, 573-589
2. **Albert L., Hofmann T., Nemeth Z. I., Retfalvi T., Koloszar J., Varga S., Csepregi I. (2003)** Radial variation of total phenol content in beech (*Fagus sylvatica* L.) wood with and without red heartwood. Holz Als Roh-Und Werkstoff, 61, 3: 227-230
3. **Bohm B. A. (1998)** Introduction to Flavonoids. Harwood Academic Publishers, Netherlands, 503
4. **Brighente I. M. C., Dias M., Verdi L. G., Pizzolatti M. G. (2007)** Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Some Brazilian Species. Pharmaceutical Biology, 45, 2: 156-161
5. **Choi J. H., Kim H. S., Jung M. J., Choi J. S. (2001)** (+)-Catechin, an antioxidant principle from the leaves of *Pinus densiflora* that acts on 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical. Nat. Prod. Sci, 7: 1-4
6. **Dellus V., Mila I., Scalbert A., Menard C., Michon V., Herve Du Penhoat C. L. M. (1997)** Douglas-fir polyphenols and heartwood formation. Phytochemistry, 45, 8: 1573-1578
7. **Diouf P. N., Stevanovic T., Cloutier A. (2009)** Antioxidant properties and polyphenol contents of trembling aspen bark extracts. Wood Science and Technology, 43, 5-6: 457-470
8. **Fengel D., Wegener G. (1984)** Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. W. de Gruyter, Berlin-New York, 613
9. **Hofmann T., Albert L., Retfalvi T. (2004)** Quantitative TLC Analysis of (+)-Catechin and (-)-Epicatechin from *Fagus sylvatica* L. with and without Red Heartwood. Jpc-Journal of Planar Chromatography, 17, 350-354
10. **Kai Y. (1991)** Chemistry of Extractives. V: Wood and Cellulosic Chemistry. Hon D.N.S. in Shiraishi N. (Ur.), Marcel Dekker, Inc., New York, 215-255
11. **Koch G., Puls J., Bauch J. (2003)** Topochemical characterisation of phenolic extractives in discoloured beechwood (*Fagus sylvatica* L.). Holzforschung, 57, 4: 339-345
12. **Kure S. (2006)** Fenolne spojine in fluidnost celičnih membran. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo, Ljubljana, 69
13. **Lamaison J. L., Carnat A. (1990)** Teneurs en acide rosmarinique, en dérivés hydroxycinnamiques totaux et activités antioxydantes chez les Apiacées, les Boraginacées et les Lamiacées médicinales. Pharmaceutica Acta Helvetiae, 65, 315-320
14. **Malterud K. E., Bremnes T. E., Faegri A., Moe T., Dugstad E. K.**

- S., Anthonsen T., Henriksen L. M. (1985) Flavonoids from the Wood of *Salix caprea* as Inhibitors of Wood-Destroying Fungi. *Journal of Natural Products*, 48, 4: 559-563
15. Mantani N., Imanishi N., Kawamata H., Terasawa, K., Ochiai H. (2001) Inhibitory effect of (+)-catechin on the growth of influenza A/PR/8 virus in MDCK cells. *Planta Medica*, 67, 3: 240-243
16. Mayer I., Koch G., Pulse J. (2006) Topochemical investigations of wood extractives and their influence on colour changes in American black cherry (*Prunus serotina* Borkh.). *Holzforschung*, 60, 6: 589-594
17. Pietarinen S., Willför S., Ahotupa M., Hemming J., Holmbom B. (2006) Knotwood and bark extracts: strong antioxidants from waste materials. *Journal of Wood Science*, 52, 5: 436-444
18. Pohjamo S. P., Hemming J. E., Willför S. M., Reunanen M. H. T., Holmbom B. R. (2003) Phenolic extractives in *Salix caprea* wood and knots. *Phytochemistry*, 63, 2: 165-169
19. Quettier-Deleu C., Gressier B., Vasseur J., Dine T., Brunet C., Luyckx M., Cazin M., Cazin J.-C., Bailleul F., Trotin F. (2000) Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of Ethnopharmacology*, 72, 1-2: 35-42
20. Scalbert A., Monties B., Janin G. (1989) Tannins in Wood - Comparison of Different Estimation Methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 37, 5: 1324-1329
21. Schwarze F. W. M. R., Baum S. (2000) Mechanisms of reaction zone penetration by fungi in wood of beech (*Fagus sylvatica* L.). *New Phytol.*, 146, 129-140
22. Shain L. (1967) Resistance of Sapwood in Stems of Loblolly Pine to Infection by *Fomes Annosus*. *Phytopathology*, 57, 1034-1045
23. Torelli N. (2001) Odziv drevja na globoke in površinske poškodbe na primeru bukve (*Fagus sylvatica* L.) s poudarkom na nastanku in ekologiji ranitvenega lesa ("rdeče srce"). *Gozdarski vestnik*, 59, 2: 85 - 94
24. Umezawa T. (2000) Chemistry of Extractives. V: Wood and Cellulosic Chemistry. Hon D.N.S. in Shiraishi N. (Ur.), Marcel Dekker, Inc., New York, 213-241
25. Vek V., Oven, P., Rep, G. (2010) Vsebnost skupnih fenolov v beljavi, rdečem srcu in poranitvenem lesu pri bukvi (*Fagus sylvatica* L.). *Les-Wood*, 62, 5: 193-198
26. Vermerris W., Nicholson R. (2006) Phenolic Compound Biochemistry. Springer Science+Business Media B.V., Netherlands, 276
27. 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. *Holzforschung*, 58, 6: 650-659
28. 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. *Holzforschung*, 58, 4: 345-354

IZPIRANJE BAKROVIH UČINKOVIN IZ IMPREGNIRANEGA LESA V 3. IN 4. RAZREDU UPORABE

Leaching of copper active ingredients from impregnated wood
exposed in use class 3 and 4

Povzetek: Bakrovi pripravki so ena izmed najpomembnejših skupin zaščitnih pripravkov za les. Uporabljajo se predvsem za zaščito lesa v 3. in 4. razredu izpostavitve. V tem prispevku smo želeli osvetliti izpiranje bakrovih učinkovin. Zato smo smrekov les, impregniran s pripravki na osnovi bakrovih, kromovih in borovih spojin (CCB), vgradili na prosto v dveh razredih uporabe, v določenih obdobjih izolirali lesne vzorce in s spektroskopijo XRF določili preostali baker v lesu. Rezultati so potrdili, da se testirani bakrovi pripravki dobro vežejo v smrekov les.

Ključne besede: bakrovi pripravki, smrekovina, izpiranje, les na prostem

Abstract: Copper based wood preservatives are one of the most important groups of wood preservatives. They are used mainly for impregnation of wood in 3th and 4th use classes. The purpose of this paper was to highlight the copper leaching from impregnated wood; therefore spruce wood was impregnated with two commercial aqueous solutions based on copper, chromium and boron compounds (CCB). Impregnated specimens were exposed in above mentioned use classes. After certain exposure times, specimens were isolated in order to determine residual copper in wood using XRF spectroscopy. The results confirm that copper preservative solutions tested are well bound in spruce wood.

Keywords: copper based preservatives, spruce wood, leaching, wood exposed outdoors

UVOD

Bakrovi pripravki ostajajo ena izmed najpomembnejših sestavin zaščitnih pripravkov za les tudi po implementaciji direktive o biocidih (BPD 98/8/EC). Njihovo uporabnost povečuje dejstvo, da so poleg krezotnega olja edino bakrovi zaščitni pripravki primerni za zaščito lesa v četrtem razredu uporabe (les v stiku z zemljo) (Humar, 2006). Bakrove učinkovine se za zaščito lesa ne uporabljajo samostojno, ker se iz lesa izpirajo. V preteklosti so za vezavo bakrovih pripravkov zaščitnim pripravkom dodajali kromove spojine, tako da je še danes v uporabi relativno veliko lesa,

impregniranega s pripravki na osnovi bakrovih in kromovih spojin. Kljub temu, da so bakrovi pripravki na trgu že več desetletij, vezava teh pripravkov v les še ni v celoti pojasnjena. Poleg tega ne vemo, zakaj s temi pripravki impregniran les včasih propade hitreje kot smo načrtovali. Ali so temu vzrok tolerantne glive, ali so tolerantne glive le posledica in so okužile les po tem, ko se je iz njega izprala velika večina aktivnih učinkovin? Naši eksperimentalni podatki jasno kažejo na to, da je les, impregniran s pripravki na osnovi bakrovih spojin, odlično zaščiten pred delovanjem lesnih gliv, saj se na tem materialu glive ne pojavljajo niti po petih letih uporabe (Lesar in Humar, 2010). Namen tega prispevka pa je osvetliti izpiranje bakrovih spojin iz lesa, vgrajenega v različnih razredih uporabe. Ti podatki so zelo pomembni za načrtovanje življenjske dobe lesa na prostem.

* univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: nejc.thaler@bf.uni-lj.si

** dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI 1000 Ljubljana, e-pošta: bostjan.lesar@bf.uni-lj.si

*** prof. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: miha.humar@bf.uni-lj.si



Slika 1. Vzorci, izpostavljeni v 3. razredu uporabe na terenskem polju Oddelka za lesarstvo



Slika 2. Vzorci, izpostavljeni v 4. razredu uporabe na terenskem polju Oddelka za lesarstvo

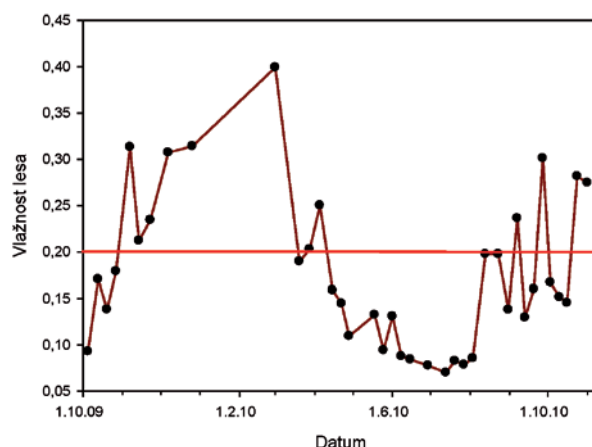
MATERIALI IN METODE

Iz smrekovega lesa (*Picea abies*) smo izdelali vzorce (1,5 cm × 2,5 cm × 30 cm) in jim določili maso v absolutno suhem stanju. Zatem smo jih v vakuumsko tlačni komori impregnirali s komercialnim pripravkom Silvanol G (Silva-produkt) v skladu s postopkom polnih celic (podtlak -85 kPa, 30 min; nadtlak 800 kPa, 90 min; podtlak -75 kPa, 10 min). Impregniranim vzorcem smo določili mokri navzem. Uporabili smo pripravka dveh koncentracij, v prvem je bila koncentracija bakra 0,25 % (CCB-V), v drugem pa 0,125 % (CCB-N). Poleg bakrovih učinkovin (bakrov sulfat pentahidrat) Silvanol G vsebuje še kromove spojine ($K_2Cr_2O_7$), ki omogočajo vezavo bakrovih spojin v les in borove spojine (H_3BO_3), ki impregniranemu lesu zagotavljajo insekticidnost in zaščito pred glivami, tolerantnimi na bakrove spojine. Po 4 tednih vezave v laboratoriju smo

5. 11. 2009 vzorce izpostavili na terenskem polju Oddelka za lesarstvo v dveh različnih izpostavitvenih položajih. Del vzorcev smo vgradili v zemljo (Slika 1), del pa v vodoravnem položaju zložili pol metra nad tlemi (Slika 2). Po določenem času (Preglednici 1 in 2) smo vzorce izolirali, jim določili vlažnost in jih posušili (103 °C, 24 h) v laboratorijskem sušilniku Kambič ter jim določili maso v suhem stanju. Suhe vzorce smo zmleli v laboratorijskem mlinu Retch (Rezalni mlin SM 2000). Zmlete vzorce smo s stiskalnico (Chemplex) izdelali tablete ($r = 16$ mm; $d = 5$ mm) za kemijske analize. Vsebnost bakra v ivereh smo določali z rentgenskim fluorescenčnim spektrometrom (XRF TwinX, Oxford instruments). Meritve so bile opravljene s PIN-detektorjem ($U = 26$ kV, $I = 112$ µA, $t = 360$ s). Iz podatkov o mokrem navzemu, koncentraciji bakra oziroma kroma v pripravku in količine preostalega bakra oziroma kroma v lesu, določenem z XRF, smo izračunali deleže izpranih težkih kovin. Eksperiment smo izvedli v treh ponovitvah. Vzoredno smo na vzorcih v 3. razredu uporabe gravimetrično spremljali vlažnost lesa (Slika 3).

REZULTATI IN RAZPRAVA

Eden izmed ključnih dejavnikov, ki je potreben za izpiranje aktivnih učinkovin iz lesa, je ustrezna vlažnost. Izpiranje aktivnih učinkovin je v dobri korelaciji z vlažnostjo lesa. Višja kot je vlažnost, več se jih izpere iz lesa. Takoj, ko je vlažnost lesa dovolj visoka, se izpiranje začne (Peylo in Willeitner, 1995). Na primer, za difuzijo bora v lesu je potrebna vsaj 20 % vlažnost lesa. Bor pa najbolje difundira pri vlažnosti med 40 % in 60 %, medtem ko se hitrost difuzije pri višjih vlažnostih nekoliko upočasni (Morrell in Freitag, 1995).



Slika 3. Spreminjanje vlažnosti smrekovega lesa na prostem. Z rdečo črto je označena meja vlažnosti lesa (20 %), nad katero se prične intenzivnejša difuzija nevezanih aktivnih učinkovin. Ta vrednost označuje tudi minimalno vlažnost, potrebno za delovanje gliv razkrojevalk

Preglednica 1. Vlažnost smrekovine, impregnirane s pripravkoma dveh različnih koncentracij, v odvisnosti od mesta uporabe in časa izpostavitve

Čas izpo- stavitve (mesec)	Datum	Razred uporabe			
		3. RU		4. RU	
		Biocidni pripravek			
		CCB-N	CCB-V	CCB-N	CCB-V
		Vlažnost lesa (%)			
0	5. 11. 2009	13	13	13	13
0,5	19. 11. 2009			84	56
1	3. 12. 2009			63	83
2	4. 1. 2010			63	93
4	2. 3. 2010	50	52	68	90
6	6. 5. 2010			72	78
7	3. 6. 2010	30	30		
9	9. 8. 2010			35	61
12	4. 11. 2010	40	77	54	91

Preglednica 2. Delež izpranih bakrovih učinkovin iz lesa, impregniranega s pripravkoma dveh različnih koncentracij, v odvisnosti od mesta uporabe in časa izpostavitve

Čas izpo- stavitve (mesec)	Datum	Razred uporabe			
		3. RU		4. RU	
		Biocidni pripravek			
		CCB-N	CCB-V	CCB-N	CCB-V
		Delež izpranega Cu iz impregnirane- ga lesa (%)			
0	5. 11. 2009	1,4	5,3	1,4	5,3
0,5	19. 11. 2009			2,6	9,5
1	3. 12. 2009			1,4	8,9
2	4. 1. 2010			-0,8	4,5
4	2. 3. 2010	3,2	6,9	-4,7	-0,3
6	6. 5. 2010			-6,8	-4,6
7	3. 6. 2010	5,2	5,8		
9	9. 8. 2010			-1,7	-5,6
12	4. 11. 2010	4,3	5,4	6,9	9,3

Kakorkoli, upoštevati moramo, da so bakrovi pripravki za razliko od borovih vezani v les in na površino lahko difundirajo le bakrove spojine, ki so se iz takšnega ali drugačnega razloga »sprostile«. Iz podatkov, predstavljenih v preglednici 1, je razvidno, da je bila vlažnost lesa ob izpostavitvi 13 %. V vseh primerih, ko smo odvzeli vzorce, je bila

vlažnost lesa višja od točke nasičenja celičnih sten in je bil omogočen intenziven transport nevezanih oziroma slabo vezanih bakrovih učinkovin na površje, kjer so jih padavine sprale. Relativno visoka vlažnost lesa je razvidna tudi iz slike 3, kjer se jasno vidi visoka vlažnost lesa v jesenskih in zimskih mesecih. Lesar in Humar (2010) v svojih opazovanjih poročata, da je letna količina padavin na terenskem polju Oddelka za lesarstvo znaša med 1195 mm in 1440 mm. Menimo, da na izpiranje, kot tudi na življenjsko dobo veliko bolj vpliva število deževnih dni kot količina padavin. Opazili smo, da zadnja leta število deževnih dni narašča, in sicer je bilo v letu 2006 takšnih 113 dni, v letu 2009 že 166. V štirih letih in pol so bila v Ljubljani samo tri suha obdobja daljša od dveh tednov. Les se v takšnih razmerah ne osuši, kar je jasno vidno tudi iz slike 3. Še višje vlažnosti smo po pričakovanju zabeležili pri lesu v stiku z zemljo. Vlažnost pri lesu v stiku z zemljo je nihala med 35 % (les izoliran v sušnem avgustu) in 93 % (les izoliran v začetku januarja). Ta rezultat je pričakovan, saj se les v stiku z zemljo le počasi suši. Do nihanj pa prihaja tudi zaradi razlik v sestavi zemlje na sami lokaciji. Kakorkoli, velja opozoriti, da na izoliranih impregniranih vzorcih ni bilo opaziti nikakršnih znakov delovanja lesnih gliv. Ta rezultat je pričakovan, saj je bil navzem pripravkov zadoščal za večletno zaščito lesa v stiku z zemljo (Willeitner, 2001)

Glavni cilj naše raziskave je bil določiti izpiranje bakrovih učinkovin iz impregniranega lesa na prostem. Pričakovali smo, da bo izpiranje bakrovih učinkovin iz lesa v stiku z zemljo intenzivnejše, zato smo te vzorce vzorčili pogostejše kot vzorce v 3. razredu izpostavitve (Preglednica 2).

Če pogledamo podatke v preglednici 2, lahko opazimo, da smo določeno izpiranje zaznali že pri neizpostavljenih vzorcih. Pri vzorcih, ki sploh niso bili izpostavljeni, se je v primeru nižje koncentracije CCB iz lesa izpralo 1,4 % bakrovih učinkovin, pri vzorcih, impregniranih s pripravki višje koncentracije pa 5,3 % navzetih bakrovih učinkovin. Ta odstopanja lahko pojasnimo z več razlagami: nehomogenostjo lesa, specifično absorpcijo vode oziroma bakrovih učinkovin, izgub zaščitnega pripravka po tehtanju (iztekanje) ... Iz preglednice 2 se jasno vidi, da se pripravek CCB višje koncentracije

(CCB-V) slabše veže v les in se v 3. razredu izpostavitve praktično ne izpira iz lesa. Pripravek CCB-N se v les veže nekoliko bolje, saj se je iz lesa v uporabi v enem letu spralo med 3,2 % in 5,2 % navzetih bakrovih učinkovin. O podobnih deležih izpranih bakrovih učinkovin poročajo tudi v citirani literaturi (Hughes, 1999).

Iz vzorcev v stiku z zemljo se je izpral večji delež bakrovih učinkovin. Rezultat je pričakovan, saj so ti vzorci ves čas izpostavljeni vlagi, poleg tega pa še številnim glivam in mikroorganizmom, ki lahko vplivajo na vezavo bakrovih pripravkov v les. Iz impregniranega lesa se je v enem letu izpralo 6,9 % bakra pri vzorcih, impregniranih s pripravki nižje koncentracije (CCB-N) in 9,3 % bakra iz vzorcev, prepojenih s pripravki višje koncentracije (CCB-V). Najbolj zanimivo pa je nihanje posameznih podatkov. Zanimivo je, da vrednosti nihajo med -6,8 % (torej da se je količina bakra v lesu celo povečala) in 9,3 %. Menimo, da nihanja lahko pojasnimo z nehomogenostjo lesa, napakami pri gravimetričnem določanju navzema, izcejanju pripravkov takoj po impregnaciji ... Če primerjamo podatke o vezavi bakrovih pripravkov v les s podatki, pridobljenimi v laboratoriju, vidimo da se je iz impregniranega smrekovega lesa, izpiranega v skladu s standardom SIST ENV 1250-2 (1994) izpralo bistveno manj aktivnih učinkovin kot v praksi. Iz lesa, impregniranega s pripravki CCB, se med standardnim postopkom izpiranja izpere le med 1 % in 2 % navzetih bakrovih učinkovin (Cooper s sod., 2000).

Pri vrednotenju teh podatkov je potrebno upoštevati, da je specifična površina naših vzorcev v primerjavi s komercialnimi izdelki bistveno večja. Presek naših vzorcev je 1,5 cm × 2,5 cm, kar je kljub vsemu relativno malo. Poleg tega smo pričakovali, da bo prvo leto izpiranje intenzivnejše, saj se na površini po impregnaciji pogosto pojavijo depoziti – presežki bakrovih spojin v obliki kristalov, ki niso vezani v les in se zato relativno hitro sperejo iz lesa. Ti podatki so zanimivi z dveh vidikov. S praktičnega vidika je nujno poznati izpiranje biocidov iz lesa, saj intenzivno izpiranje ogrozi kvaliteto zaščite. Po drugi strani pa je dobra vezava aktivnih učinkovin pomembna tudi iz okoljskega in zdravstvenega vidika. Zato pričakujemo, da bo zanimivo spremljati vezavo bakrovih pripravkov v prihodnosti in jih primerjati z vezavo novejših generacij bakrovih pripravkov.

ZAKLJUČKI

Predstavljeni podatki jasno kažejo, da se bakrovi pripravki na osnovi bakra in kroma dobro vežejo v les. Večina bakrovih učinkovin ostane v lesu po prvem letu uporabe. Izpiranje bakrovih učinkovin v 4. razredu uporabe je intenzivnejše kot v 3. razredu uporabe.

ZAHVALA

Avtorji se zahvaljujemo Javni agenciji za raziskovalno dejavnost republike Slovenije za finančno podporo v okviru programske skupine P4-0015-0481. Za tehnično podporo pri izvedbi testiranj se zahvaljujemo Boštjanu Kokalju.

LITERATURA

1. **Peylo A., Willeitner H. (1995)** The problem of reducing the leachability of boron by water repellents. *Holzforschung*, 49, 3: 211-216
2. **Morrell J.J., Freitag C.M. (1995)** Effect of Wood Moisture-Content on Diffusion of Boron-Based Biocides through Douglas-Fir and Western Hemlock Lumber. *Forest Products Journal*, 45, 3: 51-55
3. **Lesar B., Humar M. (2010)** Vrednotenje življenjske dobe lesa, zaščitene z emulzijami voskov in bakeretanolaminskimi pripravki v tretjem razredu izpostavitve. *Zb. gozd. lesar.*, 93: 23-35
4. **Willeitner H. (2001)** Current national approaches to defining retentions in use. *COST E22*: 6 s.
5. **Hughes A.S. (1999)** Studies on the fixation mechanisms, distribution and biological performance of copper based timber preservatives. Ph. D. thesis, London, Imperial College of Science, Technology and Medicine, 313
6. **Humar M. (2006)** Izpiranje baker-etanolaminskih pripravkov iz lesa. *Zb. gozd. lesar.*, 80: 111-118
7. **Biocidal Products Directive, 98/8/EC. 1998.** Official Journal of the European Communities, L 123, 1-63
8. **Cooper P.A., Jeremic D., Taylor J.L., Ung Y.T. (2000)** Effect of humic acid on leaching of CCA from treated wood. The International Research Group on Wood Preservation: IRG/WP 00-50151, 13
9. **STANDARD SIST ENV 1250-2 (1994)** Wood preservatives – Methods for measuring losses of active ingredients and other preservative ingredients from treated timber – Part 2: Laboratory method for obtaining samples for analysis to measure losses by leaching into water or synthetic sea water. *ENV 1250-2*. Brussels, 16

RAZGRADNJA ENDOSULFANA Z GLIVAMA *HYPOXYLON FRAGIFORME* IN *GLOEOPHYLLUM TRABEUM*

Degradation of endosulfan with *Hypoxylon fragiforme* and
Gloeophyllum trabeum

Povzetek: V tekočem mediju smo preučevali vpliv kloriranega insekticida endosulfana na prirast gliv ter njegovo razgradnjo z glivama *Hypoxylon fragiforme* in *Gloeophyllum trabeum*. Dodatek endosulfana v koncentraciji 2,4 mg/L ni vplival na rast micelija. Po 21 dnevih izpostavitve glivi *H. fragiforme* se je endosulfan pretvoril v metabolit endosulfan sulfat, v ekstraktih kultur pa smo s plinsko kromatografijo določili tudi endosulfan eter. Biotransformacije endosulfana z glivo rjave trohnobe *G. trabeum* nismo ugotovili.

Ključne besede: endosulfan, endosulfan sulfat, glive, tekoča gojišča z endosulfanom, plinska kromatografija, razgradnja

Abstract: The effect of endosulfan, an organochlorine insecticide, on the growth yield of *Hypoxylon fragiforme* and *Gloeophyllum trabeum* in liquid media was studied, as well as its degradation by both fungi. The addition of 2.4 mg/L of endosulfan did not have any effect on the growth of both fungal cultures. After 21 days in the liquid culture of *H. fragiforme* endosulfan was transformed to endosulfan sulphate. Endosulfan ether was also detected with gas chromatography. Biotransformation of endosulfan by *G. trabeum* was not detected.

Keywords: endosulfan, endosulfan sulphate, fungi, liquid culture with endosulfan, gas chromatography, degradation

UVOD

Endosulfan ($C_9H_6Cl_6O_3S$) je insekticid širokega spektra, ki spada med ciklodiene (slika 1). Tehnična zmes endosulfana, ki se uporablja v komercialne namene, je sestavljena iz izomerov α in β v razmerju 2:1 oziroma 7:3 (Sutherland in sod., 2002; UNEP, 2009). Endosulfan je v uporabi od sredine petdesetih let prejšnjega stoletja. Čeprav je danes njegova uporaba v mnogih državah prepovedana, je predvsem v manj razvitih državah kljub njegovim znanim škodljivim učinkom še vedno v uporabi za zatiranje škodljivcev v kmetijstvu (Sutherland in sod., 2002). V

preteklosti se je endosulfan uporabljal tudi kot zaščitno sredstvo za les (UNEP, 2009). Endosulfan spada med obstojna organska onesnaževala in je toksičen predvsem za vodne živali ter v zemlji živeče organizme. Tako kot ostali organoklorini pesticidi, je v okolju izredno obstojen ter odporen na razgradnjo. Razpolovni čas obeh izomerov endosulfana v zemlji glede na poskuse v laboratoriju znaša med 28 in 391 dnevi. Nekateri viri navajajo, da je razpolovni čas endosulfana in njegovih metabolitov tudi do šest let (UNEP, 2009).

Endosulfan se bioakumulira v živih organizmih, kjer ga zaznamo v maščobnem tkivu ter tudi v krvi. Za ljudi in večino živali je endosulfan zelo toksičen, saj ima že pri nizkih količinah akutne in kronične škodljive učinke na organizem, med drugim obstajajo domneve, da spada med motilce endokrinega sistema (Varayoud in sod., 2008). Zaradi obstojnosti in dovolj velike hlapnosti je endosulfan prisoten praktično povsod, tako v vodi, zemlji in v zraku, iz-

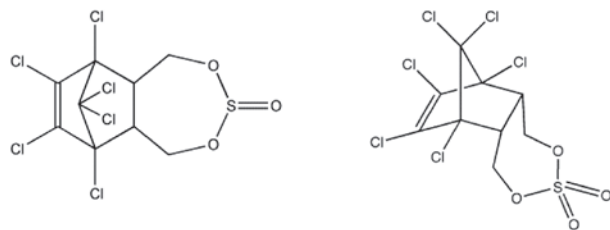
* univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: ajda.ulcnik@bf.uni-lj.si

** Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Aškerčeva cesta 5, SI-1000 Ljubljana

***Inštitut za lesarstvo in trajnostni razvoj, raziskovanje, razvoj, svetovanje in izobraževanje d.o.o., Celovška cesta 268, SI-1000 Ljubljana

polnjuje pa tudi pogoje za uvrstitev na seznam obstojnih organskih onesnaževal, ki je del Stockholmske konvencije, katere podpisnica je tudi Republika Slovenija. Trenutno je endosulfan v postopku dodajanja na omenjeni seznam odpornih organskih onesnaževal (UNEP, 2009).

S fotolizo se endosulfan slabo razgradi. V vodi razgradnja endosulfana poteka le pri visokih vrednostih pH (Sutherland in sod., 2002). Biološka transformacija endosulfana lahko poteka z oksidacijo ali s hidrolizo. Glavni metabolit, ki nastane pri oksidaciji, je endosulfan sulfat ($C_9H_6Cl_6O_4S$; slika 1), ki se s počasnimi transformacijami lahko pretvori v bolj polaren in manj toksičen endosulfan diol. Slednji se nadalje lahko razgradi v manj škodljive endosulfan lakton, endosulfan hidroksietar in endosulfan eter. Pri razgradnji endosulfana s hidrolizo je glavni razgradni produkt endosulfan diol. Endosulfan diol je manj toksičen od endosulfana in endosulfan sulfata (Sutherland in sod., 2002; Goswami in sod., 2009; UNEP, 2009). Endosulfan sulfat nastane le pri biološki transformaciji endosulfana, medtem ko endosulfan diol lahko nastaja tudi pri abiotski razgradnji v alkalnem okolju (Sutherland in sod., 2002). Popolna razgradnja endosulfana do ogljikovega dioksida z mikroorganizmi in glivami je zelo počasna (UNEP, 2009; Goswami in sod., 2009).



Slika 1. Endosulfan (levo) in endosulfan sulfat (desno) (Kegley in sod., 2010).

V literaturi je endosulfan sulfat največkrat omenjen kot končni razgradni produkt oksidacije endosulfana. Žal je endosulfan sulfat tako kot endosulfan še vedno toksičen in ima prav tako tudi insekticidne lastnosti (Siddique in sod., 2003; UNEP, 2009). Težava pri biološki transformaciji endosulfana tako ni samo v počasnosti temveč tudi v nastanku in kopičenju toksičnega endosulfan sulfata.

Glavni razgradni produkt pri razgradnji z glivami je endosulfan sulfat, pri bakterijski razgradnji pa nastane v glavnem endosulfan diol. Glive bele trohnobe so sposobne razgraditi vrsto nevarnih ksenobiotikov. Pri razgradnji sodelujejo ligninolitični encimi, ki jih glive bele trohnobe sicer uporabljajo za razgradnjo lignina, ta pa poteka z oksidacijo in vključuje nastanek prostih radikalov. Razgradnje endosulfana so sposobne številne glive bele trohnobe in nitaste glive, med drugim *Trichoderma harzianum*, *Aspergillus niger*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Nectria ventricosa*, *Mucor thermohyalospora* (Kullman in Matsumura, 1996;

Shetty in sod., 2000; Kim in sod., 2001; Siddique in sod., 2003; Bhalerao in Puranik, 2007). Nekateri avtorji razgradnje endosulfana ne pripisujejo ekstracelularnemu oksidaznemu mehanizmu, temveč hidrolitičnim encimom (na primer mono-oksigenazam in sulfatazam) (Kullman in Matsumura, 1996; Sutherland in sod., 2002; Goswami in sod., 2009). Ker pri razgradnji endosulfana lahko nastane nov in enako škodljiv intermediat (endosulfan sulfat), so v raziskavah metabolizma endosulfana še posebej pozorni na nastanek metabolitov. Raziskovalci poročajo o različnih razgradnih produktih in predlagajo različne poti razgradnje endosulfana, odvisne od vrste uporabljene glive. V našem delu smo preučevali vpliv endosulfana na rast glive bele trohnobe *Hypoxyylon fragiforme* in glive rjave trohnobe *Gloeophyllum trabeum* ter razgradnjo endosulfana z omenjenima vrstama gliv.

MATERIALI IN METODE

Izbor glivnih izolatov in inokulacija, preverjanje topnosti endosulfana v tekočem gojišču

Endosulfan smo za 21 dni izpostavili ogljeni kroglici (*H. fragiforme*, ZIM L108) in navadni tramovki (*G. trabeum*, ZIM L018). Glivo bele trohnobe *H. fragiforme* uvrščamo v deblo zaprtotrošnic (*Ascomycota*), gliva rjave trohnobe *G. trabeum* pa spada v deblo prostotrošnic (*Basidiomycota*). Za analize smo uporabili kulture micelija iz Zbirke industrijskih organizmov (ZIM), ki jo hranimo na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, v Delovni skupini za patologijo in zaščito lesa. Kulture gliv smo gojili v 300 ml erlenmajericah, napolnjenih s 50 ml tekočega gojišča po Hadarju (Hadar in Cohen-Arazi, 1986), ki smo mu dodali $MnSO_4 \cdot H_2O$ (koncentracija v gojišču 2 mM) in veratril alkohol (3,4-dimetoksibenzil alkohol, koncentracija v gojišču 2 mM), pH gojišča pa smo umerili na 4,5 z dodajanjem 0,1 M HCl (Vidic in sod., 2008).

Zaradi skopih podatkov o fizikalno-kemijskih lastnostih endosulfana smo pred pričetkom poskusa preučili topnost endosulfana v tekočem gojišču, saj se pri razgradnji endosulfana v literaturi pojavljajo izredno različno uporabljene koncentracije, ki se ne skladajo z redko dostopnimi informacijami o topnosti endosulfana v vodi (Shetty in sod., 2000; Kim in sod., 2001; Siddique in sod., 2003; UNEP, 2009). Zato smo v tekoče gojišče po Hadarju dodali različne količine osnovne raztopine endosulfana ter z odvzemanjem alikvotov preučili enakomerno porazdelitev insekticida v njem. Osnovno raztopino endosulfana (Supelco, ZDA) smo pripravili v acetonu. Za ugotavljanje topnosti endosulfana v tekočem gojišču po Hadarju smo v 50 ml gojišča dodali osnovno raztopino endosulfana tako, da so bile končne koncentracije v gojišču 0,4 mg/L, 0,8 mg/L, 1,6 mg/L ter 2,4 mg/L. Iz gojišča smo nato petkrat odvzeli po

5 ml vzorca in endosulfan ekstrahirali z dodatkom 3 ml (za koncentraciji endosulfana 0,4 mg/L in 0,8 mg/L) ter 6 ml (za koncentracijo endosulfana 1,6 mg/L in 2,4 mg/L) heksana. Heksansko fazo smo analizirali s plinsko kromatografijo.

VPLIV ENDOSULFANA NA PRIRAST BIOMASE

Inokulat za tekoča gojišča smo vzgajali na krompirjevem dekstroznem agarju (PDA) (DIFCO Laboratories, ZDA), iz katerega smo s plutovrtom (premer 9 mm) izrezali vcepke. Tekoča gojišča smo inokulirali s tremi vcepki micelija. Za ugotavljanje vpliva endosulfana na rast gliv *H. fragiforme* in *G. trabeum* smo kulturam obeh vrst po petih dneh gojenja v tekočih gojiščih dodali 120 µl osnovne raztopine endosulfana, negativnim kontrolam pa 120 µl acetona (Fluka, Nemčija). Dodatno smo preučili tudi vpliv acetona na rast gliv, tako da smo glive gojili le v gojišču po Hadarju. Kulture smo stresali 26 dni v temi na horizontalnem stresalniku (100 min⁻¹, 25 °C, 60 % RH). Po koncu poskusa smo glivno biomaso ločili od gojišča s filtracijo skozi grobi filtrirni papir (Sartorius Stedim Biotech, 84 g m⁻², grade 388) z uporabo vodne črpalke. Vzorce smo sušili 6 ur pri 50 °C in jih nato stehtali.

RAZGRADNJA ENDOSULFANA Z GLIVAMA *H. FRAGIFORME* IN *G. TRABEUM*

Po petih dneh inkubacije smo v inokulirana tekoča gojišča dodali 120 µl osnovne raztopine endosulfana. Koncentracija endosulfana je bila po dodatku v gojišče 2,4 mg/L. Pri negativnih kontrolah smo namesto raztopine endosulfana v gojišče dodali 120 µl acetona. Za pozitivne kontrole smo uporabili sterilno tekoče gojišče, v katerega smo dodali 120 µl raztopine endosulfana. Kulture gliv smo v tekočem mediju gojili še 21 dni v temi na horizontalnem stresalniku (100 min⁻¹, 25 °C, 60 % RH). Vse poskuse smo izvajali v treh ponovitvah.

Po 21 dneh izpostavitve endosulfana glivam smo vsebino erlenmajeric prelili v centrifugirke. Prazne erlenmajerice smo sprali s 50 ml heksana, ki smo ga nato dodali v centrifugirke. Vsebino centrifugirk smo homogenizirali z napravo Ika T25 Digital Ultra-Turrax (11000 vrtljajev min⁻¹, 30 s). Po homogenizaciji smo nepolarno fazo z ekstrahiranim endosulfanom ločili od polarne faze s centrifugiranjem (4000 vrtljajev min⁻¹, 5 min). Nepolarno fazo smo uporabili za nadaljnjo analizo.

Endosulfan smo v ekstraktih določili s plinskim kromatografom (Hewlett Packard 6890 Series, ZDA) z detektorjem za zajetje elektronov (ECD) in kolono RTX-5MS (dolžina 60 m, premer 250 µm, debelina stacionarne faze 0,50 µm). Analizni pogoji so bili naslednji: temperatura injektorja 250 °C, temperatura detektorja 350 °C, nosilni plin helij (pretok 3,7 ml min⁻¹), temperaturni program: 70 °C do 300

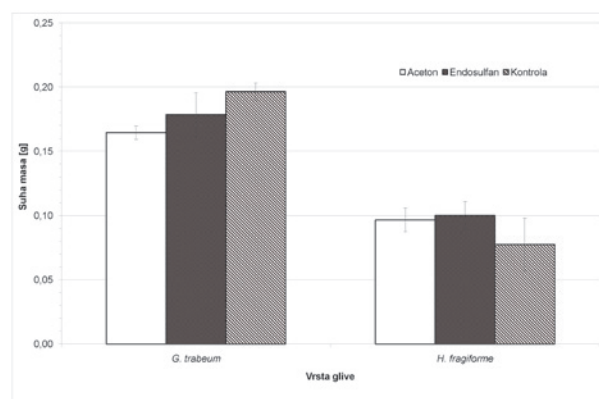
°C, 30 °C min⁻¹, zadrževalni čas 1 minuta pri 70 °C in 5 minut pri 300 °C. Volumen vbrizganega vzorca je bil 1 µl.

REZULTATI IN RAZPRAVA

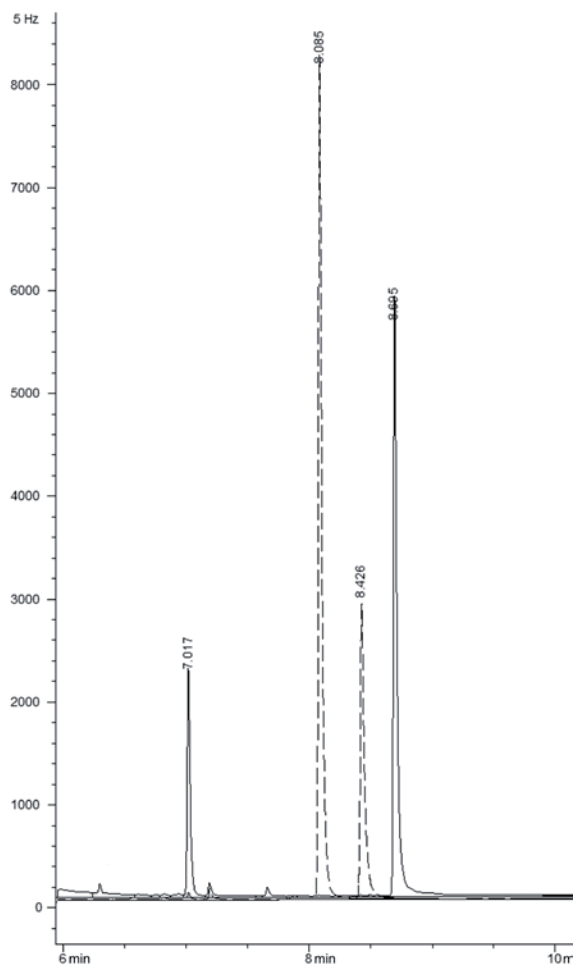
Analiza topnosti endosulfana v tekočih gojiščih ni pokazala značilnih razlik, ne glede na uporabljene izhodne koncentracije. Sklepamo, da se je endosulfan pri vseh uporabljenih koncentracijah popolnoma raztopil v gojišču. Za nadaljnje poskuse smo uporabili najvišjo možno koncentracijo (2,4 mg/L), predvsem zaradi lažje detekcije morebitnih razgradnih produktov.

Rast lesnih gliv smo testirali v modificiranem tekočem gojišču po Hadarju, ki smo mu po petih dneh po inokulaciji z vcepki izbranih gliv dodali endosulfan (končna koncentracija 2,4 mg/L). Povprečna suha masa glive *G. trabeum* je v vseh primerih znašala med 0,15 g in 0,20 g, pri glivi *H. fragiforme* pa okoli 0,10 g (slika 2). Razlike v količini suhe biomase med posameznimi vzorci so bile pri obeh vrstah gliv v okviru standardnih odklonov, zaradi česar sklepamo, da dodatek endosulfana oziroma acetona kulturam gliv v primerjavi s kontrolami (samo gojišče po Hadarju) ni vplival na prirast biomase, prav tako nismo opazili morfoloških sprememb. Pridobljeni rezultati so bili izhodišče za ugotavljanje razgradnje endosulfana. Uporabili smo enako koncentracijo endosulfana, saj pri tej koncentraciji nismo zaznali vpliva na rast gliv.

Z analizo GC ekstraktov pozitivnih kontrol (sterilno gojišče z endosulfanom) smo določili izomer α endosulfana pri retencijskem času 8,1 min in izomer β pri retencijskem času 8,4 min. Po 21 dnevih izpostavitve endosulfana kulturam glive *H. fragiforme* v ekstraktih nismo določili nobenega izmed izomerov endosulfana, saj na kromatogramu ni bilo kromatografskih vrhov pri pripadajočih re-



Slika 2. Prirastek suhe biomase gliv po 26 dneh gojenja v tekočem gojišču po Hadarju, kot srednja vrednost treh ponovitev s pripadajočimi standardnimi odkloni. Aceton in endosulfan smo dodali pet dni po inokulaciji.



Slika 3. Kromatograma endosulfana v kontroli (črtna črta) in ekstrakta kulture glive *H. fragiforme* z dodatkom endosulfana po 21 dneh izpostavitve (polna črta)

tencijskih časih. Namesto vrhov, ki sta pripadala izomerom endosulfana, sta se pojavila nova kromatografska vrhova pri retencijskih časih 7,0 min in 8,7 min (slika 3), ki smo ju identificirali z analizo GC-MS. Na podlagi analize GC-MS smo sklepali, da je kromatografski vrh pri retencijskem času 7,0 min pripadal endosulfan etru, vrh pri retencijskem času 8,7 min pa endosulfan sulfatu, kar smo dodatno potrdili z analizo GC standarda endosulfan sulfata. Glede na to, da je končni produkt oksidacije najpogosteje endosulfan sulfat, je pri izpostavitvi najverjetneje prišlo do oksidacije endosulfana v endosulfan sulfat z ligninolitičnimi encimi (Aust, 1990; Kullman in Matsumura, 1996; Pointing, 2001; Goswami in sod., 2009).

Ploščina kromatografskih vrhov endosulfana v ekstraktih glive *G. trabeum* je bila v primerjavi s pozitivno kontrolo

nekoliko manjša, vendar zaradi majhnega števila vzorcev ne moremo sklepati, da je prišlo do razgradnje. V ekstraktih, pridobljenih iz kultur glive *G. trabeum*, smo določili oba izomera endosulfana, pojavili pa so se nekateri manjši kromatografski vrhovi, ki niso pripadali endosulfan sulfatu in endosulfan etru, kar nakazuje, da gliva endosulfana ne razgrajuje oziroma ga v le majhnem obsegu razkrajja do nespecifičnih produktov, ki jih nismo identificirali. Gliva *G. trabeum* spada med glive rjave trohnobe, ki razgrajujejo predvsem celulozo in hemicelulozo v oleseneli celični steni. Zaradi odsotnosti ligninolitičnega sistema, ki poleg lignina domnevno povzroča tudi razgradnjo ligninu podobnih ksenobiotikov, razgradnje s to vrsto glive nismo pričakovali (Bumpus in sod., 1985; Hammel, 1995; Reddy, 1995; Gadd, 2001).

SKLEP

Dodatek endosulfana v koncentraciji 2,4 mg/L ni vplival na rast gliv *H. fragiforme* in *G. trabeum* v kulturah. Po 21 dneh izpostavitve endosulfana kulturi glive *H. fragiforme* je bil endosulfan sulfat glavni metabolit, ki smo ga identificirali z GC analizo. V ekstraktih smo potrdili tudi prisotnost endosulfan etra. Z glivo rjave trohnobe *G. trabeum* do razgradnje endosulfana ni prišlo.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije za finančno podporo v okviru programa P4-0015-0481.

LITERATURA IN VIRI

1. Aust SD (1990) Degradation of environmental pollutants by *Phanerochaete chrysosporium*. Microbial Ecology, 20: 197-209
2. Bhalerao TS, Puranik PR (2007) Biodegradation of organochlorine pesticide, endosulfan, by a fungal soil isolate, *Aspergillus niger*. International Biodeterioration & Biodegradation, 59: 315-321.
3. Bumpus JA, Tien M, Wright D, Aust SD (1985) Oxidation of persistent environmental pollutants by a white rot fungus. Science, 228: 1434-1436
4. Gadd GM (2001) Fungi in bioremediation. Cambridge University Press, Cambridge, 481
5. Goswami S, Vig K, Singh DK (2009) Biodegradation of α and β endosulfan by *Aspergillus sydowi*. Chemosphere, 75: 883-888
6. Hadar Y, Cohen-Arazi E (1986) Chemical composition of the edible mushroom *Pleurotus ostreatus* produced by fermentation. Applied and Environmental Microbiology, 51, 6: 1352-1354
7. Hammel KE (1995) Organopollutant degradation by ligninolytic fungi. V: Microbial Transformation and Degradation of Toxic Organic Chemicals. Young LY (Ur.), Cerniglia CE (Ur.), Wiley-Liss, New York, 331-346
8. Kegley SE, Hill BR, Orme S, Choi AH (2010) PAN Pesticide Database, Pesticide Action Network. <http://www.pesticideinfo.org> (17.4.2011)
9. Kim YK, Kim SH, Choi SC (2001) Kinetics of endosulfan degradation by *Phanerochaete chrysosporium*. Biotechnology Letters, 23: 163-166

10. **Kullman SW, Matsumura F (1996)** Metabolic pathways utilized by *Phanerochaete chrysosporium* for degradation of the cyclodiene pesticide endosulfan. *Applied and Environmental Microbiology*, 62: 593-600
11. **Pointing SB (2001)** Feasibility of bioremediation by white-rot fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 57: 20-33
12. **Reddy AC (1995)** The potential for white-rot fungi in the treatment of pollutants. *Current Opinion in Biotechnology*, 6: 320-328
13. **Shetty PK, Mitra J, Murthy NKB, Namitha KK, Savitha KN, Raghu K (2000)** Biodegradation of cyclodiene insecticide endosulfan by *Mucor thermohyalospora* MTCC 1384. *Current Science*, 79: 1381-1383
14. **Siddique T, Okeke BC, Arshad M, Frankenberger WT (2003)** Biodegradation kinetics of endosulfan by *Fusarium ventricosum* and a *Pandora* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 8015-8019
15. **Sutherland TD, Weir KM, Lacey MJ, Horne I, Russel RJ, Oakeshott JG (2002)** Enrichment of a microbial culture capable of degrading endosulphate, the toxic metabolite of endosulfan. *Journal of Applied Microbiology*, 92: 541-548
16. **UNEP (2009)** Consideration of draft risk profiles: endosulfan. Persistent Organic Pollutants Review Committee, Fifth meeting, Geneva, 26
17. **Varayoud J, Monje L, Bernhardt T, Muñoz-de-Toro M, Luque EH, Ramos JG (2008)** Endosulfan modulates estrogen-dependent genes like a non-uterotrophic dose of 17 β -estradiol. *Reproductive Toxicology*, 26: 138-45
18. **Vidic I, Zupančič-Kralj L, Sepčić K, Pohleven F (2008)** Degradation of polychlorinated organic biocides by the wood decaying fungi. V: International Research Group on Wood Preservation. IRG Documents IRG 39, Istanbul, 25-29 maj: str. 1-13

VPLIV VREDNOSTI pH UTEKOČINJENEGA LESA NA STRIŽNO TRDNOST IN TRAJNOST ZLEPLJENIH SPOJEV

Influence of pH value of liquefied wood on shear strength and durability of bond lines

Izvleček: Utekočinjen les je produkt solvolize lesa, ki ga lahko uporabimo kot sredstvo za lepljenje lesenih elementov. Problem spojev, zlepljenih z utekočinjenim lesom, sta nizka strižna trdnost in trajnost, ki sta potencialno odvisni od reaktivnosti utekočinjenega lesa oziroma njegove vrednosti pH. V raziskavi smo z reološkimi meritvami osvetlili utrjevanje utekočinjenega lesa z različnimi vrednostmi pH ter proučevali vpliv različnih vrednosti pH utekočinjenega lesa na strižno trdnost in trajnost zlepljenih spojev.

Ključne besede: lepilo, strižna trdnost, utekočinjen les, vrednost pH

Abstract: Liquefied wood is a product of wood solvolysis and can be used as a material for bonding of wood elements. The main problems of bond lines, prepared with liquefied wood, are their low shear strength and durability. This can be the consequence of low reactivity of liquefied wood or pH value, respectively. Curing of liquefied wood was elucidated using rheological measurements. Influence of different pH values of liquefied wood on shear strength value of bond lines and their durability was investigated in this work, as well.

Keywords: adhesive, shear strength, liquefied wood, pH value

1. UVOD

Utekočinjen les (UL) je produkt solvolize lesa ob uporabi reagenta (topila) in katalizatorja. Uporablja se lahko kot sredstvo za lepljenje lesa v kombinaciji s komercialnimi lepili (Kunaver in sod., 2010; Ugovšek in sod., 2010a), kot so-reagent pri izdelavi polimerov za izdelavo lepil (Kobayashi in sod., 2001) ali kot samostojna komponenta za lepljenje lesa (Ugovšek in sod., 2010b). V slednjem primeru sta največja problema nizka strižna trdnost in trajnost zlepljenih spojev, kar pomeni, da so lepljenci praktično neuporabni (Šernek in sod., 2010). Trajnost spojev, zlepljenih zgolj z UL, je odvisna od uporabljenega utekočinjevalnega reagenta ter končnega razmerja med lesom in reagentom v utekočinjenem produktu. Uporaba etilen glikola kot reagenta

namesto glicerola se je izkazala za učinkovito rešitev, saj strižna trdnost zlepljenih spojev med izpostavljenostjo standardnim klimatskim pogojem ne upade (Ugovšek in sod., 2010b). Poleg tega se je izkazalo, da nižje razmerje med reagentom in lesom v UL pripomore k trajnejšim in trdnjšim spojem (Ugovšek in sod., 2010b).

Med procesom utekočinjanja lesa pride do degradacije osnovnih komponent lesa (celuloza, hemiceluloze in lignin), ki razpadejo na monomere in oligomere. Tako celuloza razpade na glukozide, ki reagirajo z etilen glikolom, v nadaljevanju pa pride do degradacije in nastanka levulinatov ter v končni fazi levulinske kisline (Yamada, Ono, 2001). Lignin prav tako razpade na manjše frakcije, ki pa so v nadaljevanju reakcije podvržene t.i. rekondenzaciji. V primeru uporabe žveplove kisline kot katalizatorja pri utekočinjanju namreč pride do kondenzacije med ogljikom na α -mestu in ogljikom aromatskih obročev lignina, pri tem pa se tvorijo difenilmetanske strukture (Yamada,

* univ. dipl. inž. les., Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: ales.ugovsek@bf.uni-lj.si

** prof. dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: milan.sernek@bf.uni-lj.si

Ono, 1999). UL je torej sposoben tvoriti zamreženo strukturo, pri čemer pride do reakcije med depolimerizirano celulozo in aromatskimi derivati lignina oziroma nastopi reakcija nukleofilne substitucije celuloze in fenoksidnega iona (Kobayashi in sod., 2004). Stopnja zamreženja je odvisna od reaktivnosti UL oziroma kislinsko disociativne konstante (jakosti kisline), ki pa v primeru lepljenja lesa slabo vpliva na površinski sloj le-tega. V članku pojem reaktivnost UL razumemo kot sposobnost UL za samozamreženje oziroma sposobnost reakcije z lesom. Med vročim stiskanjem se namreč močno degradira območje penetracije UL, kar posledično povzroča nižjo strižno trdnost zlepljenih spojev kljub temu, da do porušitve pride po lesu in ne po lepilu (Ugovšek in sod., 2010b).

Namen raziskave je bil torej proučiti vpliv različnih vrednosti pH UL na hitrost utrjevanja ter strižno trdnost in trajnost spojev, zlepljenih z UL.

2. MATERIALI IN METODE

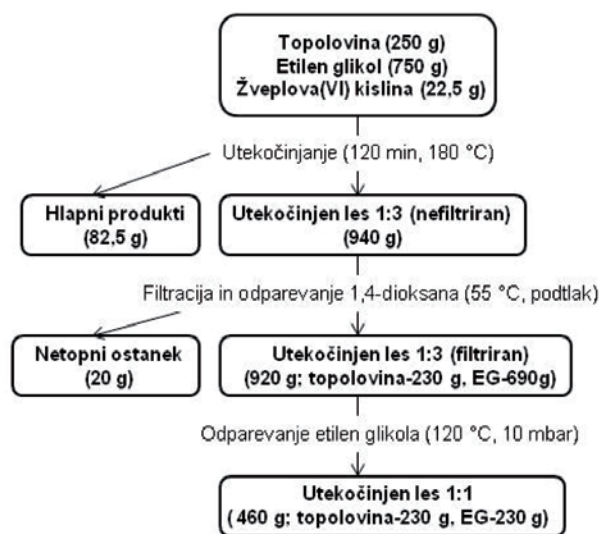
2.1. UTEKOČINJANJE LESA

Za utekočinjanje lesa smo uporabili manjše frakcije topolove (*Populus nigra* L.) žagovine, ki smo jo pred tem posušili v laboratorijskem sušilniku (103 °C, 24 h). Utekočinjanje lesa je potekalo v 1000 mL steklenem reaktorju 120 minut pri 180 °C. Kot reagent za utekočinjanje smo uporabili etilen glikol (EG) (p.a., Sigma-Aldrich, Nemčija) in kot katalizator 97 % žveplovo(VI) kislino (p.a., Sigma-Aldrich, Nemčija). Masno razmerje med topolovino in EG je bilo 1:3, dodatek katalizatorja pa je znašal 3 % glede na maso EG.

Po končanem utekočinjanju smo UL razredčili z zmesjo 1,4-dioksana in vode (masno razmerje 4:1) ter ga s pomočjo podtlaka prefiltrirali prek filtrirnih papirjev (Sartorius filter disks 388 grade/84/mm²). Filtrirne papirje z netopnim ostankom smo posušili in na podlagi mas izračunali delež utekočinjenega lesa (DUL) (1):

$$DUL = \left(1 - \left(\frac{W_1 - W_2}{W_3} \right) \right) \times 100\% \quad (1)$$

pri čemer predstavlja W_1 maso suhega filtrirnega papirja z netopnim ostankom (g), W_2 maso filtrirnega papirja (g) in W_3 maso topolovine (g). V nadaljevanju smo z rotavaporjem (Büchi rotavapor R-210) in vakuumsko črpalko (Vacuubrand, PC 3003 VARIO) pri 55 °C ter prilagojenem višanju podtlaka do 10 mbar odstranili 1,4-dioksan ter vodo. Po odstranitvi 1,4-dioksana in vode smo pri 120 °C in podtlaku 10 mbar odparili večji del EG. Tak utekočinjen les, s končnim masnim razmerjem med topolovino in EG 1:1, smo uporabili za nadaljnje raziskave (Slika 1). Maso UL smo med odparevanjem EG spremljali gravimetrično.



Slika 1. Shematski prikaz postopka utekočinjanja lesa

2.2. URAVNAVANJE VREDNOSTI pH UTEKOČINJENEGA LESA

Vrednost pH UL smo merili s pH metrom (Mettler Toledo, SevenEasy, pH meter S20) in uporabo konkavne polkrožne steklene sonde. Vrednosti pH UL smo uravnavali z dodajanjem 10 M raztopine natrijevega hidroksida (NaOH_{aq}).

2.3. LEPLJENJE LESENIH LAMEL Z UTEKOČINJENIM LESOM

Za lepljenje smo uporabili bukove lamele debeline 5 mm, ki smo jih zlepili v skladu s predpisi standarda EN 12765 (2002). Pred lepljenjem smo lamele poskobljali, s čimer smo zagotovili gladko in čisto površino. Utekočinjen les smo nanašali valjčno, nanos pa je znašal 200 g/m² (enosstransko). Temperatura v stiskalnici je bila 200 °C, čas stiskanja 900 sekund in specifičen tlak stiskanja 0,6 MPa. Zlepljene dvoslojne lepljence smo razžagali v strižne preskušance in jih testirali takoj po lepljenju ($n \geq 10$) ter nato po 1, 3, 7, 14 in 28 dneh klimatiziranja v standardni klimi (20±2) °C, relativna zračna vlažnost (65±5) %. Vsi strižni testi so bili opravljeni na univerzalnem testirnem stroju ZWICK/Z005 v skladu s standardom EN 205 (2003).

2.4. SPREMLJANJE REOLOŠKIH LASTNOSTI MED UTRJEVANJEM UL Z RAZLIČNIMI VREDNOSTMI pH

Reološke lastnosti (elastični modul G' (Pa), strižni modul G'' (Pa), viskoznost η (Pa·s) in faktor izgub $\tan \delta$ (/)) smo spremljali z reometrom ARES G2. Uporabili smo oscilatorni test s konstantno režo med aluminijastima diskoma, kamor smo nanесли 200 g/m² UL z različnimi vrednostmi pH. Temperatura se je med merjenjem spreminjala z za-

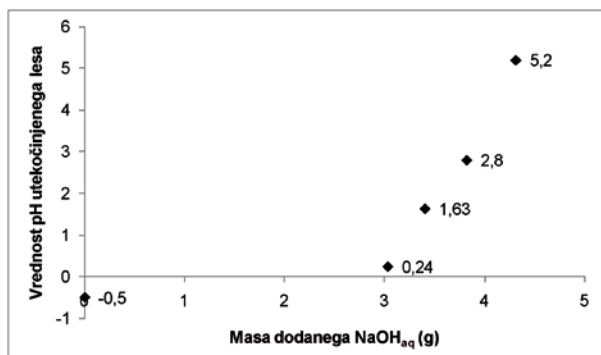
četne temperature 30 °C na končno temperaturo 200 °C. Hitrost segrevanja je bila 34 °C/min, s čimer smo simulirali prehod temperature prek lesa listavcev (1 mm = 1 min).

3. REZULTATI

3.1. URAVNAVANJE VREDNOSTI pH UTEKOČINJENEGA LESA

Izmerjene vrednosti pH utekočinjenega lesa z različnim dodatkom vodne raztopine NaOH so prikazane na sliki 2. Vrednost pH UL brez dodatka NaOH je negativna. O negativnih vrednostih pH različnih snovi poročajo tudi drugi avtorji, med njimi o vrednostih vulkanskih izvirov vode (pH -1,7), vode iz kraterskih jezer (pH -0,89) in rudniške vode s pH -3,6 (Nordstrom in sod., 2000). Negativna vrednost pH je kljub splošnemu nepoznavanju tega pojava povsem logična, saj je pH definiran kot negativni desetiški logaritem aktivnosti H^+ ionov v raztopini ($pH = -\log[a(H^+)]$) (IUPAC, 2011). V primeru snovi z molarnostjo ≥ 1 je torej njihova vrednost $pH \leq 0$. Komercialno uporabna raztopina HCl (37 %) ima vrednost pH približno -1,1, medtem ko ima nasičena raztopina NaOH vrednost pH približno 15 (Lim, 2006). Razlog za negativen pH UL je najverjetneje dodatek žveplove kisline in neznatni delež vode, ki je posledica odparavanja etilen glikola pri temperaturi nad 100 °C.

Na sliki 2 je prikazana vrednost pH UL -0,5, vendar je zaradi uporabe steklene sonde ta nenatančna. Steklena elektrode imajo namreč t.i. "kislinsko napako", zaradi česar je določena vrednost premalo natančna (Chemistryabout.com, 2011). Zaradi potencialne manjše napake pri izmerjeni negativni vrednosti pH bomo v nadaljevanju uporabljali izraz negativen pH (neg. pH). Preostale vrednosti pH so izpisane v diagramu na sliki 2 (0,24; 1,63; 2,80 in 5,20).

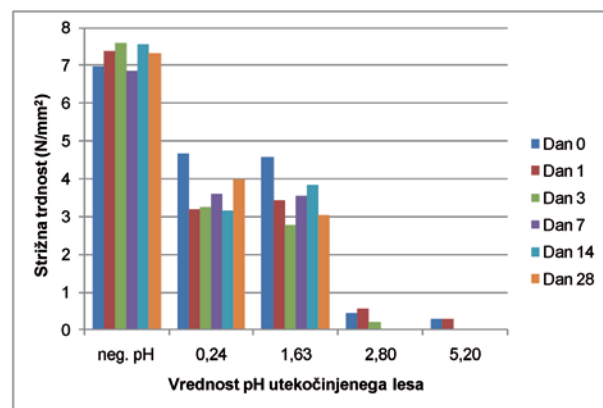


Slika 2. Izmerjene vrednosti pH utekočinjenega lesa v odvisnosti od dodatka 10 M vodne raztopine NaOH

3.2. STRIŽNI TEST ZLEPLJENIH SPOJEV Z UL Z RAZLIČNIMI VREDNOSTMI pH

Na sliki 3 je prikazana strižna trdnost spojev, ki so bili zlepljeni z UL z različnimi vrednostmi pH. Preskušanci so bili testirani takoj po lepljenju ter kasneje po 1, 3, 7, 14 in 28 dneh. Največja strižna trdnost je bila ugotovljena pri preskušancih, ki so bili zlepljeni z UL brez dodatka NaOH, medtem ko so te vrednosti bistveno manjše pri preskušancih ostalih skupin, glede na vrednost pH. Preskušanci, zlepljeni z UL, katerih vrednosti pH sta znašali 0,24 ter 1,63, imajo podobno strižno trdnost, preskušanci s pH 2,80 in 5,20 pa so po 7 oziroma 3 dneh razpadli. Pomemben podatek je, da strižna trdnost zlepljenih spojev z UL z neg. pH tekom klimatiziranja v standardnih pogojih ne upada. Upadanje strižne trdnosti spojev, zlepljenih z UL je v dosedanjih raziskavah predstavljalo največjo pomanjkljivost lepljencev (Šernek in sod., 2010; Ugovšek in sod., 2010a).

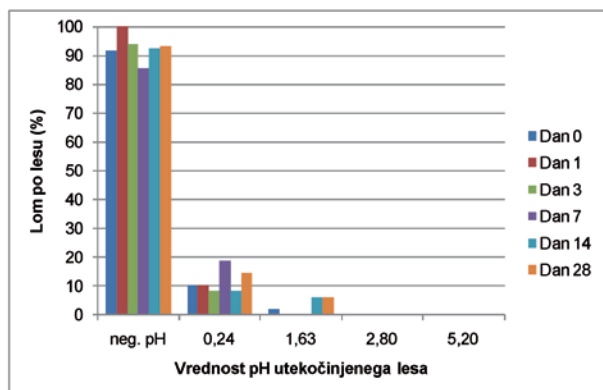
Vrednost pH ima torej velik pomen pri lepljenju lesa z UL, saj je od nje odvisna hitrost utrjevanja UL. Med procesom utrjevanja namreč prihaja do rekondenzacije UL. V tej fazi pride do kondenzacije osnovnih gradnikov lesa - celuloze, hemiceluloz in lignina. Do rekondenzacije pride zaradi reakcije med depolimerizirano celulozo in aromatskimi derivati lignina oziroma nastopi reakcija nukleofilne substitucije celuloze in fenoksidnega iona (Kobayashi in sod., 2004). V reakcijo kondenzacije vstopa tudi EG, ki potencialno reagira s produkti degradirane celuloze, pri čemer nastaja EG-glukozid (Yamada, Ono, 2001) ali z ligninom, na katerega se veže alifatska veriga topila (Jasiukaityte in sod., 2010). Kljub navedbam, da uporaba EG preprečuje kondenzacijo ligninov, pa menimo, da je bila količina EG v končnem UL dovolj nizka, da je do slednje prišlo. Izbira katalizatorja je v tem primeru precejšnjega pomena, saj žveplove kisline lahko sproži reakcijo rekondenzacije. V primeru uporabe p-toluensulfonske kisline do rekonden-



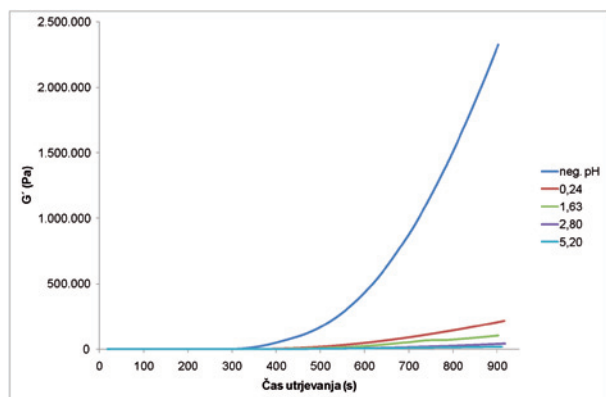
Slika 3. Vpliv vrednosti pH UL na strižno trdnost zlepljenih spojev

zacije lignina po vsej verjetnosti ne bi prišlo, saj bi bila količina oksonijevih ionov po disociaciji prenizka (Yamada, Ono, 1999). Slednje je najverjetneje tudi razlog za manjšo strižno trdnost pri preskušancih, zlepljenih z UL z višjimi vrednostmi pH.

Dodatek žveplove kisline pa ima poleg pozitivnega tudi negativen vpliv na lepljenje v stiskalnici pri visoki temperaturi, saj se površina lesenih lamel (območje penetracije UL) degradira, s čimer se posledično zniža strižna trdnost lesa samega (Ugovšek in sod., 2010b). Slednje dokazujejo podatki o lomu po lesu, ki so prikazani na sliki 4. Lom po lesu je namreč zelo visok (neg. pH), kljub sorazmerno majhnim strižnim trdnostim (slika 3 (neg. pH)) v primerjavi s komercialnimi lepili, za katere standard zahteva strižno trdnost nad 10 N/mm². Slednje ne sovпада s strižno trdnostjo bukovine, ki v povprečju znaša 10 N/mm² (Čufar, 2006). Sklepamo, da je med lepljenjem pri 200 °C prišlo do degradacije površine lesa oziroma do "utekočinjanja" lete. Reaktivnost UL je zaradi nizke vrednosti pH tako visoka, da potencialno sproži reakcijo utekočinjanja v območju



Slika 4. Vpliv vrednosti pH UL na vrednosti loma po lesu



Slika 5. Vpliv vrednosti pH utekočinjenega lesa na njegovo utrjevanje

penetracije UL, s čimer se posledično zmanjša strižna trdnost lesa. V primeru strižne trdnosti preskušancev z nižjimi vrednostmi pH je lom po lesu bistveno nižji oziroma ga ni, kar sovпада s predvidevanji glede reaktivnosti UL in utekočinjanja površine lesa (območje penetracije UL).

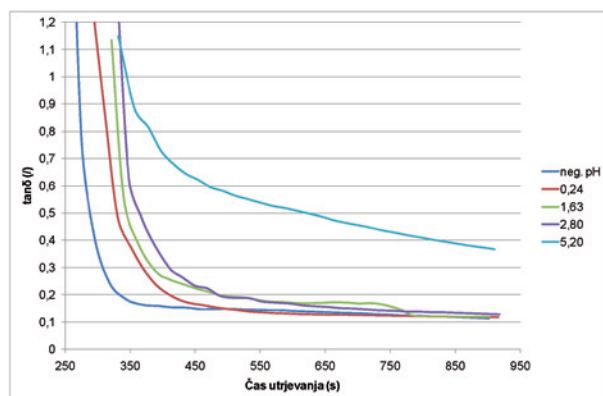
3.3. REOLOŠKE LASTNOSTI MED UTRJEVANJEM UTEKOČINJENEGA LESA Z RAZLIČNIMI VREDNOSTMI pH

Na sliki 5 je prikazan potek utrjevanja UL z različnimi vrednostmi pH med oscilatornim testom, izvedenim z reometrom ARES G2. Od vseh reoloških lastnosti, ki smo jih spremljali, sta prikazana le elastični modul in faktor izgub. Na ordinatni osi je podan dinamični strižni modul ali elastični modul (G'), ki predstavlja količino shranjene deformacijske energije, nastale med strižnim testom, torej elastično obnašanje materiala (Mezger, 2002). Z njim lahko ponazorimo hitrost utrjevanja materiala in primerjamo končne vrednosti.

Iz slike 5 je razvidno, da najhitreje in najintenzivneje utrjuje UL z negativno vrednostjo pH, kar sovпада z rezultati strižnih testov. G' je po 900 sekundah v primeru neg. pH več kot desetkrat višji kot v primeru pH 0,24 in več kot stokrat višji kot v primeru pH 5,20. Slednje potrjuje tudi domneve o mnogo višji reaktivnosti UL brez dodatka NaOH.

Iz slike 5 je razvidno, da UL z neg. pH prične utrjevati prvi, za podrobnejšo analizo pričetka utrjevanja pa so relevantni podatki o faktorju izgub ($\tan\delta$), ki so prikazani na sliki 6. Faktor izgub predstavlja kvocient med viskoznim in elastičnim deležem deformacijskega obnašanja. Tako ima idealno elastičen material vrednosti $\tan\delta = 0$ in idealno viskozen material vrednost $\tan\delta = \infty$. Pri izenačenih vrednostih elastične in viskozne komponente je $\tan\delta = 1$. Slednja vrednost je torej pomemben parameter, saj v fazi utrjevanja materiala predstavlja mejo med tekočim stanjem in pričetkom želiranja (sol/gel stanje). V tekočem stanju je $\tan\delta > 1$, medtem ko je v gel stanju $\tan\delta < 1$. Privzamemo lahko, da meja $\tan\delta = 1$ predstavlja začetek želiranja oziroma utrjevanja materiala. Na sliki 6 razberemo, da je do sol/gel stanja najhitreje prišlo pri UL z neg. pH (≈ 270 s), sledi UL s pH 0,24 (≈ 300 s), UL s pH 1,63 (≈ 325 s), UL s pH 2,80 (≈ 340 s) in UL s pH 5,20 (≈ 360 s). Rezultati kažejo tudi na to, da UL z neg. pH za pričetek želiranja potrebuje nižjo temperaturo kot 200 °C. Pri 270 sekundah je glede na prehod toplote skozi les listavcev temperatura spoja bila šele 180 °C.

Po končanem merjenju (900 s) so bile vrednosti $\tan\delta$, z izjemo sestave s pH 5,20 (ki verjetno sploh ni zadostno utrčila), med 0,1 in 0,2 kar pomeni, da je bilo v vseh ostalih primerih UL razmerje med elastično in viskozno komponento podobno, prevladovala pa je elastična.



Slika 6. Vpliv vrednosti pH utekočinjenega lesa na spreminjanje faktorja izgub ($\tan \delta$)

4. SKLEP

V raziskavi smo proučevali vpliv različnih vrednosti pH utekočinjenega lesa na strižno trdnost zlepljenih spojev in osvetlili potek utrjevanja utekočinjenega lesa z reološkimi meritvami. Utekočinjenemu lesu smo pred lepljenjem spreminjali vrednosti pH z vodno raztopino NaOH v območju med negativnim pH-jem in vrednostjo pH 5,20. Največjo strižno trdnost in najboljšo trajnost so izkazali spoji, zlepljeni z utekočinjenim lesom brez dodane NaOH (neg. pH). Z višanjem vrednosti pH se je strižna trdnost zmanjševala, prav tako se je poslabšala trajnost zlepljenih spojev. Strižna trdnost spojev, zlepljenih z utekočinjenim lesom brez dodane NaOH, se med izpostavitvijo standardnim klimatskim pogojem ni zmanjšala, kar predstavlja napredek na področju lepljenja z utekočinjenim lesom. Kljub sorazmerno majhnim strižnim trdnostim v primerjavi s komercialnimi lepili pa smo zaznali visok delež loma po lesu. Slednje je posledica degradacije površine lesa v območju penetracije utekočinjenega lesa, saj jo le-ta med lepljenjem zaradi svoje reaktivnosti močno poškoduje. Izmerjena strižna trdnost torej predstavlja strižno trdnost delno degradiranega sloja lesa. Vrednost pH utekočinjenega lesa tako bistveno vpliva na hitrost utrjevanja, saj sta z njo pogojena tudi reaktivnost utekočinjenega lesa in reakcija rekondenzacije, pri čemer se med lepljenjem tvori zamrežena struktura. Hitrost utrjevanja utekočinjenega lesa smo osvetlili z reološkimi meritvami, s katerimi smo spremljali utrjevanje utekočinjenega lesa pri podobnih pogojih, kot so bili med lepljenjem v stiskalnici. Najhitreje je utrjeval utekočinjen les brez dodane NaOH (neg. pH), medtem ko je najpočasneje utrjeval utekočinjen les z vrednostjo pH 5,20. S spremljanjem faktorja izgub ($\tan \delta$) smo še dodatno potrdili, da ima vrednost pH bistven vpliv na reaktivnost utekočinjenega lesa in njegovo utrjevanje. S faktorjem izgub smo natančneje določili pričetek prehoda utekočinjenega lesa iz tekočega v gel

stanje in ugotovili, da se ta proces najprej začne pri utekočinjenem lesu brez dodane NaOH (neg. pH).

Z raziskavo smo prišli do pomembnih rezultatov in ugotovitev na področju lepljenja z utekočinjenim lesom in obenem odprli novo področje za raziskovanje, katerega najpomembnejša naloga bo ugotoviti, kaj se dogaja s površino lesa med lepljenjem z utekočinjenim lesom.

ZAHVALA

Prispevek je nastal v okviru temeljnega raziskovalnega projekta J4-2177 »Razvoj okolju prijaznih lepil iz obnovljivih rastlinskih polimerov« in Raziskovalnega programa P4-0015 »Les in lignocelulozni kompoziti«, ki ju financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS. Avtorja se zahvaljujeta študentu Vinku Peklaju za tehnično pomoč.

VIRI

- Čufar K. (2006) Anatomija lesa. Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Ljubljana, 185
- EN 12765 (2002) Classification of thermosetting wood adhesives for non-structural applications.
- EN 205 (2003) Adhesives - Wood adhesives for non-structural applications - Determination of tensile shear strength of lap joints.
- Is a negative pH possible? (2011) Chemistryabout.com. <http://chemistry.about.com/od/acidsbase1/f/negative-ph.htm> (20.2.2011)
- IUPAC (2011) Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). XML on-line corrected version: <http://goldbook.iupac.org> (2006-) created by M. Nic, J. Jirat, B. Kosata; updates compiled by A. Jenkins
- Jasiukaityte E., Kunaver M., Crestini (2010) Lignin behaviour during wood liquefaction-Characterization by quantitative ^{31}P , ^{13}C NMR and size-exclusion chromatography. *Catalysis today*, 156: 23-30
- Kobayashi M., Asano T., Kajiyama M., Tomita B. (2004) Analysis on residue formation during wood liquefaction with polyhydric alcohol. *Journal of wood science*, 50: 407-414
- Kobayashi M., Hatano Y., Tomita B. (2001) Viscoelastic Properties of Liquefied Wood/Epoxy Resin and its Bond Strength. *Holzfor-schung*, 55: 667-671
- Kunaver M., Medved S., Čuk N., Jasiukaityte E., Poljanšek I., Strnad T. (2010) Application of liquefied wood as a new particle board adhesive system. *Bioresource Technology*, 101: 1361-1368
- Lim KF (2006) Negative pH does exist. *Journal of chemical education*, 83(10): 1465
- Mezger T.G. (2002) The Rheology Handbook. Vincentz Verlag (ur.), Hannover, Germany, 252 str
- Nordstrom D.K., Alpers C.N., Ptacek C.J., Blowes D.W. (2000) Negative pH and extremely acidic mine waters from Iron mountain, California. *Environmental science and technology*, 34(2): 254-258
- Šernek M., Kariž M., Budija F., Petrič M., Ugovšek A. (2010) The strength and durability of novel adhesives using liquefied wood. V: *Ecowood: abstracts book*. Porto: Universidade Fernando Pessoa, 2010, 25
- Ugovšek A., Kariž M., Šernek M. (2010a) Bonding of beech wood with an adhesive mixture made of liquefied wood and phenolic resin, V: Németh R. and Teischinger A. (ur), *Proceedings of the "Hardwood Science and Technology" - The 4th conference on*

hardwood research and utilisation in Europe. Sopron, Hungary, 17-18 May 2010, 64-68

15. **Ugovšek A., Kariž M., Šernek M. (2010b)** Bonding of wood with adhesive mixtures made of liquefied wood combined with tannin or phenolic resin, V: Ristić R, Madarević M, Popović Z (ur.), Congress Abstracts of the "Future with forest" - First Serbian forestry congress. Beograd, Serbia, 11-13 November 2010, 263-264
16. **Yamada T., Ono H. (1999)** Rapid liquefaction of lignocellulosic waste by using ethylene carbonate. *Bioresource technology*, 70: 61-67
17. **Yamada T., Ono H. (2001)** Characterization of the products resulting from ethylene glycol liquefaction of cellulose. *Journal of wood science*, 47: 458-464

RIPO9 - MULTIFUNKCIONALNO POHIŠTVO - INOVATIVNE PRODUKTNE ENOTE BIVANJSKIH PROSTOROV PRIHODNOSTI (TIA)

OGLEJČNI ODTIS »OD ZIBELKE DO VRAT« ELEMENTOV DNEVNE SOBE TINA

Izvleček: Podjetja Brest - pohištvo d.o.o. Cerknica, TOM d.d. Mokronog, SVEA d.d. Zagorje ob Savi, KOLPA Proizvodnja in predelava plastičnih mas, d.d., Metlika in Silvaproduct, d.o.o. Ljubljana so se povezali v konzorcij v okviru raziskovalno-razvojnega investicijskega projekta Multifunkcionalno pohištvo - inovativne produktne enote bivanjskih prostorov prihodnosti. Namen projekta je s tehnološko odličnostjo narediti kvaliteten, okolju prijazen mobilni multifunkcionalni produkt. V projektu hkrati z razvojem novih materialov in izdelkov vrednotijo okoljsko prijaznost materialov, izdelkov in novih proizvodnih procesov. Z namenom poenotenega pristopa k izdelavi analize LCA projektnih izdelkov smo izdelali analizo LCA obstoječega izdelka podjetja Brest-pohištvo d.o.o. Cerknica (dnevna soba TINA), ki bo služil kot osnova izdelavi analize LCA vseh projektnih izdelkov MFP (multifunkcionalno pohištvo). V članku je predstavljena analiza ogljičnega odtisa (dandanašnji najaktualnejši vidik analize LCA) treh elementov dnevnice sobe TINA, ki se bistveno razlikujejo v tipu vhodnih materialov. Analiza LCA je pokazala, da samo delovanje obrata in z njim neposredno povezane emisije prispevajo k ogljičenemu odtisu izdelka presenetljivo malo v primerjavi s prispevkom vhodnih materialov. Največja priložnost za zmanjšanje ogljičnega odtisa je tako v preiščeni izbiri okolju prijaznih nabavnih materialov, predvsem lepil in plošč, ter v zmanjšanju količine embalaže, predvsem polistirena.

1. UVOD

Pohištvo je del bivanjskega prostora, s katerim si uporabnik ustvari toplino doma. Pogosto pri tem naleti na statičnost opremljanja prostora, ne more po želji menjati namembnosti prostora. Možna rešitev take zadrege je v nakupu multifunkcionalnega pohištva, ki omogoča uporabniku hitro spremembo namembnosti bivanjskega prostora z izdelki, ki se idejno, oblikovno in barvno skladajo. Pet slovenskih podjetij različnih branž je v omenjeni problematiki opremljanja prostora našlo skupni izziv. Podjetja Brest - pohištvo d.o.o. Cerknica, TOM d.d. Mokronog, SVEA d.d. Zagorje ob Savi, KOLPA Proizvodnja in predelava plastičnih mas, d.d., Metlika in Silvaproduct, d.o.o. Ljubljana so se povezali v konzorcij v okviru raziskovalno-razvojnega investicijskega projekta Multifunkcionalno pohištvo - inovativne produktne enote bivanjskih prostorov prihodnosti (RIPO9 MFP), za katerega so si pridobila sredstva iz pro-

grama neposrednih spodbud za skupne razvojne investicijske projekte - RIPO9. Cilj projekta je oblikovati nov, vrhunski slovenski dizajn opreme prostorov »inteligentnih hiš« in ustvariti tehnološko napredni, inovativni, visoko kvaliteten, okolju prijazen izdelek Multifunkcionalno pohištvo - inovativne produktne enote bivanjskih prostorov prihodnosti. S prenosom obstoječih znanj med partnerji in institucijami znanja (Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Akademija za likovno umetnost in oblikovanje ter ILTRA d.o.o.) raziskujejo in razvijajo nove konstrukcijske rešitve ter nove napredne materiale. Namen projekta je s tehnološko odličnostjo narediti kvaliteten, okolju prijazen mobilni multifunkcionalni produkt. Z razvitimi produkti želijo povečati konkurenčnost na domačem in tujem trgu, povečati znanje zaposlenih, razviti dobro medsebojno sodelovanje partnerjev pri projektu, povečati dodano vrednost, omogočiti prehod na nova tržišča, izboljšati prepoznavnost produkta in podjetij ter prispevati k trajnostnemu razvoju. V projektu hkrati z razvojem novih materialov in izdelkov vrednotijo okoljsko prijaznost materialov, izdelkov in novih proizvodnih procesov. Projektni partnerji

* dr., ILTRA d.o.o., Celovška cesta 268, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: andreja.kutnar@iltra.si

** dr., ILTRA d.o.o., Celovška cesta 268, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: crtomir.tavzes@iltra.si

se namreč zavedajo, da je prodor in ohranitev konkurenčnosti podjetij na trgu mogoč le z izdelki z minimalnim vplivom na okolje in z na trajnostnem razvoju temelječo osnovo. Pri razvoju izdelkov ter tehnologij upoštevajo koncept »od zibelke do zibelke« (ISO 14044, 2006), uporabljajo »čiste« materiale, ki ne škodujejo zdravju in jih je možno reciklirati in za vsak razviti izdelek določijo scenarije ob koncu življenjskega cikla izdelka v smeri trajnostne rabe.

Pomemben vidik razvoja multifunkcionalnega pohištva je torej okolju čim bolj prijazen izdelek s čim manjšim okoljskim vplivom. Zato vzporedno z razvojem novih materialov, izdelkov in tehnologij poteka objektivno vrednotenje le-teh na okolje, in sicer analiza in ocena sprejemljivosti posega z vidika vseh dejanskih in možnih obremenitev okolja in glede vseh predvidljivih kratkoročnih ali dolgoročnih, neposrednih ali posrednih posledic za okolje kot celoto in za njegove posamezne sestavine. V podjetju ILTRA d.o.o. za projektne izdelke multifunkcionalnega pohištva sistematično vrednotimo okoljske vplive novih materialov, izdelkov in tehnologij od izvora, proizvodne faze, rabe oziroma predelave pa vse do njegovega odlaganja ali ponovne uporabe oziroma recikliranja ter izvajamo analizo življenjskega cikla (v nadaljevanju Life Cycle Assessment, LCA), ki je neposredno uporabna za razvijanje in izboljševanje izdelkov, strateško planiranje, delo z javnostmi, trženje in za optimizacijo produktov. Namen analize LCA je optimizirati dizajn, proizvodne in tržne postopke ter izbiro materiala tako, da so poraba energije, vode in drugih virov ter emisije škodljivih snovi v okolje čim manjši (ISO 14040, 2006). LCA je metodologija, ki to presoja na celovit in pregleden način na podlagi dejstev in strokovnega znanja.

1.1 ANALIZA ŽIVLJENJSKEGA CIKLA (LCA – LIFE CYCLE ASSESSMENT)

Analiza življenjskega kroga (LCA) je analitično orodje za sistematično objektivno vrednotenje vseh bistvenih vplivov, ki jih ima izdelek, storitev ali subjekt na okolje v svojem življenjskem ciklu. Z njo ovrednotimo vplive na okolje pri pridobivanju surovin (npr. sečnja) in proizvodnji polizdelkov ter porabo energije in emisije (v zrak in vodo) škodljivih snovi pri proizvodnji izdelka. Ovrednotimo tudi vpliv vseh vrst transporta in odpadkov/stranskih produktov v celotnem življenjskem ciklu izdelka.

Od metodoloških začetkov LCA v osemdesetih letih prejšnjega stoletja do danes je bilo razvitih več metodologij, ki na različne načine klasificirajo, karakterizirajo in normalizirajo vplive na okolje. Najbolj pogoste metodologije, npr. CML 2 (2000), IPCC Greenhouse gas emissions, Ecopoints 97 in Eco-indicator 99 (PRé Consultants, 2010), se tako osredotočajo na naslednje skupine indikatorjev: acidifikacija, evtrofikacija, tanjšanje ozonske plasti, različni tipi eko-



Slika 1. Dnevna soba TINA podjetja BREST Pohištvo d.o.o. Cerknica

toksičnosti, onesnaženost zraka, uporaba virov in emisije toplogrednih plinov. Medtem ko je bil na začetku razvoja analize LCA velik poudarek na okoljskih problemih, kot so acidifikacija in nitrifikacija, so v zadnjih nekaj letih prevladujoča tema toplogredni plini. Emisije toplogrednih plinov, povezane z izdelkom, imenujemo tudi ogljični odtis (ang. Carbon Footprint), po količinsko najbolj pomembnem toplogrednem plinu – CO₂, ki služi kot osnovna enota. Podatki o ogljičnem odtisu postajajo v Evropi vse bolj zaželeni ali celo nujna informacija. V Franciji je na primer zakonsko sprejeto, da morajo proizvajalci in prodajalci z januarjem 2011 postopno označevati svoje izdelke z ogljičnim odtisom in drugimi indikatorji LCA - zakonodaja v okviru Grenelle de l'environnement (das Gupta, 2009).

Za zagotavljanje primerljivosti in kakovosti študij LCA je Mednarodna organizacija za standardizacijo izdala skupino standardov ISO 14040 (2006). V standardu z zaporedno številko ISO 14044 (2006) so opredeljene zahteve in podana navodila, kako izdelati analizo LCA. Izdelava analize LCA je določena v štirih korakih: definicija cilja in področja delovanja LCA, pridobivanje podatkov, modeliranje ter analiza in vrednotenje.

Izdelava analize LCA projektnih izdelkov MFP je zaradi števila uporabljenih materialov, polizdelkov in delovnih operacij kompleksno in zahtevno opravilo. Poleg tega je analiza LCA novost pri projektnih partnerjih, kar še dodatno zviša zahtevnost izdelave te analize. Z namenom poenotenega pristopa k izdelavi analize LCA izdelkov MFP smo izdelali analizo LCA obstoječega izdelka podjetja BREST Pohištvo d.o.o. Cerknica (dnevna soba TINA, slika 1), ki bo uporabljen kot osnova izdelavi analize LCA vseh projektnih izdelkov MFP. Namen tega članka je prikazati analizo ogljičnega odtisa (dandanašnji najaktualnejši vidik analize LCA) treh elementov dnevne sobe TINA, ki se bistveno razlikujejo v tipu vhodnih materialov.

2. MATERIALI IN METODE

2.1. MATERIAL

Analizo LCA oziroma ogljični odtis smo izračunali za elemente dnevne sobe TINA podjetja BREST Pohištvo d.o.o. Cerknica. Proučevane elemente lahko razdelimo v tri skupine. V tem članku bomo predstavili en element v vsaki izmed treh skupin. V skupini »pretežno enostavni leseni elementi, kjer prevladuje uporaba iverne plošče« element »stranica«, v skupini »pretežno leseni elementi s kovinskimi deli« element »element s predali« in v skupini »leseni elementi s steklenimi deli« element »omarica s steklenimi vrati«.

2.2 ANALIZA LCA

2.2.1. Cilj

Cilj študije je bil primerjalno in objektivno dokazati okoljsko prijaznost elementov dnevne sobe TINA, obstoječega izdelka podjetja BREST Pohištvo d.o.o. Cerknica. Največji poudarek je bil na izračunu ogljičnega odtisa posameznih elementov, kot osnova za morebitno označevanje izdelka z ogljičnim odtisom. Ogljični odtis smo izračunali za vsak posamezen element dnevne sobe TINA posebej, saj smo posamezen element definirali kot funkcionalno enoto izračuna. To nam je med drugim tudi omogočilo nakazati razlike med pohištvenimi elementi, ki so sestavljeni iz različnih vhodnih materialov.

2.2.2. Meje sistema

Pri vseh elementih smo analizirali njihov okoljski vpliv »od zibelke do vrat«, po oddelkih proizvodnje v organizacijski shemi podjetja (oddelek 1, oddelek 2, oddelek 3 in oddelek 4). V analizo je bil vključen transport nabavljenih materialov od proizvajalca do podjetja, ogljične emisije nabavljenih materialov, poraba elektrike in energentov v proizvodnji, odpadki ter emisije, nastale pri proizvodnji določenega elementa. Podatki o materialih so bili enostopenjski - življenjske stopnje pred dobavo materiala nismo analizirali, njihova okoljska bremena so bila vključena prek pridobljenih emisijskih faktorjev ali iz obstoječih baz. Analiza ni vključevala bremen, povezanih z izdelavo opreme (npr. strojev, uporabljenih v proizvodnji), gradnje stavb (predvideva se, da so le-te obstoječe in njihov obstoj ni odvisen od proizvodnje izdelka) in poslovanja vključenih poslovnih subjektov (npr. poslovnih potovanj, ogrevanja poslovnih prostorov). Naročnik (BREST Pohištvo d.o.o.) je podal podatke iz svojih evidenc in ne direktno vzorčenih za potrebe analize. Porabo elektrike in vode, emisije škodljivih snovi pri proizvodnji izdelka in ogrevanje smo iz podatkov na letni ravni preračunali na delavne ure; masa izdelka je bila izračunana iz vhodnih in izhodnih materialov; za produkte in ko-produkte smo uporabili masno alokacijo. Potrebno je poudariti, da podjetje BREST Pohištvo

d.o.o. lesene stranske produkte proizvodnje uporabi za pridobivanje toplotne energije za lastne potrebe. Pri transportu smo kilometrino šteli enojno, ker smo upoštevali, da je bil transport v povratni vožnji polno izkoriščen.

Emisijske faktorje uporabljenih materialov, energentov, odpadkov in emisij smo pridobili iz baze podatkov Ecoinvent 2.0 (2010). Emisijske faktorje uporabljenih lakov, topil, razredčil in lužil smo določili na podlagi njihove sestave, podane v varnostnih listih, prav tako iz baze podatkov Ecoinvent 2.0. Deleži določenih sestavin (etil acetat, butil acetat, metil etil keton, metilklorid, metil difenil diizocianatno lepilo, 4-metil-2-pentanon, etanol, butanol, isobutil acetat, aceton) so v varnostnih listih navedeni v območjih, v študiji pa smo uporabili podane maksimalne deleže. Sestavine sredstev za površinsko obdelavo, ki jih nismo mogli razbrati iz varnostnih listov, smo obravnavali kot organska topila. Emisijske faktorje sestavin uporabljenih sredstev za površinsko obdelavo smo poiskali prek števil CAS (CAS No.) v bazi podatkov Ecoinvent 2.0 (2010).

Pri nekaterih materialih nismo upoštevali predelave na prvi stopnji. Na primer – kot vhodni material za kovinska vodila smo vzeli emisijske vrednosti, povezane s pridelavo kovine, ne pa tudi s predelavo kovine v vodilo. Podobno velja za papirne etikete in navodila (tiskanje ni vključeno), lepila in lake. Iz analize smo izključili tudi materiale, ki so po masi zanemarljivo majhni (<1 %). Predvidevamo, da je vpliv teh poenostavitev zanemarljiv.

Delež okoljskega bremena, ki odpade na ko-produkte, je bil ugotovljen na podlagi masne alokacije in bil odpisan od bremena izdelka, saj je v projektu MFP predvidena ponovna uporaba (reciklaža) stranskih produktov proizvodnje ali pa vsaj njihova uporaba za pridobivanje energije iz obnovljivega vira. Les je lahko vir energije iz obnovljivega vira, ki ima nevtralno bilanco CO₂ (Potters et al., 2010).

2.2.3. Pridobivanje podatkov

Pridobivanje podatkov in sestava baze podatkov je osnova analize LCA in tudi najbolj dolgotrajen proces. Vir kvalitativnih podatkov (preglednica 1) je bilo podjetje BREST Pohištvo d.o.o., medtem ko smo emisijske faktorje, povezane z uporabljenimi materiali in energetskimi potrebami pridobili v podjetju ILTRA d.o.o. iz baze podatkov Ecoinvent 2.0 (2010).

2.2.4. Modeliranje

Modeliranje je potekalo s programsko opremo Simapro (SimaPro Analyst Indefinite, Ecoinvent v2, Product Ecology Consultants, PEC, Nizozemska), ki omogoča poenostavljeno natančno sledenje vsem materialnim tokovom skozi življenjski cikel ter dosledno klasifikacijo in kategorizacijo podatkov. Ogljični odtis smo določili z metodo IPCC 2001 GWP 100a V1.02 (Climate Change, 2001). Skladiščenje

Preglednica 1. Seznam kvalitativnih podatkov za analizo LCA

Sklop	Podatek
Masna bilanca uporabljenih materialov	Masa končnega izdelka
	Masa posameznih materialov, uporabljenih v izdelku
	Vir posameznih materialov
	Masa odpadnega materiala
	Masa in ekonomska vrednost ko-produktov (ki so možni na več nivojih)
Energija	Poraba električne energije na izdelek
	Poraba goriv (dizel, kurilno olje, bencin, les itd.) na izdelek
Voda	Poraba vode na izdelek (pitna voda in tehnična voda)
	Količina odpadne vode na izdelek in ravnanje z njo
	Morebitni obstoj čistilne naprave v okviru produkcijskega obrata
	Emisije polutantov v vode (tip in količine) na izdelek
Drugi odpadki in emisije	Emisije polutantov v zrak (tip in količine polutantov) na izdelek
	Ostali odpadni material, povezan s proizvodnimi procesi, npr: filtri, pepel itd.
Transport	Tip transportnih vozil za dovoz materialov ter razvoz izdelkov
	Razdalje
	Delež vozila, ki je neizkoriščen (prazen) in delež neizkoriščene povratne vožnje
Embalaza	Teža in tip materiala za zaščito in embalažo

ekvivalentov CO₂ smo izračunali na podlagi mase lesa v izdelku po metodologiji Koltun and Tharumarajah (2009).

3. REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1. ANALIZA IN VREDNOTENJE

V izračun ogljičnega odtisa so poleg CO₂ vključeni tudi drugi toplogredni plini – metan CH₄, dušikov oksid N₂O in klorofloroogljikovodiki (CFC). Ti so sicer veliko močnejši toplogredni plini od CO₂, vendar se jih splošno proizvede količinsko veliko manj, zato so njihove emisije preračunane na ekvivalentno količino CO₂ (CO₂e) (Le Treut et al. 2007).

Poleg ogljičnega odtisa smo določili tudi oceno ekvivalenta CO₂ skladiščenega v vsakem elementu dnevne sobe TINA. Les, ki je glavni material izdelka, nastaja z biološkimi procesi, ki iz atmosfere vežejo CO₂ (fotosinteza). Dokler se ogljik (organska snov), vezan v organskih molekulah v izdelku, z izgorevanjem ali razkrojem ne pretvori nazaj v CO₂ in vodo, štejemo, da je CO₂ skladiščen v izdelku. Zavedati pa se moramo, da to velja za ves čas rabe izdelka, začeni s prodajo, do katere je ogljični odtis v tej študiji izračunan – končna usoda skladiščenega ogljikovega dioksida je odvisna od ravnanja z izdelkom ob koncu dobe uporabe. Če izdelek ostane v rabi ali ponovni izrabi več kot sto let, se šteje, da je njegova proizvodnja zmanjšala emisije za količino skladiščenega ekvivalenta CO₂ (PAS 2050, 2008).

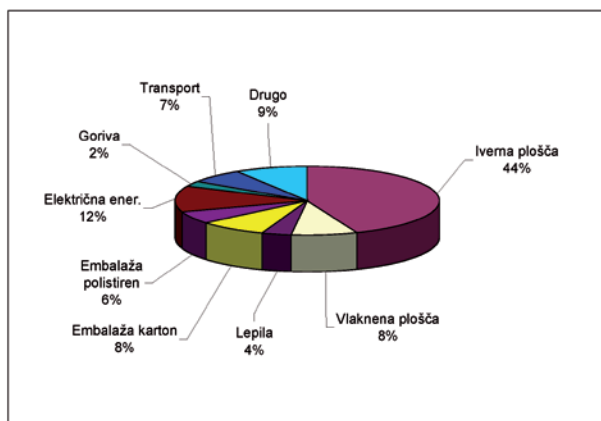
Ogljični odtisi in količine skladiščenega ekvivalenta CO₂ v analiziranih elementih so razvidni v preglednici 2. Pri elementih, katerih ogljični odtis je višji od skladiščenega ekvivalenta CO₂, se ob proizvodnji v okolje emitira večja količina toplogrednih plinov kot je v izdelku uskladiščenih ekvivalentov CO₂. Pri nekaterih elementih dnevne sobe TINA je razlog za večje emisije toplogrednih plinov uporaba stekla in kovin.

Pretežno enostavni leseni elementi, kjer prevladuje uporaba iverne plošče (element »stranica«, slika 2) – Pri elementih, kjer je iverna plošča po masi prevladujoči material, ima

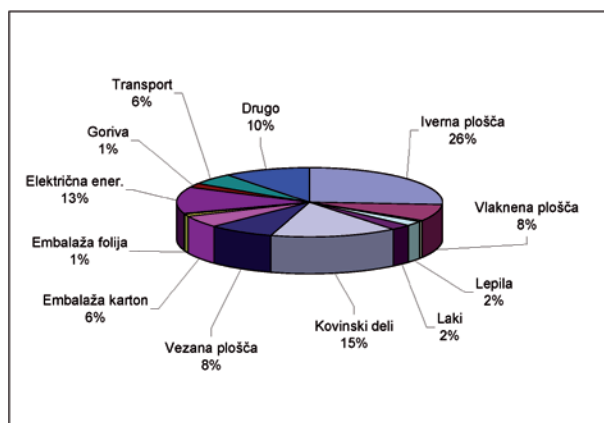
Preglednica 2. Ogljični odtis in količina skladiščenega ekvivalenta CO₂ posameznih elementov dnevne sobe TINA

Izdelek - element	Ogljični odtis [kg CO ₂ e]	Količina skladiščenega CO ₂ v elementu [kg CO ₂ e]
Stranica	32,4	69,4
Element s predali	42,9	69,4
Omarica s steklenimi vrati	19,5	5,86

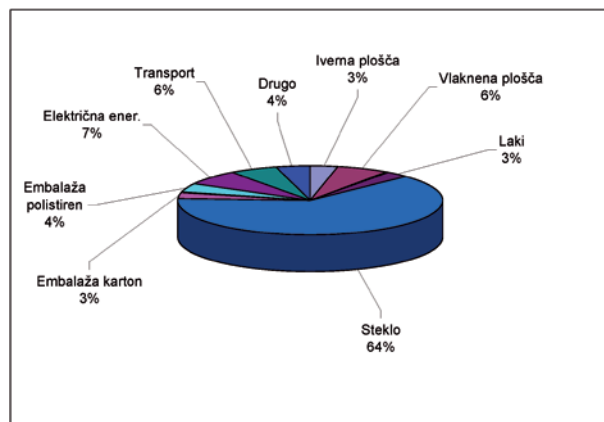
ta tudi največji prispevek k ogljičnemu odtisu. Razlog za velik prispevek je uporaba urea-formaldehidnih smol ter relativno velika poraba energije pri izdelavi plošče. Velik prispevek k ogljičnemu odtisu izdelka imajo tudi lepi-



Slika 2. Prispevek virov emisij k ogljičnemu odtisu elementa »stranica«



Slika 3. Prispevek virov emisij k ogljičnemu odtisu elementa »element s predali«



Slika 4. Prispevek virov emisij k ogljičnemu odtisu elementa »omarica s steklenimi vrati«

la, čeprav jih za izdelavo izdelka porabijo relativno malo (masa lepila glede na skupno maso), saj imajo velik emisijski faktor. Poraba elektrike pri proizvodnji izdelka prispeva manjši delež, uporaba drugih energentov pa je z vidika ogljičnega odtisa izdelka zanemarljiva. Prispevek emisij zaradi porabe toplotne energije je relativno majhen, saj ima uporaba lesnih ostankov kot goriva nizek emisijski faktor (v podjetju BREST lesene stranske produkte proizvodnje uporabijo za pridobivanje toplotne energije).

Pretežno leseni elementi s kovinskimi deli (element »element s predali«, slika 3) – Kovinski deli imajo zelo visok emisijski faktor in zato prispevajo relativno veliko k odtisu, kljub v primerjavi z lesom manjši masi uporabljenega materiala. Emisije, povezane s proizvodnjo izdelka/elementa, so višje od v lesu skladiščenega ekvivalenta CO₂.

Pretežno stekleni elementi (element »omarica s steklenimi vrati« slika 4) – Steklo ima neprimerljivo višji emisijski faktor od lesa, zato imajo pretežno stekleni elementi višji odtis glede na maso od lesenih. Steklo prispeva večji delež k odtisu, tudi v elementih, kjer po masi prevladuje iverna plošča. Delež skladiščenega ogljika je seveda manjši, saj je ogljik skladiščen le v lesenih delih. Emisije, povezane s proizvodnjo, so tako pri steklenih in kombiniranih elementih tipično višje od v izdelku skladiščenega ekvivalenta CO₂.

3.2. PRILOŽNOSTI ZA ZNIŽANJE ODTISA

Analiza LCA je pokazala, da samo delovanje obrata in z njim neposredno povezane emisije (npr. poraba toplote, poraba vode, nastali odpadki, odpadne vode in emisije) k ogljičnemu odtisu elementa prispevajo presenetljivo malo v primerjavi z vhodnimi materiali (preglednica 3). Največja priložnost za zmanjšanje ogljičnega odtisa je tako v preiščeni izbiri okolju prijaznih nabavnih materialov, predvsem lepil in lesnih plošč. Analiza je tudi pokazala, da bi izbira naravnih materialov iz obnovljivega vira bistveno pripomogla k znižanju ogljičnega odtisa izdelkov pohištvene industrije. Enaka ugotovitev velja za embalažo izdelkov, saj se je izkazalo, da predvsem uporaba polistirena bistveno poveča ogljični odtis izdelka. Zato je možnost za zmanjšanje emisij v zmanjšanju količine embalaže in, tako kot pri pohištvu, v uporabi naravnih materialov iz obnovljivega vira.

4. ZAKLJUČEK

S strateško povezavo projektnih partnerjev v okviru projekta so si podjetja ustvarila priložnost za povečanje konkurenčne prednosti z zagotavljanjem višje kakovosti in pridobitve novih znanj. S skrbnim načrtovanjem in vrednotenjem okoljskih vplivov materialov, izdelkov in tehnologij so projektni partnerji pristopili k trajnostnemu razvoju z vzporednim vrednotenjem okoljskih vplivov

Preglednica 3. Analiza prispevka k odtisu po kategorijah virov emisij

	Vhodni materiali [%]	Embalaža [%]	Električna ener. [%]	Goriva [%]	Transport [%]	Drugo [%]
Stranica	62,6	11,5	11,7	1,8	5,5	6,9
Element s predali	69,6	6,8	3,8	1,7	5,6	12,4
Omarica s steklenimi vrati	73,2	6,8	7,4	0,1	5,7	6,8

pri razvoju novih materialov in izdelkov ter novih proizvodnih procesov na podlagi izdelanih analiz. S tržno promocijo okolju prijaznih izdelkov bodo nedvomno povečali njihovo privlačnost in odmevnost ter nenazadnje prispevali k boju proti onesnaževanju okolja in podnebnim spremembam.

V ILTRA bomo v okviru projekta pridobljeno znanje objektivnega vrednotenja vplivov na okolje poskušali prenesti na čim večji del slovenske lesne industrije, saj so vsi svetovni trendi razvoja industrij usmerjeni k zniževanju vplivov na okolje in s tem k trajnostnemu razvoju. Zato je za uspeh slovenske lesne industrije pomembno, da se pripravi ne le na bodoče regulatorne zahteve s področja varstva okolja, ampak tudi na vedno večjo okoljsko osveščenost kupcev, ter nastopi na trgu z izdelki z minimalnim vplivom na okolje. Upoštevanje tega kriterija mora zato biti ključni element pri razvoju novih inovativnih izdelkov, novih materialov, temelječih na lesu ali drugih surovinah, novih konstrukcijskih rešitvah, itd. Zgolj razvoj v smeri izdelkov z minimalnim okoljskim vplivom z na trajnostnem razvoju temelječo osnovo bo omogočil prodor in ohranitev konkurenčnosti podjetij na trgu.

ZAHVALA

Predstavljeno raziskavo je sofinanciralo podjetje BREST Pohištvo d.o.o. Cerknica in Ministrstvo za gospodarstvo. Opravljena je bila v okviru raziskovalno-razvojnega-investicijskega projekta Multifunkcionalno pohištvo - inovativne produktne enote bivanjskih prostorov prihodnosti (RIP09 MFP), ki je sofinanciran iz programa neposrednih spodbud za skupne razvojne investicijske projekte - RIP 09.

REFERENCE

1. **Climate Change (2001)** IPCC Third Assessment Report. The Scientific Basis. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/ (03.05.2010).
2. **Das Gupta J. (2009)** Eco Indicators on every product. <http://the-greentake.wordpress.com/2009/11/30/eco-indicators-on-every-product/> (27.12.2010).
3. **Ecoinvent 2.0 (2010)** Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Švica.
4. **ISO 14040 (2006)** Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework.
5. **ISO 14044 (2006)** Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.
6. **Koltun P., Tharumarajah A. (2009)** Carbon balance in wood products. The 6th Australian Conference on Life Cycle Assessment, 16-19/02/2009, Melbourne, Australia. www.csiro.au (20.04.2010)
7. **Le Treut H., Somerville R., Cubasch U., Ding Y., Mauritzen C., Mokssit A., Peterson T., Prather M. (2007)** Historical Overview of Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
8. **PAS 2050 (2008)** Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.
9. **Potters G., Van Goethem D., Schutte F. (2010)** Promising Biofuel Resources: Lignocellulose and Algae. Nature Education 3(9):14.
10. **PRé Consultants (2010)** Impact assessment methods. http://www.pre.nl/simapro/impact_assessment_methods.htm#EP97
11. **Simapro (2009)** SimaPro Analyst Indefinite, Ecoinvent v2, Product Ecology Consultants, PEC, Nizozemska www.pre.nl/default.htm

ANALITIČNO VREDNOTENJE LESENIH OKEN Z UPORABO AHP IN QFD METODE

Analytical evaluation of wooden windows by using AHP
and QFD method

Povzetek: V članku je predstavljena analiza pomembnosti različnih dejavnikov pri izdelavi in prodaji lesenih oken tako s strani kupcev, kot tudi s strani strokovnjakov. V ta namen smo uporabili dve metodi: analitični hierarhični proces (AHP) in razvoj funkcije kakovosti (QFD). Po AHP metodi je najpomembnejši tehnični dejavnik pri lesenih oknih vrsta zasteklitve, sledijo ji površinska obdelava, tipi oken in lesna vrsta, ki imajo podobno težo. Pri QFD se je kot najpomembnejši dejavnik izkazala površinska obdelava, ki ji sledi vrsta zasteklitve. Primerjava rezultatov kaže, da sta obe metodi dali podobne rezultate, saj je razlika le pri prvih dveh dejavnikih (površinska obdelava in vrsta zasteklitve), medtem ko so ostali dejavniki enako razporejeni.

Gljučne besede: lesena okna, analitični hierarhični proces, razvoj funkcije kakovosti

Abstract: This paper presents an analysis of the importance of different factors in the production and sale of wooden windows, from customers and as well as from professionals point of view. We used two methods: analytic hierarchy process (AHP) and quality function deployment (QFD). According to the AHP method the most important technical factor of wooden windows is type of glass, followed by three factors that have similar weights: surface finishes, types of windows and wood species used. By QFD the most important factor is surface finishes, which is followed by type of glass. The comparison of the results obtained by both methods shows differences only at the two most important factors (surface finishes and type of glass), while for other factors, results are similar.

Key words: wooden windows, analytic hierarchy process, quality function deployment

1. UVOD

V zadnjem času se delež uporabe PVC profilov za stavbno pohištvo v Sloveniji zelo povečuje. Pod stavbno pohištvo sicer spada širok nabor izdelkov, s katerimi opremimo stavbo v končni fazi gradnje: notranja in zunanja vrata, okna, polkna, rolete, montažne stene in stopnice. V raziskavi smo se osredotočili na okna. V letu 2010 je bilo 40 % nepovratnih sredstev, ki jih slovenski Eko sklad namenja za zamenjavo zunanjega stavbnega pohištva, porabljenih za novo stavbno pohištvo, izdelano iz PVC profilov (EKO

sklad, 2010). V letošnjem letu (2011) Eko sklad, z namenom spodbujanja vgradnje naravnih materialov, sredstva namenja samo za zamenjavo starih z lesenimi okni.

Na področju vgradnje oken v nove stavbe trenutno ni nobenega predpisa, ki bi spodbujal vgrajevanje lesenih oken, tako morajo proizvajalci sami s kakovostnimi izdelki (lesena okna) prepričati kupce k taki izbiri. Z raziskavo smo želeli ugotoviti, kateri in kako pomembni so dejavniki pri izdelavi in prodaji lesenih oken. Pri tem nas je zanimalo, kaj o tem menijo kupci in kaj strokovnjaki s področja lesarstva.

Razvrščanje dejavnikov spada na področje večkriterijskega odločanja (Belton in Stewart, 2002), kjer smo izmed več metod izbrali analitični hierarhični proces (AHP) (Saaty, 1980). AHP nudi hierarhično strukturo modela, sama

* dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: matej.jost@bf.uni-lj.si

** mag., Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: petra.groselj@bf.uni-lj.si

metoda pa je kljub močnim matematičnim temeljem, kar dela njene rezultate zanesljive, enostavna za uporabo. Poleg tega je zelo prilagodljiva in omogoča, da upoštevamo tako empirične podatke kot subjektivne ocene, pa tudi nedoločenost in nemerljivost posameznih kriterijev, ter s tem zajamemo vso kompleksnost realnih večkriterijskih problemov. Metoda je bila uporabljena tudi v številnih aplikacijah na različnih področjih (Vaidya in Kumar, 2006).

Kot pomoč pri razvoju in načrtovanju novih izdelkov ali pri izboljšanju že obstoječih, pri analiziranju potreb kupcev in odločanju o najprimernejših strategijah se uporablja tudi metoda razvoja funkcije kakovosti (QFD) (Chan in Wu, 2002). Ta omogoča pretvorbo mnenj, želja in potreb kupcev v bolj inženirski jezik tehničnih karakteristik in specifikacij (Akao in Mazur, 2003).

Obe metodi sta bili že večkrat kombinirani z uporabo drugih metod in tudi med seboj (Andronikidis in sod., 2009; Ho, 2008; Kamvys in sod., 2010; Mayyas in sod., 2011).

2. METODE

2.1. AHP

Pri metodi AHP najprej zgradimo hierarhično drevo, ki ima na vrhu izbrani cilj, pod njim so kriteriji in podkriteriji, na dnu pa alternative. Osnova AHP so primerjave parov na istem nivoju glede na elemente, ki so višje v hierarhiji (Saaty, 2006). Pri parnih primerjavah uporabljamo 9-stopenjsko lestvico (Preglednica 1).

Inverzni primerjavi priredimo obratno vrednost, vse primerjave pa zapišemo v matriko parnih primerjav A . Vektor uteži w izračunamo iz matrike A z metodo lastnih vektorjev (Saaty, 2006):

$$Aw = \lambda_{\max} w, \quad (1)$$

kjer je $\lambda_{\max}$ največja lastna vrednost matrike A . Praksa kaže, da parne primerjave niso popolnoma konsistentne. Nekonsistentnost je sprejemljiva, če je konsistentni količnik (CR) manjši od 0,1. Za matriko parnih primerjav A izračunamo CR_A kot razmerje med konsistentnim indeksom (CI_A)

matrike A :

$$CI_A = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (2)$$

kjer je n red matrike A , in povprečnim indeksom (RI) vseh matrik reda n :

$$CR_A = \frac{CI_A}{RI}. \quad (3)$$

2.2. QFD

Metoda QFD poteka v več korakih (Chan in Wu, 2005). Najprej je potrebno ugotoviti, kdo so potencialni kupci in kakšne so njihove potrebe ter določiti kriterije, ki so pomembni za kupce. Kupci v naslednjem koraku ocenijo kriterije. Zatem izberemo dejavnike, ki določajo tehnične lastnosti produkta in raziščemo, kakšne in kako močne so povezave med kriteriji kupcev in tehničnimi dejavniki. Sledi ugotavljanje povezav med tehničnimi dejavniki, ki jih zapišemo v korelacijsko matriko. Končne uteži, ki povedo, kako pomembni so tehnični dejavniki za kupce, izračunamo kot vsoto produktov ocen kriterijev in moči povezave s posameznim tehničnim dejavnikom po vseh kriterijih za vsak tehnični dejavnik posebej. Vse dobljene rezultate predstavimo v hiši kakovosti.

Pri naši raziskavi smo najprej s pomočjo strokovnjakov določili kriterije, za katere smo menili, da so pomembni kupcem pri izbiri oken. Izbrali smo naslednje kriterije: cena, vrsta materiala za okenski profil, toplotna prehodnost (celotno okno; tudi zrakotesnost), izgled okna, prepoznavnost (reference) proizvajalca, slovensko poreklo, rok dobave, garancija. Zatem smo določili tehnične dejavnike, ki vplivajo na to, kakšna bodo izdelana lesena okna. Izbrani tehnični dejavniki so: predpisi za gradnjo (PURES – UL, 2010), uporabljena lesna vrsta, površinska obdelava, vrsta zasteklitve (izolativna, varnostna, refleksna ...), okovje, tipi oken (enokrilno, dvokrilno, zaokroženo ...). Dobljeni kriteriji kupcev in tehnični dejavniki so bili osnova za AHP model in hišo kakovosti za metodo QFD.

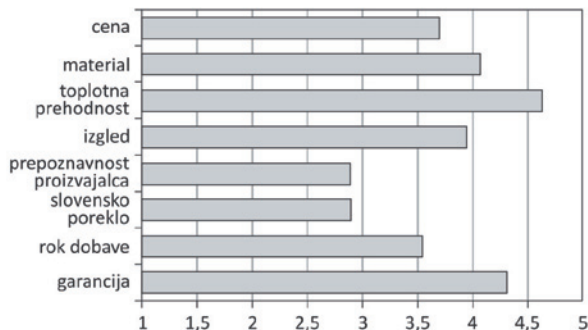
Glas kupcev oziroma razvrstitev kriterijev kupcev smo dobili z anketiranjem obiskovalcev sejma pohištva - Ambient Ljubljana (od 9. do 14. 11. 2010). Vzorec je bil velikosti $n = 183$. Kriterije so anketiranci ocenjevali s pomočjo 5-stopenjske Likertove lestvice. Za primerjavo ocen kriterijev med anketiranci, ki so prišli na sejem z namenom, da bodo v bližnji prihodnosti kupili nova okna, in ostalimi anketiranci smo uporabili t-test za povprečja. Statistično obdelavo smo naredili s pomočjo računalniškega programa SPSS.

Preglednica 1. Lestvica parnih primerjav

vrednost	definicija
1	kriterija i in j sta enako pomembna
3	kriterij i je nekoliko pomembnejši od j
5	kriterij i je precej pomembnejši od j
7	kriterij i je močno pomembnejši od j
9	kriterij i je ekstremno pomembnejši od j
2, 4, 6, 8	vmesne vrednosti

3. REZULTATI IN RAZPRAVA

Najprej smo izračunali povprečne ocene kriterijev kupcev, ki smo jih dobili z anketiranjem. Izračunana povprečja za vsak kriterij prikazuje Slika 1.



Slika 1. Povprečna ocena kriterijev kupcev pri izbiri novih oken

Rezultati kažejo, da je ljudem najpomembnejša toplotna prehodnost oken, sledi ji garancija, ki jo podjetje nudi za okna. Na tretjem mestu po pomembnosti je material, iz katerega so izdelana okna, zatem pa izgled oken. Cena pri izbiri oken ne igra najpomembnejše vloge, saj jo najdemo šele na petem mestu. Na šestem mestu je dolžina roka dobave. Najmanj pomembna kriterija sta prepoznavnost proizvajalca in slovensko poreklo, ki imata kljub vsemu oceno skoraj 3. V nadaljnji raziskavi smo ta dva kriterija združili v enega samega: proizvajalec.

Primerjava v razvrstitvi kriterijev med tistimi anketiranci, ki so prišli na sejem za namenom, da bodo v bližnji prihodnosti kupili nova okna ($n_1 = 17$), in ostalimi ($n_1 = 166$), je pokazala, da pri nobenem kriteriju ni statistično značilnih razlik v ocenah.

Zatem smo zgradili hierarhični model, na katerem temelji metoda AHP (Slika 2). V AHP modelu smo parno primerjali tehnične dejavnike glede na kriterije, ki so pomembni kupcem pri izbiri oken. Enačba (4) prikazuje matriko parnih primerjav, kjer smo ugotavljali, kateri dejavnik ima večji vpliv na ceno lesenih oken, in njen konsistentni količnik.

$$\begin{matrix} & s & m & p & z & o & i \\ \begin{matrix} s \\ m \\ p \\ z \\ o \\ i \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 2 & 1 & 2 & \frac{1}{2} & 2 & \frac{1}{2} \\ 3 & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{2} & 2 & \frac{1}{2} \\ 4 & 2 & 2 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{2} \\ 2 & 2 & 2 & \frac{1}{3} & 2 & 1 \end{bmatrix} & , CR = 0,051 \end{matrix} \quad (4)$$

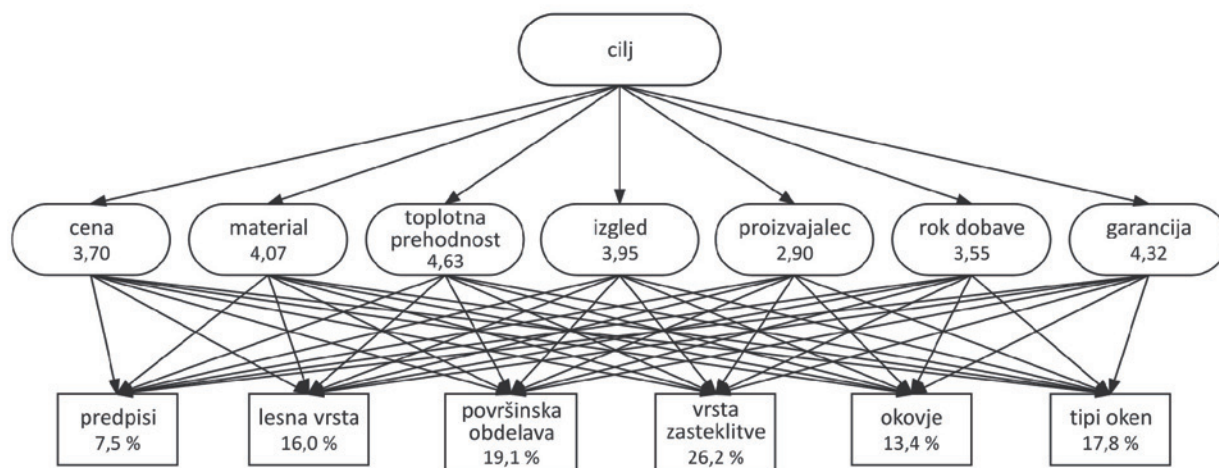
Pri matrikah parnih primerjav smo pazili, da so vse matrike sprejemljive nekonsistentnosti, sicer smo najbolj nekonsistentne ocene še enkrat preverili in ustrezno prilagodili. Za vsako matriko parnih primerjav smo s pomočjo enačbe (1) izračunali vektor uteži $w_k = (w_{1k}, \dots, w_{6k})$. Vse vektorje uteži prikazujejo vrstice Preglednice 2.

Rezultati kažejo, da na ceno najbolj vpliva vrsta zasteklitve. Vrsta lesa, zasteklitve in okovja določa, kakšen material bo vgrajen v okna. Toplotna prehodnost je najbolj odvisna od vrste zasteklitve. Na izgled ima največji vpliv izbrani tip oken in površinska obdelava. Izbira proizvajalca oziroma njegov ugled med kupci je najbolj odvisen od površinske obdelave. Na rok dobave najbolj vplivajo število različnih tipov oken, število različnih vrst lesa, iz katerega so izdelana okna ter površinska obdelava. Na garancijo pa ima največji vpliv okovje, površinska obdelava in vrsta zasteklitve.

Končne uteži w_i za tehnične dejavnike smo dobili z uteženo vsoto (5) vseh uteži w_{ik} za izbrani dejavnik i , kjer so uteži u_k povprečne ocene kriterijev, ki smo jih dobili z anketiranjem kupcev (Slika 1):

Preglednica 2. Vektorji uteži za tehnične dejavnike glede na kriterije, ki so pomembni kupcem pri izbiri oken

	predpisi	lesna vrsta	površinska obdelava	vrsta zasteklitve	okovje	tipi oken
cena	6,8 %	16,7 %	14,2 %	31,9 %	10,3 %	20,1 %
material	4,4 %	30,0 %	11,1 %	29,4 %	14,8 %	10,2 %
toplotna prehodnost	17,6 %	6,0 %	5,6 %	53,5 %	11,5 %	5,7 %
izgled	3,3 %	17,8 %	25,8 %	7,8 %	5,5 %	39,8 %
proizvajalec	3,7 %	11,8 %	40,7 %	23,2 %	11,4 %	9,1 %
rok dobave	3,6 %	25,2 %	18,9 %	12,4 %	6,0 %	34,0 %
garancija	9,7 %	6,4 %	25,0 %	19,4 %	31,5 %	8,1 %



Slika 2. AHP model s hierarhijo cilja, kriterijev kupcev z njihovimi ocenami pomembnosti in s tehničnimi dejavniki s končnimi uteži za razvrstitev

$$w_i = \sum_{k=1}^7 w_{ik} u_k \quad (5)$$

Odločitveno drevo s povprečnimi ocenami kriterijev u_k , $k = 1, \dots, 7$, in s končnimi uteži w_i , $i = 1, \dots, 6$, za tehnične dejavnike prikazuje Slika 2.

Po AHP metodi je najpomembnejši tehnični dejavnik vrsta zasteklitve, ki po odstotkih precej odstopa od ostalih dejavnikov. Sledijo površinska obdelava, tipi oken in lesna vrsta, ki imajo precej podobne vrednosti v odstotkih. Na petem mestu je okovje. Pričakovano na zadnjem mestu je dejavnik predpisi, ki je osnova, ki se je mora izdelovalec držati, nima pa dodane vrednosti.

Pri QFD metodi smo najprej določali, kako močna je povezava med posameznimi tehničnimi dejavniki in kriteriji, ki so pomembni kupcem. Uporabili smo ocene: 9 za močno povezavo, 4 za srednje močno in 1 za šibko povezanost. Rezultati so zapisani v hiši kakovosti v osrednjem delu (Slika 3). Ugotavljali smo tudi, kako tehnični dejavniki vplivajo drug na drugega. Uporabili smo ocene: 2 za močno povezavo in 1 za šibko. Rezultate najdemo v korelacijski matriki, ki predstavlja streho hiše kakovosti (Slika 3). Končne uteži za tehnične dejavnike so izračunane v zadnjih dveh vrsticah hiše kakovosti (Slika 3).

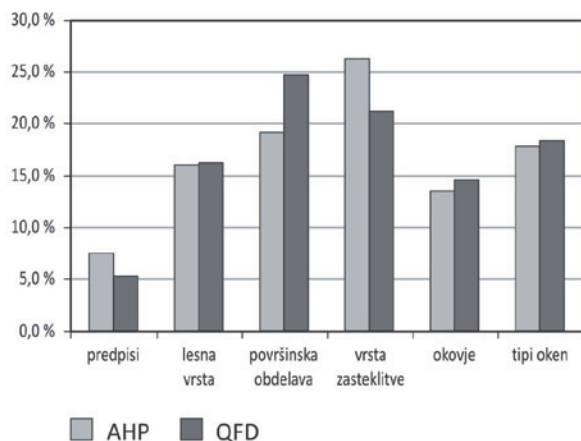
Po QFD metodi je najpomembnejši tehnični dejavnik površinska obdelava, ki mu sledi vrsta zasteklitve. Razlika v odstotkih ni velika. Na tretjem mestu so tipi oken, zatem pa lesna vrsta in okovje. Najmanj pomemben dejavnik so predpisi.

Za konec smo primerjali končne uteži, dobljene z metodo AHP in QFD. Primerjavo kaže graf na Sliki 4.

		✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓					
	Glas kupcev	Predpisi	Lesna vrsta	Površinska obdelava	Vrsta zasteklitve	Okovje	Tipi oken
Cena	3,70	●	○	●	●	●	●
Material	4,07		●	●	●	●	●
Toplotna prehodnost	4,63	○	●	●	●	○	
Izgled	3,95		●	●	○		●
Proizvajalec	2,90		○	●		○	
Rok dobave	3,55		○	●	○		●
Garancija	4,32	○	●	○	○	●	
Uteži		39,5	121,7	185,4	158,9	109,3	137,5
Uteži v %		5,3	16,2	24,6	21,1	14,5	18,3

● močna - 9 ○ srednja - 4 ● šibka - 1
 ✓ močna - 2 ✓ šibka - 1

Slika 3. Hiša kakovosti za problem izbire oken



Slika 4. Primerjava uteži za tehnične dejavnike, dobljene z metodo AHP in QFD

Opazna je le razlika med najpomembnejšima tehničnima dejavnikoma: površinsko obdelavo in zasteklitvijo. Po AHP metodi je najpomembnejši dejavnik zasteklitve, po QFD pa površinska obdelava. Podrobnejši pregled izračunov pokaže, da ima pri obeh metodah površinska obdelava večjo povezanost oziroma večji vpliv na kriterije izgled, proizvodnjo in rok dobave; vrsta zasteklitve pa večji vpliv na toplotno prehodnost. Pri kriterijih cena, material in garancija imata po metodi QFD oba dejavnika enako velik vpliv, po metodi AHP pa ima zasteklitve večji vpliv na ceno in material, površinska obdelava pa na garancijo. Te razlike privedejo do razlik v končnih utežeh. Ostali dejavniki so pri obeh metodah enako razvrščeni in tudi uteži imajo zelo podobne vrednosti.

4. SKLEP

Ugotovili smo, da je pri načrtovanju lesenih oken smiselno upoštevati, kateri kriteriji so pomembni potencialnim kupcem, ter kako so ti kriteriji povezani s tehničnimi dejavniki, ki vplivajo na izdelavo lesenih oken. Za razvrstitev tehničnih dejavnikov po pomembnosti za kupca smo uporabili dve metodi. Metoda AHP je poznana kot metoda za določanje uteži in razporejanje dejavnikov ne glede na področje raziskovanja. Metoda QFD pa je metoda, ki se tipično uporablja pri načrtovanju in odločanju o novih izdelkih. Kljub različnemu ozadju sta dali obe metodi zelo podobne rezultate in jih s tem dodatno potrdili. V nadaljnjih raziskavah bomo uporabili še kombinacijo obeh metod, da bi s tem hkrati izkoristili močne strani obeh.

Rezultati kažejo, da bi morali proizvajalci lesenih oken največ pozornosti posvetiti izbiri vrste zasteklitve in površinski obdelavi. Seveda pa niso zanemarljivi tudi drugi dejavniki. Kupci si želijo čim večjo možnost individualne izbire oblike oziroma tipa oken, veliko izbiro lesnih vrst

za okna in kvalitetno okovje. Osnova vsega pa je seveda izpolnjevanje predpisov, ki so navedeni v Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES), ki opredeljuje mejne vrednosti za učinkovito rabo energije stavbe kot celote (UL, 2010).

LITERATURA

1. Akao Y., Mazur G.H. 2003. The leading edge in QFD: past, present and future. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 20(1):22-35.
2. Andronikidis A., Georgiou A.C., Gotzamani K., Kamvysi K. 2009. The application of quality function deployment in service quality management. *The TQM Journal*, 21(4):319-333.
3. Belton V., Stewart T.J. 2002. *Multiple Criteria Decision Analysis: An integrated approach*. Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.
4. Chan L.-K., Wu M.-L. 2002. Quality function deployment: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 143(3):463-497.
5. Chan L.-K., Wu M.-L. 2005. A systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example. *Omega*, 33(2):119-139.
6. DOI: 10.1016/j.matdes.2011.01.001.
7. Eko sklad 2010. Nepovratne spodbude le za lesena okna. Eko sklad, Slovenski okoljski javni sklad. http://www.ekosklad.si/pdf/Sporocila/Sporocilo_za_medije__lesena_okna.pdf
8. Ho W. 2008. Integrated analytic hierarchy process and its applications - A literature review. *European Journal of Operational Research*, 186(1):211-228.
9. Kamvysi K., Gotzamani K., Georgiou A.C., Andronikidis A. 2010. Integrating DEAHP and DEANP into the quality function deployment. *The TQM Journal*, 22(3):293-316.
10. Mayyas A., Shen Q., Mayyas A., Abdelhamid M., Shan D., Qattawi A., Omar M. 2011. Using Quality Function Deployment and Analytical Hierarchy Process for material selection of Body-In-White. *Materials & Design* In Press, Corrected Proof
11. Saaty T.L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
12. Saaty T.L. 2006. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. Pittsburgh: RWS Publications.
13. UL (2010) Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. 52/2010, 7840-7847
14. Vaidya O.S., Kumar S. 2006. Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1):1-29.

KEMIJSKA IN FIZIKALNA RAZGRADNJA VLAKEN IN PAPIRJA

Chemical and physical degradation of fibres and paper

Izvleček: Papir je izjemno občutljiv in zapleten sistem zamreženja, ki ga opredeljujejo surovine za pripravo papirne snovi (vlakna, delci vlaken in polnil) in postopek izdelave na papirnem stroju. Kemijske, fizikalne in mehanske lastnosti papirja so določene s kemijsko sestavo, strukturo, morfologijo in tehnološkimi postopki pridobivanja vlaken in papirja. Razgradnja celuloznih vlaken in papirja je definirana kot sprememba lastnosti v kemijski strukturi ali v fizikalnih lastnostih. Mehanizmi razgradnje vključujejo reakcije hidrolize in oksidacije, zamreženja in mikrobiološke razgradnje, mehansko-kemijske razgradnje in spremembe stopnje kristalinitosti. Kombinacija učinkovanja notranjih jakosti, medvlakenskih povezav in kemijskih reakcij zaradi učinkovanja zunanjih dejavnikov je osnovni vzrok množične razgradnje dokumentov na papirju. Na mehanizem staranja dokumentov na papirju vplivajo številne medsebojne reakcije med snovmi v papirju in njegovi okolici, ki se kažejo v poslabšanju kemijske obstojnosti, mehanske odpornosti, optičnih in barvno-metričnih lastnosti papirja in obstojnosti zapisa. S karakterizacijo papirja in dokumenta in testi naravnega in umetnega staranja lahko ugotovimo razliko v kakovosti papirja pri pripravi dokumenta za daljše časovno obdobje.

Ključne besede: celulozna vlakna, struktura papirja, mehanizmi kemijske in fizikalne razgradnje, trajnost papirja, obstojnost dokumenta, ohranjanje kulturne dediščine na papirju

Abstract: The paper is extremely sensitive and complex system of cross-linking, which depends on raw materials (fibres, fines, fillers) and the technological process of productions on paper machine. The chemical, physical and mechanical properties of paper are determined by chemical composition, structure, morphology, and technological means of fibres and paper. Degradation of cellulose fibres and paper is defined as a property change in chemical structure or physical characteristics. Mechanisms of degradation include hydrolysis and oxidation reactions, cross linking and microbial degradation, physical-chemical degradation and changes in crystalline. The combination effect of internal strength, the inter-fibre bonds and chemical reaction to external factors affect the underlying cause massive degradation of paper documents. On the mechanism of paper aging affecting a number of mutual reactions between substances in the paper and its surroundings, which are reflected in the deterioration of chemical stability, mechanical strength, optical and colorimetric properties of paper and stability of the record. The characterization of paper and documents, and tests of natural and artificial aging can see the difference in the quality of the paper to prepare a document for a longer period of time.

Keywords: cellulose fibre, paper structure, mechanisms of chemical and physical degradation, paper permanence, durability of documents, preservations of cultural heritage on paper

1. UVOD

Papir tudi v prihodnosti ostaja eden pomembnejših prenašalcev in nosilcev pisne, risane in tiskane kulturne dediščine. Vendar tudi papir ni večen, saj je izdelan iz nestabilnih organskih surovin in tako bolj ali manj podvržen staranju - njegove lastnosti so časovno spremen-

ljive, kakovost za uporabo je časovno omejena. Staranje dokumentov na papirju je hitrejše ali počasnejše, odvisno od kakovosti surovin, ki sestavljajo papir, od kakovosti surovin, ki sestavljajo zapis, od tehnologije izdelave nosilca in zapisa ter od načina uporabe in pogojev hranjenja vseh vrst gradiva. Zaščita pisne, tiskane in risane kulturne dediščine na papirju pomeni zelo kompleksno in široko problematiko o vplivu notranjih in zunanjih dejavnikov na staranje gradiva. Zahteva čim boljše sodelovanje vseh v procesu izdelave dokumenta, od proizvajalcev papirja in

* dr., univ. dipl. ing., Inštitut za celulozo in papir Ljubljana, Bogiščičeva 8, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, e-pošta: meta.cernic@icp-lj.si

grafične dejavnosti, do uporabnikov v arhivih, knjižnicah, muzejih [Črnič Letnar in sod.,1995].

Kakovostna razlika med posameznimi vrstami papirja je v celokupni surovinski sestavi in tehnoloških pogojih izdelave. Lastnosti današnjih vrst papirja so za nepoznavalca zelo podobne, toda ker so časovno spremenljive, je kakovost za uporabo omejena. Na mehanizem staranja dokumentov na papirju vplivajo številne medsebojne reakcije med snovmi v papirju in njegovi okolici, ki se kažejo predvsem v poslabšanju kemijske obstojnosti, mehanske odpornosti, optičnih in barvno-metričnih lastnosti papirja in obstojnosti zapisa. S karakterizacijo papirja in dokumenta in testi naravnega in umetnega staranja lahko ugotovimo razliko v kakovosti papirja pri pripravi dokumenta za daljše časovno obdobje [Zou in sod.,1996].

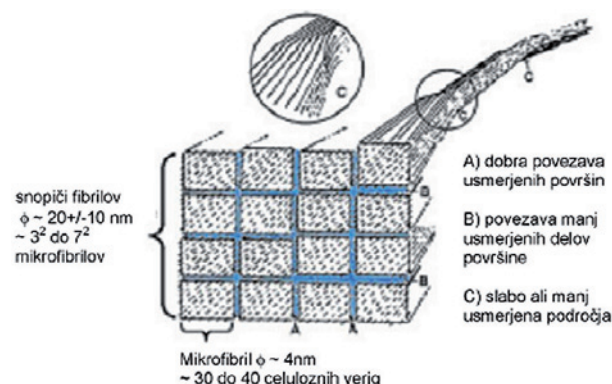
MORFOLOŠKA IN KEMIJSKA STRUKTURA VLAKEN IN PAPIRJA

Papir je izjemno občutljiv in zapleten sistem zamreženja, ki ga opredeljujejo surovine za pripravo papirne snovi (vlakna, delci vlaken in polnil) in postopek izdelave na papirnem stroju. Najpomembnejša surovina so vlaknine, ki jih razvrščamo po izvoru, kemični sestavi, lastnostih in namenu uporabe. Z izbiro vlaknin dosežemo želeno kakovost in uporabnost papirja. Morfologija vlaken se nanaša na obliko, strukturo in površinske značilnosti. Mehanske, fizikalne in kemijske lastnosti papirja so določene s kemijsko sestavo, strukturo, morfologijo in tehnološkimi postopki pridobivanja vlaken [Retulainen in sod.,1998, Črnič, 2008].

Rastlinska vlakna lesa in enoletnih rastlin nastanejo v naravi pri procesu fotosinteze. Celuloza, ki je v naravi najbolj razširjena organska spojina, predstavlja v rastlinah skeletno substanco, ki je sestavljena iz monosaharida β -D-glukoze, v katerega pri hidrolizi tudi razpade. Je naravni linearni polimer (polisaharid), sestavljen iz D-glukoznih enot. Iz α glukoze nastane škrob, iz β glukozne enote pa celuloza. Ta se v lesu in enoletnih rastlinah ne nahaja v čistem stanju, ampak jo spremljajo predvsem lignin in strukturno slične hemiceluloze, ki jih moramo v postopku pridobivanja celuloznih vlaknin odstraniti [Smook, 1982].

Naravna in kemična vlakna so po zgradbi polimeri, sestavljeni iz majhnih ponavljajočih se enot, monomerov. Primarna struktura polimerov je določena z vrsto in vrstnim redom monomerov. Atomi ogljika, vodika in kisika pri povezovanju oblikujejo enote β -D glukoze, ki se povezujejo v dolge neskončne verige molekule celuloze z dvema vrstama kemijskih vezi. Močna kovalentna vez povezuje molekule glukoze v celulozno verigo, medtem ko je vodikova vez pomembna pri povezovanju celuloznih verig

pri oblikovanju papirnega lista. V mehanizmu vezave so vključene tudi Van der Waalove vezi, ker pa je privlačnost med molekulami majhna, učinkujejo le na kratkih razdaljah. Verigo celuloznih molekul, ki sestoji iz 3000 do 5000 glukoznih enot in se oblikuje prek vodikovih vezi, pri povezovanju v plasti prek Van der Waalsovih sil, imenujejo *mikrofibrili*. Geometrija kratkih vezi C-H zmanjša razdaljo med plastmi, zato se jakost Van der Waalsovih sil močno poveča in je obratno sorazmerna 6-kratni jakosti medmolekulske razdalje [Bukošek, 1998, Wathen, 2006].



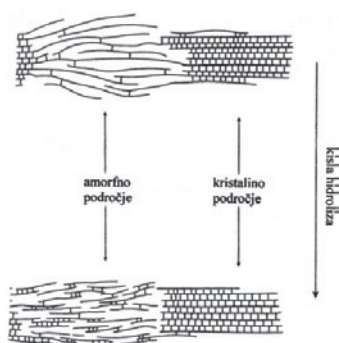
Slika 1. Shema polikristalne strukture celuloznega vlakna [Wathen, 2006]

Mikrofibrili imajo zelo dobro povezavo med seboj in med plastmi, vsaka nenatančnost v prvi stopnji povezave oziroma kristalitnosti (slika 1) vpliva na slabšo sposobnost povezovanja pri oblikovanju papirnega lista [Črnič, 2008, Wathen, 2006].

2. MEHANIZMI KEMIJSKE IN FIZIKALNE RAZGRADNJE VLAKEN IN PAPIRJA

Lastnosti celuloznih vlaken so odvisne od izvora, kemijske sestave, nadmolekulske strukture, morfologije in stopnje degradacije. Reakcija kemijske razgradnje poteka na vseh stopnjah nadmolekulske strukture, na obrobju kristalinskih področij in v amorfni področjih celuloznega polimera med miceli, v mikrofibrilu in v makrofibrilu znotraj celične stene. Stopnja poškodbe pri učinkovanju kisline, alkalij in ostalih kemičnih sredstev je odvisna od dostopnosti celulozne molekule v celični steni vlakna. Lignin, ki je hidrofobnega značaja, deluje kot zadrževalec, hemiceluloze pa zaradi hidrofilnih lastnosti pospešujejo sorpcijo vode in vodnih raztopin. Dostopnost celuloznih molekul za razgradnjo je v največji meri odvisna od razmerja med amorfni in kristalinski področji [Gurgunal in sod., 1986, Zou, 1996, Črnič, 2008].

Razgradnja celuloznih vlaken in papirja je definirana kot sprememba lastnosti v kemijski strukturi ali v fizikalnih la-



Slika 2. Sprememba kristalinitne strukture med amorfnimi in kristalinitnimi področji celuloznega vlakna pri kisli hidrolizi

stnostih. Na razgradnjo celuloze, hemiceluloze in lignina v kislih, alkalnih in oksidativnih pogojih vplivajo kemijski in fizikalno-kemijski mehanizmi učinkovanja. Mehanizme razgradnje na splošno delimo v reakcije hidrolize in oksidacije, zamreženja in mikrobiološke razgradnje, mehansko-kemijske razgradnje in spremembe stopnje kristalinitnosti. Kombinacija učinkovanja notranjih jakosti, medvlakenskih povezav in kemijskih reakcij zaradi učinkovanja zunanjih dejavnikov je osnovni vzrok množične razgradnje dokumentov na papirju [Wathen, 2006, Černič, 2008].

KISLA RAZGRADNJA

Naravna celulozna vlakna so sestavljena iz amorfnih delov (nekristalinitnih), odprtih za učinkovanje kemikalij, in kristalinitnih delov, ki imajo višjo gostoto in so bolj odporni proti učinkovanju razgradnih kemikalij. Celulozna vlakna so obstojna v nevtralnih in alkalnih pogojih in zelo občutljiva za kisline, ki najprej učinkujejo v amorfna področja, kjer hidroliza povzroči cepljenje glukozidne povezave, nato pa v kristalinitna področja. Na stopnjo hidrolize vpliva več dejavnikov: vrsta in koncentracija kisle snovi, vsebnost vlage, temperatura in število dostopnih mest za delovanje. Vodikovi ioni, ki povzročijo reakcije razgradnje, se ne vgradijo v kemijski mehanizem, ampak ostanejo reaktivni, dokler so na razpolago glukozne povezave za razkrajanje.

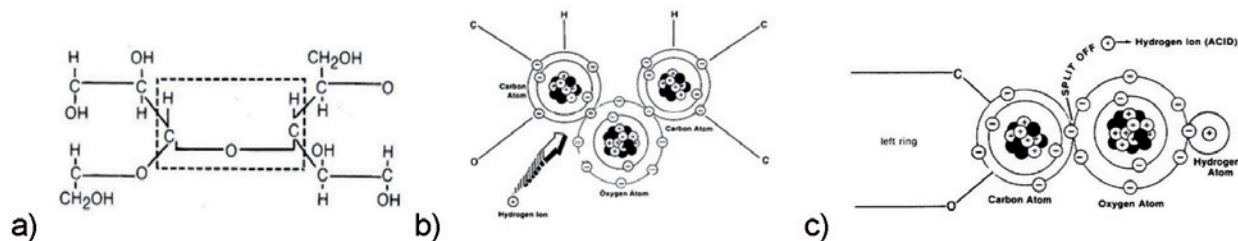
Območje hidrolitske razgradnje glukoznih vezi je odvisno od molekulske strukture celuloze in nadmolekulske strukture celuloznih vlaken. Rezultat hidrolitske razgradnje glukoznih povezav je zmanjšanje stopnje polimerizacije (SP), kar pomeni, da so mehanske lastnosti takšnih vlaken zelo slabe in neprimerne za oblikovanje papirnega lista. Povišanje kristalinitnosti je predvsem posledica razgradnje amorfnih delov celuloznega vlakna in vpliva na zmanjšanje fleksibilnosti vlaken, pri čemer papir postaja vedno bolj krhek [Černič, 2008].

Današnje vrste papirja vsebujejo poleg celuloznih vlaken številne dodatke, nečistoče in ostale manj obstojne polimerne snovi, ki povzročajo kislno razgradnjo. Povzročajo jo tudi kisle snovi in drugi onesnaževalci iz okolja. Razgradnja poteka po obrnjeni poti kot nastanek celuloznih vlaken in papirja. Kisle snovi učinkujejo na vezi, ki povezujejo glukozni obroč, celulozno verigo, mikrofibrile, snopiče in celotno vlakno in povzročajo njihovo razgradnjo (slika 3).

Prosti vodikov ion (kislina) prekine kovalentno povezavo, ko se celulozna veriga razkroji na manjše dolžine, postaja povezava vedno slabša. Ko razpade od pol do enega odstotka vezi, se na papirju in njegovi uporabi ne pozna veliko. Ko veriga razpade v manjše, vedno krajše delce, se zmanjšuje jakost vodikovih povezav, poveča se togost vlaken in zmanjša togost papirja. Tudi C-H vez na večji razdalji nima sposobnosti, da se povezuje v ravnini, ker se zaradi vedno slabših Van der Waalsovih vezi zmanjša medvlakenska povezava.

OKSIDACIJSKA RAZGRADNJA

Pri oksidacijski razgradnji celulozne molekule nastanejo karbonilne in karboksilne kisline. Če se sproščajo velike količine kisline, nastopi pojav hidrolize, ki vpliva na razgradnjo kovalentne povezave v celulozni verigi, na oblikovanje krajših verig in sproščanje vodikovih ionov. Hidrolizo celuloze pospešuje prisotnost oksidiranih skupin, zato prisotnost kovinskih ionov, kot so Fe in Mn, deluje kot katalizator oksidacijskega procesa pri pretvorbi žveplovega dioksida v žveplovo kislino. Tvorijo se razgradni produk-



Slika 3. Razgradnja celulozne verige: a) kovalentna vez povezuje dve glukozni enoti, b) vpliv učinkovanja kisline (H+) in c) prosti vodikov ion (H+) prekine kovalentno povezavo med enotami glukoze [Archival Papers, 2006].

ti hidrolize z nizko molsko maso, ki pospešujejo reakcije oksidacije. Preostanki lignina in ekstraktivnih snovi v vlaknih prispevajo k nastanku peroksida v postopku avto-oksidacije. Nizka aktivacijska energija pri reakciji pospeši nastanek novih radikalov, kar vodi do progresivne reakcije, ki se preko karbonilnih skupin prenaša po celotni verigi celuloze in vodi do popolne razgradnje vlakna.

VPLIV SVETLOBE – FOTOKEMIJSKA RAZGRADNJA

Najbolj pogosta fotokemična poškodba celuloznih vlaken je fotooksidacija, ki povzroča: a) cepljenje glukoznih vezi, kar vpliva na zmanjšanje SP in posredno na slabšanje mehanskih lastnosti, in b) oksidacijo stranskih hidroksilnih skupin, kar vpliva na spremembo barve in sorpcijskih sposobnosti. Najprej poteče v amorfni področjih in se širi v urejena, kristalinitna področja. Stopnja reakcije je odvisna od vrste in lastnosti celuloznih vlaken, intenzitete sevanja, temperature, prisotnosti vlage in katalizatorjev. Reakcija razgradnje poteka predvsem v amorfni področjih, poviša se stopnja kristalinitnosti vlaken, ki postanejo bolj toga in krhka. Celulozna vlakna z visoko vsebnostjo lignina so zelo občutljiva za fotokemijski razkroj, enako velja za razne nečistoče in barvila, ki pod vplivom svetlobe učinkujejo podobno kot lignin. Fotokemične reakcije na celuloznih vlaknih pospešujejo kisli pogoji, kot so zračni ozon, oksidativna belilna sredstva, prisotnost kovin in visoka vlažnost.

VPLIV TOPLOTE

Beljena ali poškodovana celulozna vlakna so zelo občutljiva za povišano temperaturo. Učinkovanje toplote vpliva na kemijsko spremembo hemiceluloze in lignina, ki vpliva na spremembe v barvi papirja. Prostoradikalna toplotna reakcija deluje podobno kot fotooksidacija, kjer pride do oksidacije stranskih hidroksilnih skupin in do cepljenja molekul. Rezultat je dehidracija in nastanek novih, kratkih vezi, ki vplivajo na nastanek zamreženih oblik, ki zmanjšujejo prožnost in povečujejo krhkost papirnega lista. Toplotni razkroj, podobno kot pri fotooksidaciji, pospešujeta prisotnost vlage in katalizatorjev.

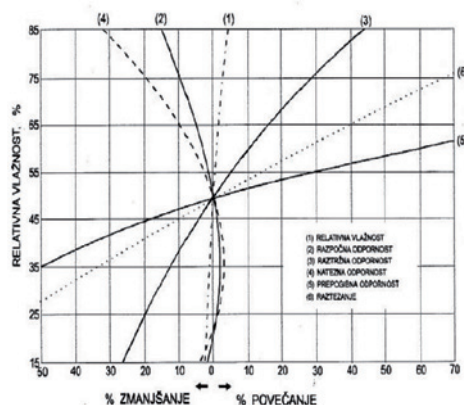
VPLIV VLAŽNOSTI NA BIOLOŠKO RAZGRADNJO

Relativna vlaga vpliva na spremembo vsebnosti vlage v papirju in je pomemben dejavnik pri razgradnji. Biološki razkroj celuloznih vlaken se prične v amorfni in se nato širi v kristalinitna področja. Najpogostejša reakcija je encimatska hidroliza glukozne povezave, ki pospešeno učinkuje v vlažnih pogojih. Večkrat jo spremlja tudi oksidacija, ker nekatere bakterije in mikroorganizmi med razgradnjo proizvajajo vodikov peroksid, ki pospešuje kisloto hidrolizo celuloznih vlaken.

VPLIV VLAŽNOSTI NA MEHANSKO RAZGRADNJO

Vlaknine in papir so higroskopi, ki se prilagajajo relativni vlažnosti okolice. Vsebnost relativne vlage v okolju ima velik vpliv predvsem na spremembo fizikalno-mehanskih lastnosti papirja, kot je prikazano na sliki 4.

Povišana vsebnost vlage ima velik vpliv na pospešeno staranje papirja in je odvisna od naraščajoče relativne vlage in temperature v okolju, ki vpliva na hitrost tako oksidativne kot hidrolitične razgradnje. Tudi ciklične spremembe vsebnosti relativne vlage pospešujejo razgradnjo papirja, ker povzročajo povečane napetosti v papirnem listu, ki vodijo do fizikalnih sprememb ireverzibilnega značaja.



Slika 4. Vpliv relativne vlage na spremembo fizikalno-mehanskih lastnosti papirja (Smook, 1982)

3. VZROKI ZA RAZGRADNJO DOKUMENTA NA PAPIRJU

Osnovni povzročitelji razgradnje papirja so kombinacija notranjih in zunanjih dejavnikov, kot so: a) vzroki, ki izhajajo iz neustrezne vlakninske oziroma celokupne surovinke sestave in tehnoloških pogojev izdelave, b) vplivi, ki jih povzročajo postopki pisanja (črnila), tiskanja (tiskarske barve, tonerji, črnila), predelave (lepila) in vsestranske uporabe in c) onesnaževanje zraka (SO_2 , NO_x , O_3), učinkovanje svetlobe, toplote, vlage, mikroorganizmov, kot je prikazano na sliki 5.

Ugotovljeno je, da je vpliv notranjih dejavnikov na razgradnjo od 80 % do 85 %. Nanj vplivajo proizvajalci in predelovalci, predvsem grafična dejavnost, medtem ko je vpliv zunanjih dejavnikov le od 10 % do 15 % in je odvisen predvsem od uporabnikov v arhivih, knjižnicah in muzejih [Arnold, 2003].

TRAJNOST IN OBSTOJNOST PAPIRJA IN DOKUMENTA

Trajnost papirja je definirana kot sposobnost ohranjanja kemijske in fizikalne stabilnosti v daljšem časovnem ob-

VPLIV NOTRANJNIH IN ZUNANJIH DEJAVNIKOV NA STARANJE PAPIRJA



Slika 5. Vpliv notranjih in zunanjih dejavnikov na staranje in razgradnjo dokumenta na papirju [Čerňič Letnar, 1996].

dobju [Gurgunal, 1993]. Vsi materiali se s časom spreminjajo, vendar za trajne velja, da v pretežni meri ohranjajo prvotne lastnosti v daljšem časovnem obdobju, kar pomeni več stoletij. Trajnost se nanaša na stabilnost kemijskih in fizikalnih lastnosti papirja in pomeni, v kolikšni meri je papir zaradi nečistoč v sestavi odporen proti razgradnji. Kot trajen označimo papir, ki ga lahko hranimo zelo dolgo obdobje, ne da bi se v večji meri spremenil videz (barvne in optične lastnosti) ali molekulska struktura sestavin oziroma celotna struktura papirja. Papir je lahko obstojen, vendar ni trajen (v primeru recikliranih papirjev), oziroma je trajen, vendar ni obstojen (kakovostne vlaknine pri neustrezni pripravi in obdelavi, kislo klejenje). Spreminjajoči se klimatski pogoji pri povišani temperaturi in vlagi ob učinkovanju UV sevanja vplivajo na pospešeno staranje in tudi na popolno razgradnjo papirja. Enakomerni klimatski pogoji hranjenja so osnovni pogoj dolgoročne stabilnosti in ohranjanja gradiva na papirju [Waters, 1983].

4. SKLEPNE MISLI

Za vrednotenje kakovosti trajne obstojnosti pisalnih in tiskovnih papirjev obstajajo v svetovnem merilu posamezni standardi in priporočila, ki jih morajo upoštevati tako uporabniki kot izdelovalci in predelovalci papirja. Trajno-obstojen je papir, ki ustreza zahtevam trajnosti na osnovi prevzetih standardov SIST EN ISO 9706 in SIST ISO 11108 in SIST ISO 16245. Dosega takšne kemijske in fizikalne lastnosti, ki v primerjavi z običajnimi vrstami omogočajo večjo trajnost in obstojnost pri uporabi v daljšem časovnem obdobju, to je več sto let. Začetni prihranek pri uporabi cenejših vrst papirja je precej manjši od kasnejših velikih stroškov pri reševanju poškodovanega gradiva slabe kakovosti.

Pri ohranjanju kulturne dediščine na papirju je za gradivo trajne vrednosti uporaba trajnejših vrst papirja in sredstev, s pomočjo katerih zapisujemo vsebino (črnila, tiskarske barve, naprave za tiskanje in kopiranje), nujna za ohranitev dediščine zanamcem, je ekonomsko opravičljiva in ekološko naravnana.

5. LITERATURA IN VIRI

1. **Archival Papers (2006)** Dostopno: <http://www.conservationresources.com/> (15.2.2011)
2. **Arnold R.B. (2002)** ASTM Paper Aging Research Program. Programm Summary. ASTM International, West Conshohocken, PA, 19
3. **Bukošek V. (1998)** Mikrofibrilna narava vlaken-osnovne zakonitosti mikrofibrilne morfologije. Tekstilec, 41, 7-8, 207-215
4. **Čerňič Letnar M., Pepelnjak G., Novak G. in Vodopivec J. (1995)** Vpliv surovinske sestave in tehnoloških pogojev izdelave na staranje papirja. Papir, 23, 3-4, 58-64
5. **Čerňič Letnar M. (1996)** Standardizacija trajnejših papirjev in predlogi za zakonodajo. Arhivi, 19, 1/2, 77-8
6. **Čerňič M. (2008)** Trajnost in obstojnost dokumentnega gradiva na papirju: doktorska disertacija. Ljubljana: 2008. XXXVI, 263 f
7. **EN ISO 9706 (2000)** Information and Documentation - Paper for Documents - Requirements for Permanence (∞).
8. **Gurgunal N., Howard R.C., Zou X., Uesaka T., Page D.H. (1993)** The Mechanical Permanence of Paper: A Literature Review. Journal of Pulp and Paper Science, 19, 4, J160-J166
9. **ISO 11108 (2001)** Information and Documentation - Archive Paper for Documents - Requirements for Permanence (∞).
10. **ISO 16245 (2009)** Information and documentation - Boxes, file covers and other enclosures, made from cellulosic materials, for storage of paper and parchment documents.
11. **Retulainen E., Niskanen K., in Nilsen N. (1998)** Fiber and bonds. Chapter 2 in Paper Physics (ed. Niskanen, K.), Book 16 in Papermaking Science and Technology, Fapet Oy, Jyväskylä, Finland, 54-84
12. **Smook G.A. (1982)** Handbook for pulp & paper technologist. Tappi, Atlanta, CPPA, Montreal, 389
13. **Waters P. (1983)** Paper Permanence: Preserving the written word. (ed. Warren, S.D. Company, A Division of Scott Paper Company), Boston, Massachusetts, 83
14. **Wathen R. (2006)** Studies on fiber strength and its effect on paper properties. Dissertation. Helsinki University of Technology (Espoo, Finland), KCL Communication, 97
15. **Zou X., Uesaka T. in Gurnagul N. (1996)** Prediction of paper permanence by accelerated ageing: I. Kinetic analysis of the ageing process. II. Comparison of the predictions with natural aging results. Cellulose 3, 4, 243-267, 269-279

GOSPODARSKA MOČ SLOVENSKE PAPIRNE INDUSTRIJE

The economic power of Slovenian paper industry

Izvleček: Gospodarska moč podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja, je v primerjavi s celotnim gospodarstvom majhna. Struktura podjetij je premaknjena izrazito v smeri mikro gospodarskih družb. Njihovi prihodki predstavljajo relativno majhen del v primerjavi s celotnim slovenskim gospodarstvom. Poslovni odhodki predstavljajo, podobno kot v celotnem gospodarstvu, 98 % vseh odhodkov. V letu 2009 se je zelo povečal čisti dobiček in sicer za 152,13 % in znaša 22,5 milijonov evrov. Na dober poslovni izid pa je vplivalo predvsem povečanje dodane vrednosti in zmanjšanje stroškov blaga, materiala in storitev. Poslovni izid pa bi lahko bil še boljši, če se ne bi zmanjšali prihodki, povečali stroški dela ter amortizacija. Podjetja, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja imajo velik delež lastnih sredstev (kapitala), so finančno neodvisna, imajo visoko dodano vrednost ter so dobičkonosnejša od podjetij v državnem povprečju.

Ključne besede: proizvodnja papirja in izdelkov iz papirja, finančni kazalniki

Abstract: The economic power of companies engaged in the production of paper and paper products is small in comparison to the national average. The structure of the companies moved markedly towards micro-enterprises. In comparison with the total national economy their revenues represent a relatively small proportion. Operating expenses represent 98 % of the total expenditure. Net profit enormously increased by 152, 13 % in the year 2009. The good operating result was influenced mainly by increase of value added and by the reduction of costs of goods, materials and services. It would be even better if they reduced revenue from sales on the domestic market and increased depreciation, labor costs and wages. Companies that are engaged in the manufacture of paper and paper products have a high proportion of their own funds (capital), financial independence, high value added and are more profitable than firms of the national average.

Keywords: Production of Paper and Paper Products, Financial Indicators

1. UVOD

V raziskavi nas je zanimalo delovanje podjetij, katerih osnovna dejavnost je proizvodnja papirja in izdelkov iz papirja. V analizo gospodarske moči podjetij smo vključili njihove prihodke, odhodke, dobiček, izgubo, dodano vrednost ter tudi obveznosti do virov sredstev.

1.1. RAZISKOVALNE HIPOTEZE

V naši raziskavi smo preverili zlasti naslednjo raziskovalno hipotezo:

Gospodarska moč slovenske papirne industrije je v primerjavi s celotnim gospodarstvom majhna.

Dejstvo, ki govori v prid postavljeni raziskovalni hipotezi je, da prihodki teh podjetij predstavljajo relativno majhen del v primerjavi s celotnim gospodarstvom.

Postavljeno raziskovalno hipotezo smo dokazali s pomočjo zbranih informacij Gospodarske zbornice Slovenije.

1.2. VIRI IN METODE DELA

V nalogi smo se naslonili na sekundarne vire, ki smo jih na novo drugače interpretirali.

Vir novejših in bolj specifičnih informacij so priročniki, različne statistične baze podatkov in članki, objavljeni v strokovni literaturi.

Pri raziskavi smo uporabili naslednje metode dela:

- Za proučitev teoretičnih spoznanj in strokovne literature smo uporabili metodo analize in sinteze ter primer-

* dr. , mag. oec., MBA, Inštitut za celulozo in papir, Bogiščeva ulica 8, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: bogomil.breznik@icp-lj.si

jalne metode, s katerimi smo primerjali sorodne pojave v ostalih državah.

- ▶ Uporabili smo naslednje raziskovalne metode: opisovanje, razlaganje in v sklepnem delu metodo predvidevanja ter metodi dedukcije in indukcije.
- ▶ Za pripravo in obdelavo podatkov smo uporabili program Microsoft Excel (MS-Excel).
- ▶ Primerjava finančnih kazalnikov papirne industrije s celotnim gospodarstvom.

Gospodarsko moč slovenske papirne industrije, ki se ukvarja s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja, smo ugotavljali na podlagi dejanskih vrednosti posameznih ekonomskih postavk in na podlagi primerjave z drugimi dejavnostmi. Pri tem smo kritično presojali odstopanja.

Primerjali smo nekatere finančne kazalnike slovenske papirne industrije s celotnim gospodarstvom in sicer v letih 2008 in 2009. Pri analiziranju računovodskih izkazov smo uporabili vodoravno analiz, s katero smo ugotovili vrednostne zneske in odstotke spremembe določene postavke. V tej vrsti analize so postavke v predhodnem obdobju osnova za primerjanje s postavkami zadnjega leta (Hočevar, Igličar, 1996).

2. IZSLEDKI RAZISKOVANJA

2.1. STRUKTURA PODJETIJ GLEDE NA VELIKOST GOSPODARSKE DRUŽBE IN ŠTEVILO ZAPOSLENIH

Gospodarske družbe se skladno z Zakonom o gospodarskih družbah (1992) delijo na mikro, majhne, srednje in velike v odvisnosti od števila zaposlenih, višine prihodkov in povprečne vrednosti aktive (Krajčič, 2001). Preglednica 1 kaže na strukturo podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja v primerjavi z nekaterimi drugimi dejavnostmi v letu 2008.

Ugotovili smo, da je struktura podjetij v odvisnosti od velikosti družbe premaknjena izrazito v smeri mikro gospodarskih

družb, kar velja tudi za ostale panoge, ki temeljijo na gozdarstvu, oziroma je njena osnovna surovina les. To na nek način otežuje poslovanje, manjše gospodarske družbe so na tržna nihanja bolj občutljive, hkrati pa jih za določen obseg del potrebujemo več, kar povečuje stroške upravljanja.

V letu 2009 je bilo v podjetjih, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja, zaposlenih 4.720 ljudi. Število zaposlenih se je v letih od 1998 do leta 2009 zmanjšalo za 31 %. Ugotovili smo, da se je število podjetij, ki zajemajo papirno in papirno predelovalno industrijo, v letu 2009 zmanjšalo za 40 % (vir: Finančni kazalniki za leto 2009 in 2008, Gospodarska zbornica Slovenije, Intranet Gospodarske zbornice Slovenije). Povprečna starost zaposlenih je 42,9 let (vir: Letno poročilo 2009, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za papirno in papirno predelovalno industrijo).

2.2. PRIMERJAVA FINANČNIH KAZALNIKOV PAPIRNE INDUSTRIJE S CELOTNIM GOSPODARSTVOM

2.2.1. Prihodki in odhodki

Prihodke opredelimo s prodajno vrednostjo prodanih količin, zajemajo pa tudi druge postavke, ki povečujejo poslovni izid (Krajčič, 2001).

Ugotovili smo, da prihodki podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja, predstavljajo relativno majhen del v primerjavi s celotnim slovenskim gospodarstvom kar potrjuje postavljeno raziskovalno hipotezo. Tudi prihodki gozdarskih podjetij so v letu 2008 predstavljali relativno majhen del v primerjavi z državnim povprečjem (Breznik, 2009). Pod povprečjem so finančni prihodki iz danih posojil in poslovnih deležev. Večino (pribl. 80 %) vseh prihodkov v panogi ustvarijo velika podjetja, od tega mikro podjetja ustvarijo le 5 % prihodkov panoge in so vsa papirno predelovalna (Vir: Letno poročilo 2009, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za papirno in papirno predelovalno industrijo). Nad povprečjem je či-

Preglednica 1. Velikost podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja, v primerjavi z nekaterimi drugimi dejavnostmi v letu 2009

Velikost družb	Gozdarska podjetja		Papirništvo		Obdelava, predelava lesa		Celotno gospodarstvo	
	Število	Delež	Število	Delež	Število	Delež	Število	Delež
Velike	5	6	8	8	11	2	757	1
Srednje	4	5	8	8	10	2	790	1
Majhne	5	6	9	8	44	9	2.475	5
Mikro	63	82	81	76	446	87	49.875	93
Skupaj	77	100	106	100	511	100	53.897	100

Vir: Finančni kazalniki za leto 2009, Gospodarska zbornica Slovenije, Intranet Gospodarske zbornice Slovenije

Preglednica 2. Prihodki podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja, v primerjavi s celotnim slovenskim gospodarstvom v letu 2009

	Prihodek v letu 2009 (v EUR)	Delež v celotnem gospodarstvu v letu 2009 (v %)
Prihodki (ne vključuje sprememb vrednosti zalog)	663.960.409	0,92
Čisti prihodek iz prodaje	649.369.192	0,96
Čisti prihodek iz prodaje na domačem trgu	204.083.966	0,42
Čisti prihodek iz prodaje na tujem trgu	445.285.226	2,34
Finančni prihodki	3.474.610	0,18
Finančni prihodki iz deležev	1.207.947	0,13
Finančni prihodki iz danih posojil in poslovnih deležev	2.266.663	0,23
Drugi prihodki	1.983.142	0,42

Vir: Finančni kazalniki za leto 2009, Gospodarska zbornica Slovenije, Intranet Gospodarske zbornice Slovenije

sti prihodek iz prodaje na tujih trgih. Prihodki od prodaje predstavljajo, podobno kot v gozdarstvu (Krajčič, 2001) in celotnem gospodarstvu, večino vseh prihodkov.

Odhodki se nanašajo na stroške proizvodnje prodanih količin, zajemajo pa tudi druge postavke, ki zmanjšujejo poslovni izid (Krajčič, 2001).

Poslovni odhodki predstavljajo, podobno kot v celotnem gospodarstvu, 98 % vseh odhodkov. Izrazito je odstopanje pri finančnih odhodkih za obresti ter tudi amortizaciji (podjetja se verjetneje odločajo za hitrejši odpis vrednosti in očitno razpolagajo z relativno novimi delovnimi sredstvi).

2.2.2. Dobiček, izguba in dodana vrednost

Pri analizi dobička je zelo pomembna členitev dobička na celotni dobiček in dobiček iz poslovanja. Dobiček (izguba)

iz poslovanja kaže uspešnost gospodarjenja podjetja iz dejavnosti, ki jo gospodarska družba opravlja v tekočem letu, medtem ko celotni dobiček upošteva tudi druge (izredne) prihodke in odhodke. Dodano vrednost ugotovimo tako, da od čistih prihodkov od prodaje, lastne porabe in drugih prihodkov iz poslovanja odštejemo stroške blaga in storitev ter druge odhodke iz poslovanja (Krajčič, 2001).

Na podlagi vodoravnega analiziranja računovodskih izkazov podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja, v letu 2008 in 2009 smo ugotovili, da se je v zadnjem letu zelo povečal čisti dobiček (za 152,13 %) in znaša 22,5 milijonov evrov. Poslovni uspeh pa bi bil še boljši, če se ne bi zmanjšali prihodki (za 6,7 %), povečali stroški dela (za 5,77 %) ter amortizacija (6,53 %). Na dober poslovni izid pa je vplivalo predvsem povečanje dodane vrednosti (za 27,82 %) ter zmanjšanje stroškov blaga, materiala in sto-

Preglednica 3. Odhodki podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja, v primerjavi s celotnim slovenskim gospodarstvom v letu 2009

	Odhodek v letu 2009 (v EUR)	Delež v celotnem gospodarstvu v letu 2009 (v %)
Odhodki	642.050.391	0,91
Poslovni odhodki	626.600.637	0,93
Stroški blaga, materiala in storitev	470.144.602	0,90
Stroški dela	101.336.128	0,97
Amortizacija	39.209.427	1,24
Finančni odhodki	14.401.982	0,44
Finančni odhodki za obresti	4.739.043	0,60
Drugi odhodki	1.047.772	0,63

Vir: Finančni kazalniki za leto 2009, Gospodarska zbornica Slovenije, Intranet Gospodarske zbornice Slovenije

Preglednica 4. Dobiček, izguba in dodana vrednost podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja, v primerjavi s celotnim slovenskim gospodarstvom v letu 2009

	Vrednost v letu 2009 (v EUR)	Delež v celotnem gospodarstvu v letu 2009 (v %)
Celotni dobiček	25.999.727	0,81
Celotna izguba	3.371.331	0,15
Davek iz dobička	2.572.227	0,46
Dodana vrednost	181.726.939	1,11

Vir: Finančni kazalniki za leto 2009, Gospodarska zbornica Slovenije, Intranet Gospodarske zbornice Slovenije

ritev (za 13,10 %) (vir: Finančni kazalniki za leto 2009 in 2008, Gospodarska zbornica Slovenije, Intranet Gospodarske zbornice Slovenije). Dodana vrednost obravnavanih podjetij se je glede na leto 2008 v letu 2009 povečala za 27,82 %.

2.2.3. Struktura sredstev

Struktura sredstev podjetij pove, kakšno je premoženje poslovnega sistema v danem trenutku (Hočevar, Igličar,

1996) in je rezultat poslovanja podjetja od nastanka do sedaj. Optimalna struktura ni enostavno in enolično določljiva, različna je tudi za različna podjetja.

Vrednost sredstev predstavlja knjigovodsko vrednost premoženja podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja (Hočevar, Igličar, 1996). Ugotovili pa smo tudi, da so se sredstva podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja v letu 2009 povečala za 3,32 %, in sicer gibljiva sredstva za 1,3 %, neopredmetena dolgoročna sredstva za 60,02 %, kar kaže na večjo razvojno težnjo obravnavane panoge ter opredmetena osnovna sredstva za 0,25 %. Del povečanja sredstev se je financiral s povečanim kapitalom (le ta se je povečal za 2,71 %), medtem, ko so se dolgoročne obveznosti podjetij zmanjšale za 4,22 % (vir: Finančni kazalniki za leto 2009 in 2008, Gospodarska zbornica Slovenije, Intranet Gospodarske zbornice Slovenije).

2.2.4. Obveznosti do virov sredstev

Obveznosti do virov sredstev nam povedo, od kod ima poslovni sistem sredstva (Hočevar, Igličar, 1996), torej, ali so sredstva lastna ali tuja. Vrednost obveznosti do virov sredstev je vedno enaka vrednosti sredstev (Krajčič, 2001).

Ugotovili smo, da imajo podjetja, ki se ukvarjajo s proizvo-

Preglednica 5. Struktura sredstev podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja, v primerjavi s celotnim slovenskim gospodarstvom v letu 2009

	Vrednost v letu 2009 (v EUR)	Delež v celotnem gospodarstvu v letu 2009 (v %)
Sredstva	726.916.319,00	0,70
Dolgoročna sredstva	481.864.659,00	0,73
Neopredmetena dolgoročna sredstva	16.790.268,00	0,81
Opredmetena osnovna sredstva	420.350.691,00	1,13
Dolgoročne finančne naložbe	29.817.086,00	0,14
Kratkoročna sredstva	241.467.070,00	0,64

Vir: Finančni kazalniki za leto 2009, Gospodarska zbornica Slovenije, Intranet Gospodarske zbornice Slovenije

Preglednica 6. Obveznosti do virov sredstev podjetij slovenske papirne industrije, gozdarstva in lesnopr-delovalne industrije v letu 2009 v EUR

	Papirna industrija	Gozdarstvo	Obdelava in predelava lesa	Celotno gospodarstvo
Obveznosti do virov sredstev	726.916.319	149.344.986	660.393.413	104.301.935.149
Kapital	356.048.611	80.691.944	227.801.670	36.652.402.466
Dolgoročne obveznosti	115.516.729	20.728.867	168.108.179	28.594.430.329
Kratkoročne obveznosti	229.963.733	43.492.418	242.398.445	35.780.790.235

Vir: Finančni kazalniki za leto 2009, Gospodarska zbornica Slovenije, Intranet Gospodarske zbornice Slovenije

dnjo papirja in izdelkov iz papirja ter gozdarstvo v primerjavi s lesnopredelovalnimi podjetji in celotnim gospodarstvom bistveno več lastnih sredstev (kapitala).

Kot praktično pravilo velja, da naj bi bila deleža lastnih in tujih virov približno 50 % (Pučko, Rozman, 1996). Takšno razmerje pa sta v letu 2009 dosegla papirna industrija in gozdarstvo.

2.3. PRIMERJAVA FINANČNIH KAZALNIKOV PODJETIJ Z NEKATERIMI DRUGIMI DEJAVNOSTMI

Finančni kazalniki so relativna števila, ki jih dobimo z delitvijo določene ekonomske kategorije s kakšno drugo (Krajčič, 2001).

Podjetja, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja, so v primerjavi s celotnim gospodarstvom finančno neodvisna. To pomeni, da imajo pri bankah relativno ugodno boniteto, kar vpliva na posojilne pogoje. Nizek kazalnik pa lahko pomeni tudi, da podjetje ni pripravljeno hitreje širiti svoje dejavnosti ter s tem povečati tveganja, kar kaže na določeno poslovno neaktivnost (neinovativnost) lastnikov

in managerjev. Za obravnavana podjetja velja, da na področju sorodnih dejavnosti nimajo na razpolago zelo donosnih možnosti za širitev. Od primerjalnih dejavnosti so najbolj zadolžena lesnopredelovalna podjetja, a so še zmeraj na državnem povprečju. Morebitna širitev obravnavanih podjetij na sorodne dejavnosti bi pomenila zmanjševanje finančne neodvisnosti ter da so v povprečju poslovala z dobičkom.

Dobičkonosnost kapitala in sredstev je pri slovenski papirni industriji ugodnejša od povprečja v slovenskem gospodarstvu ter tudi od gozdarstva in lesne predelave. Če pa dobičkonosnost kapitala primerjamo z obrestnimi merami dolgoročnih vezav pri bankah, ugotovimo, da je naložba delničarjev (bodočih in sedanjih) slaba. Tudi kazalnik dobičkonosnosti sredstev kaže na to, da so primerjane panoge v letu 2009 poslovale neuspešno, kar pa je glede na razmere na trgu pričakovati tudi v letu 2010. Ker je panoga, ki zajema podjetja, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja, delovno intenzivna panoga, so prihodki na zaposlenega višji od primerjalnih dejavnosti, stroški dela na zaposlenega pa zaradi višjih

Preglednica 7. Finančni kazalniki podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja in nekaterih drugih gospodarskih dejavnosti v letu 2009

Ime kazalnika	Papirna industrija	Gozdarstvo	Obdelava in predelava lesa	Celotno gospodarstvo
Finančna neodvisnost (kapital/sredstva)	0,49	0,54	0,35	0,35
Delež opredmetenih osnov. sred. (opr. osn. sred. / sredstva)	0,58	0,42	0,52	0,36
Koeficient zadolženosti (finančne in poslovne obveznosti / obveznosti do virov sred.)	0,48	0,43	0,62	0,62
Celotna gospodarnost (prihodki / odhodki)	1,03	1,00	1,01	1,01
Dobičkonosnost kapitala - ROE (neto dobiček / kapital)	0,05	0,02	-0,03	0,02
Dobičkonosnost sredstev - ROA (neto dobiček / sredstva)	0,03	0,01	-0,01	0,01
Prihodki na zaposlenega (prihodki / povpr. št. zap.)	146.247	88.085	80.417	149.722
Stroški dela na zaposlenega (str. dela / povpr. število zaposlenih)	22.321	22.800	16.458	21.674
Čisti dobiček na zaposlenega (čisti dobiček / povpr. število zaposlenih)	4.949	2.337	1.766	5.554
Čista izguba na zaposlenega (čista izguba / povpr. število zaposlenih)	747	1.480	2.611	4.409
Dodana vrednost na zaposlenega (dodana vred. / povpr. število zaposlenih)	40.028	29.602	22.277	34.168
Delež prodaje na tujih trgih (čisti prih. iz prodaje na tuj. trgih / prihodki)	0,67	0,32	0,46	0,26
Delež amortizacije (amortizacija / odhodki)	0,06	0,07	0,06	0,04
Delež stroškov dela (stroški dela / odhodki)	0,16	0,26	0,21	0,15

Vir: Finančni kazalniki za leto 2009, Gospodarska zbornica Slovenije, Intranet Gospodarske zbornice Slovenije

plač in neugodne starostne strukture delavcev višji. Zaradi delovne intenzivnosti je čisti dobiček, predvsem pa izguba na zaposlenega pri podjetjih, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja, precej nižja kot v celotnem gospodarstvu. Oba kazalnika pa sta, upoštevajoč delovno intenzivnost panoge, primerljiva z gozdarstvom in lesnopredelovalno industrijo.

Dodana vrednost na zaposlenega v papirni industriji je kljub delovno intenzivni dejavnosti precej nad državnim povprečjem in je za 30 % večja glede na leto 2008 (vir: Letno poročilo 2009, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za papirno in papirno predelovalno industrijo). Nadpovprečni delež amortizacije v odhodkih lahko kaže na delno napihovanje stroškov in s tem nižji dobiček iz poslovanja. Vendar bi dokaz za to trditev zahteval dodatno poglobljeno študijo, ki pa presega okvire te raziskave. Delež stroškov dela papirne industrije je v državnem povprečju. Skoraj dvakrat višji je v gozdarstvu, kar lahko kaže na izjemno odvisnost in občutljivost poslovanja teh podjetij od trga delovne sile in kolektivnih pogajanj.

3. ZAKLJUČEK

Raziskava je pokazala, da je gospodarska moč podjetij, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja, v primerjavi s celotnim gospodarstvom majhna ter da je struktura podjetij premaknjena izrazito v smeri mikro gospodarskih družb. Število zaposlenih pa se je v zadnjem desetletju zmanjšalo za tretjino.

Poslovni odhodki predstavljajo, podobno kot v celotnem gospodarstvu, 98 % vseh odhodkov. Izrazito je predvsem odstopanje pri finančnih odhodkih za obresti ter tudi amortizaciji.

V letu 2009 se je zelo povečal čisti dobiček za 152,13 % in znaša 22,5 milijonov evrov. Na dober poslovni izid pa je vplivalo predvsem povečanje dodane vrednosti ter

zmanjšanje stroškov blaga, materiala in storitev. Bil pa bi lahko še boljši, če se ne bi zmanjšal prihodek, povečali stroški dela in amortizacija. Obravnavana panoga pa ima veliko lastnih sredstev (kapitala) in so finančno neodvisna.

Podjetja, ki se ukvarjajo s proizvodnjo papirja in izdelkov iz papirja, imajo v primerjavi s celotnim gospodarstvom bistveno več lastnih sredstev (kapitala).

Dobičkonosnost kapitala in sredstev je pri slovenski papirni industriji ugodnejša od povprečja v slovenskem gospodarstvu, ker pa je obravnavana panoga delovno intenzivna, so prihodki na zaposlenega višji, stroški dela na zaposlenega pa zaradi višjih plač in neugodne starostne strukture delavcev višji. Čisti dobiček, predvsem pa izguba na zaposlenega je nižja kot v celotnem gospodarstvu. Dodana vrednost na zaposlenega v papirni industriji je kljub delovno intenzivni dejavnosti precej nad državnim povprečjem in je za 30 % večji glede na leto 2008. Delež stroškov dela papirne industrije je v državnem povprečju.

4. LITERATURA IN VIRI

1. **Breznik B. (2009)** The Performance of Forest Companies after Liberalisation of the Forest Products Market in Slovenia. Magistrsko delo. Ljubljana: Ekonomska fakulteta, 71
2. **Finančni kazalniki za leto 2008**, Gospodarska zbornica Slovenije, Intranet Gospodarske zbornice Slovenije
3. **Finančni kazalniki za leto 2009**, Gospodarska zbornica Slovenije, Intranet Gospodarske zbornice Slovenije
4. **Letno poročilo 2009**, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje za papirno in papirno predelovalno industrijo
5. **Hočevar M., Igličar A. (1996)** Osnove računovodstva. Ljubljana: Ekonomska fakulteta, 152
6. **Krajčič D. (2001)** Nekateri trendi gospodarjenja z državnimi gozdovi v Sloveniji in gospodarska moč koncesionarjev. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 65: 33-58
7. **Pučko D., Rozman R. (1996)** Ekonomika podjetja. Ljubljana: Ekonomska fakulteta, 271
8. **Zakon o gospodarskih družbah (1992)**, Uradni list RS (Št. 4/1992)



Standardi FSC in PEFC

Sistemi certificiranja sledenja lesa za organizacije, ki uporabljajo gozdne surovine.

Potrdite svojo vrednost in postanite član mednarodne družine, prepoznane po vsem svetu!

Bureau Veritas Certification
tel.: 01 47 57 600
www.bureauveritas.si



Spodbujanje trajnostnega gospodarjenja z gozdovi



**BUREAU
VERITAS**

Move Forward with Confidence

NAVODILA AVTORJEM ZA PRIPRAVO PRISPEVKOV

1. PRISPEVKI

Revija Les objavlja izvirne in pregledne znanstvene ter strokovne prispevke s področja lesarstva, pohištvene industrije in z lesarstvom povezanih področij (arhitekture, oblikovanja, okolja, gradbeništva, etnologije ...). Vsi objavljeni prispevki so recenzirani. Za vsebino prispevka so odgovorni avtorji. O obliki in datumu objave članka odloča uredništvo.

2. OBSEG PRISPEVKOV

Prispevki morajo biti pripravljeni v skladu s temi navodili. Znanstveni članki naj ne presegajo 18.000 znakov s presledki, po dogovoru z urednikom lahko le pregledni znanstveni članki obsegajo 27.000 znakov s presledki. Priporočena dolžina strokovnih člankov je 9.000 znakov s presledki. Za lektoriranje angleških člankov in prevode povzetkov so odgovorni avtorji. Uredništvo revije Les zagotovi lektoriranje slovenskih tekstov. Tekstov prispevkov, zgoščen in disket avtorjem ne vračamo. Na zahtevo avtorja vračamo slikovno gradivo.

3. JEZIK

V reviji Les objavljamo znanstvene prispevke v slovenskem ali angleškem jeziku, strokovne pa le v slovenskem jeziku.

4. POVZETEK

Za izvirne in pregledne znanstvene članke, morajo avtorji pripraviti povzetek v angleščini in slovenščini. Pri tujejezičnih avtorjih, bo za slovenski povzetek poskrbelo uredništvo. Povzetek mora podati jedrnat informacijo o vsebini prispevka. Okvirno naj zajema 1.000 znakov s presledki.

5. KLJUČNE BESEDE

Ključnih besed je lahko največ 8. Predstaviti morajo področje raziskave, podane v članku. Napisane morajo biti v slovenskem in angleškem jeziku. Razvrščene naj bodo v abecednem redu slovenskih besed.

6. NASLOV ČLANKA

Naslov članka naj bo kratek in razumljiv. Pri izvirnih in preglednih znanstvenih člankih, naj bo zapisan v slovenskem in angleškem jeziku. Za naslovom sledijo ime/imena avtorja/avtorjev (ime in priimek).

7. NASLOV AVTORJA/AVTORJEV

Pod imeni avtorjev naj bodo zapisane oštevilčene inštitucije od koder prihajajo avtorji prispevkov. Za vodilnega avtorja navedimo še naslov, telefonsko, faks številko in elektronski naslov.

8. PREGLEDNICE, GRAFIKONI IN SLIKE

Preglednice in slike naj bodo jasne; njihovo mesto mora biti nedvoumno označeno, njihovo število naj racionalno ustreza vsebini. Slike in preglednice morajo podpirati tekst. Vsi naslovi slik oziroma preglednic morajo biti navedeni v slovenskem in angleškem jeziku. Za angleške naslove preglednic in slik so odgovorni avtorji. Naslove preglednic pišemo nad preglednico, naslove slik pa pod slike.

Preglednica 1. Vpliv širine branik na gostoto smrekovega lesa

Slika 1. Poškodba hišnega kozlička (foto: J. Puhar)

9. LITERATURA IN VIRI

Pri znanstvenih prispevkih uporabljeno literaturo citiramo med besedilom, pri strokovnih pa ne. Več avtorjev istega dela citiramo po naslednjih načelih: delo do dveh avtorjev (Priimek in Priimek, leto) npr. (Cankar in Prešeren, 1984); delo več kot dveh avtorjev (Priimek prvega avtorja in sod., leto), na primer (Kovač in sod., 2002). V kolikor ime avtorja kake trditve navedemo v tekstu, je dovolj če poleg zapišemo le letnico objave. V primeru da eno trditev podkrepimo z dvema ali več viri, jih razvrstimo po letnici objave in ločimo s podpičji (Cankar, 1992; Žgajner in sod., 1998). Standarde navajamo le s kratico standarda in letnico izdaje, na primer (SIST EN 113, 1996). Zakonodaja

navajamo s kratico, ki nastopa v uradnem listu (BPD 98/8/EC, 1998) (ZKem, 2006).

Kot vire navajamo le javno dostopno literaturo. Citiranje internih poročil, ekspertiz, neobjavljenih podatkov ni zaželeno. Literaturo uredimo po abecednem redu. Imena avtorjev pišemo odebeljeno:

- Članek: **Kovačič J., Prešeren M.** (2000) Relevantne lastnosti hrastovine. Les, 52: 369-373
- Knjiga: **Richardson H.W.** (1997) Handbook of copper compounds and applications. M. Dekker, New York, 325
- Poglavlje v knjigi: **Kai Y.** (1991) Chemistry of Extractives. V: Wood and Cellulosic Chemistry. Hon DNS (Ur.), Shiraishi N (Ur.), Marcel Dekker, New York, 215-255
- Zakonodaja: Biocidal Products Directive 98/8/EC (1998) Official Journal of the European Communities L 123:1-63
- Standard: EN 113 (1996) Wood preservatives; Determination of the toxic values against wood destroying basidiomycetes cultured on agar medium.

• Internetni vir: Pri dokumentih dostopnih le prek interneta, so elementi navedbe: avtor (če je znan), naslov dokumenta, leto, organizacija (če je znana), datum zadnje spremembe (če je znan), URL naslov, datum (dan ko smo dokument prebrali). Predstavitev Društva inženirjev in tehnikov lesarstva Ljubljana. (2004) DIT Ljubljana. <http://www.ditles.si/index1.htm> (3.12.2007)

12. LATINSKA IMENA TAKSONOV

Latinska imena rodov, vrst in intraspecifičnih taksonov pišemo v kurzivi – italic (*Picea abies* (L.) Karst.)

13. FORMAT IN OBLIKA PRISPEVKA

Članek naj bo pisan v formatu WinWord (.DOC ali .RTF), na A4 formatu, font Arial, velikost 11. Naslovi poglavij naj bodo odebeljeni. Posimo, da tekst pišete enostolpcično in ga ne delite na okvire. Zaradi pozicioniranja naj bodo risbe in fotografije vključene v tekst ter še dodatno (!) priložene kot slikovne datoteke (glej točko 15). Prispevke pošljite v elektronski obliki (disketa, CD, DVD) na naslov uredništva (Karlovška 3, 1000 Ljubljana) ali po e-pošti na naslov revija. les@siol.net.

14. OBLIKOVANJE GRAFIKONOV

Če se le da, ne uporabljajte MS Excela, ker ne moremo nadzorovati parametrov grafikona (debelina črt, šrafure, velikost grafa itd.); priporočamo profesionalne programe za risanje grafiknov: Origin, SIGMA plot ... Zaradi pravilnega položaja naj bodo vsi grafični elementi vsavljeni tudi v tekst. Ozadje grafikona mora biti belo! V kolikor gre za stolpičen diagram s samo eno vrsto stolpcev, naj bodo le-ti beli s črno obrobo; šrafure v tem primeru niso potrebne! 3D grafikoni niso zaželeni; če je možno, uporabljajte 2D grafikone.

15. OBLIKOVANJE SLIKOVNEGA GRADIVA

- Slikovno gradivo lahko digitaliziramo v uredništvu, medtem ko morajo za digitalizacijo diapozitivov poskrbeti avtorji sami. Slika, narejena z digitalnim fotoaparatom mora imeti ločljivost vsaj 2,1 milijona pikslov (širina naj bo vsaj 8,4 cm - 1 stolpec - pri 300 DPI).
- Slike naj bodo skenirane pri ločljivosti 300 dpi.
- Vse slike morajo biti priložene (!) v originalnem TIFF, JPEG ali ustreznem grafičnem zapisu. Zaradi pravilnega položaja naj bodo vsavljene tudi v tekst.
- Vse fotografije naj bodo podnaslovljene in datirane z letnico.
- Risbe naj bodo izdelane v enem izmed računalniških risarskih programov (Corel DRAW, FreeHand itd.). Upoštevati je potrebno minimalno debelino črte, ki znaša 0,25 točke oziroma 0,15 mm. Slabih fotokopij in risb, narejenih s svinčnikom, ne sprejemamo. Če je mogoče, se izogibajte risanju v Wordu (zlasti raznih FLOW diagramov s funkcijo Draw), ker se pri različnih fontih oblika sesuje in je ni mogoče restavrirati niti izpisati. Največkrat nastopijo tudi težave pri izvozu v PDF datoteko. Za morebitne nasvete se obrnite na uredništvo.



MONICOLOR

Vaša hiša barv

Podjetje je s svojo več kot 20 letno tradicijo navzoče na trgu prodaje barv in lakov za področje kovinske industrije, materiala za slikopleskarje, v začetku lanskega leta pa smo se aktivno vključili tudi v prodajo materiala za mizarje. **Prevzeli smo prodajni program podjetja Brelih iz Škofje Loke** in tržimo blagovni znamki ILVA in TIKKURILA. S tem nadaljujemo dobro zastavljeno pot, ki je podprta s strokovnim znanjem naših sodelavcev, dolgoletnimi izkušnjami in kupcu prijaznim pristopom. V naši mešalnici vam pripravimo lužila in druge premazne sisteme v najrazličnejših barvnih odtenkih in sijajih ali po vzorcu.



Italijanski proizvajalec ILVA, katerega produkti so cenovno ugodni, osnovani na bazi topil, primerne za površinsko obdelavo površin pohištva iz masivnega lesa, furnirja in surovega ploskovnega materiala pa tudi ploskovnega, oplemenitenega z melaminsko folijo. Podjetje je del IVM, tretjega največjega proizvajalca barv in lakov za lesne premaze v Evropi.



prihaja iz Helsinkov na Finskem in je vodilni proizvajalec barv in lakov na vodni osnovi. Pospešeno tržimo produkte za stavbno pohištvo ter systemske premaze za interior, kot so transparentni laki na vodni osnovi in lužila v različnih odtenkih. Drugi sklop so UV sistemi na vodni osnovi, ki jih odlikuje visoka vsebnost suhe snovi in kakovostna površina končnega suhega filma.

AKVIDUR – POLIURETANSKI AKRILNI LAK NA VODNI OSNOVI

Je revolucionarna novost, ki je zaradi svoje kemijske sestave enostaven za uporabo. Odlikuje ga visoka vsebnost suhe snovi - 32 % in se pri zagotavljeni nizki zračni vlažnosti in povišani temperaturi izredno hitro suši.

Na razpolago sta dve različici v sijaju 20 in 70. Možni so različni barvni odtenki.

Končna površina ima izgled, kot ga imajo površine, obdelane z dvokomponentnimi poliuretanskimi laki na osnovi topil. Sistem se že uporablja za površinsko obdelavo notranje opreme pri plovilih našega največjega proizvajalca.

NAŠI KONTAKTI:

Dražgoška ulica 2
4000 Kranj
Slovenija
Tel.: 04 23 60 040
Faks: 04 23 60 041
Mobilna št.: 051 646 399
GSM: 031 692 290 – POTNIK NA TERENU
www.monicolor.si
e-pošta: info@monicolor.si
Delovni čas: od 7h do 19h,
ob sobotah pa od 8h do 12h.

PE Murska Sobota

Lendavska ulica 29
9000 Murska Sobota
Slovenija
Tel.: 02 521 44 64
Faks: 02 521 44 65
GSM.: 031 685 552
e-pošta: ms@monicolor.si
Delovni čas: od 7h do 15h

uvodnik

raziskave in razvoj

kazalo

- 141** Gozd in les za ljudi in naravo
Miha Humar, Hojka Kraigher
- 142** Assessment and projection of climate change impacts in Southeast European forests : a case study of common beech (*Fagus sylvatica* L.)
Csaba Mátyás, Imre Berki, Bálint Czúcz, Borbála Gálos, Norbert Móricz, Ervin Rasztovits
- 154** Izbrani primeri študije biotske raznovrstnosti gozdnih ekosistemov na genski, vrstni in habitatni ravni
Tine Grebenc, Lado Kutnar, Gregor Božič, Miran Čas
- 161** Preučevanje ekosistemom prilagojenega gospodarjenja z gozdom
Janez Krč, Matevž Mihelič, Boštjan Hribernik, Anton Poje
- 170** Ekstraktivi v tkivih evropskega macesna (*Larix decidua* Mill.)
Janja Zule, Katarina Čufar, Vesna Tišler
- 176** Vloga cepilne frakture v procesu formiranja odrezka pri ortogonalnem odrezavanju
Miran Merhar, Bojan Bučar
- 183** Sezonska dinamika debelinske rasti sadik bora in bukve v letu 2010 v različnih klimatskih razmerah
Jožica Gričar, Boštjan Mali, Hojka Kraigher
- 188** Morfološki in fiziološki odziv mladih bukev (*Fagus sylvatica* L.) na svetlobo v naravnih bukovih sestojih Slovenije
Matjaž Čater
- 192** Ektomikoriza in drobne korenine bukve (*Fagus sylvatica* L.) v odraslih sestojih, mladju in na sadikah
Anita Mašek, Tine Grebenc
- 197** Izbrani primeri genetskih analiz prosto živečih gozdnih živali v Sloveniji
Marko Bajc, Miran Čas, Tine Grebenc, Hojka Kraigher
- 203** Kakšni bi lahko bili učinki segrevanja ozračja na bukove gozdove v prihodnosti?
Lado Kutnar, Andrej Kobler, Sašo Džeroski
- 208** Ključni izsledki prostorske in časovne dinamike jelke in bukve v Sloveniji
Andrej Ficko, Matija Klopčič, Aleš Poljanec, Tina Simončič, Andrej Bončina
- 214** Vsebine spletnega portala o varstvu gozdov v Sloveniji
Nikica Ogris
- 218** Določitev vsebnosti flavonoidov v bukovini s kolorimetrično metodo
Viljem Vek, Primož Oven
- 223** Izpiranje bakrovih učinkovin iz impregniranega lesa
Nejc Thaler, Boštjan Lesar, Miha Humar
- 227** Razgradnja endosulfana z glivama *Hypoxyton fragiforme* in *Gloeophyllum trabeum*
Ajda Ulčnik, Irena Kralj Cigić, Lucija Župančič-Kralj, Črtomir Tavzes, Franc Pohleven
- 232** Vpliv vrednosti pH utekočinjenega lesa na strižno trdnost in trajnost zlepljenih spojev
Aleš Ugovšek, Milan Šernek
- 238** RIPO9 - Multi funkcionalno pohištvo - inovativne produktne enote bivanjskih prostorov prihodnosti (TIA)
Andreja Kutnar, Črtomir Tavzes
- 244** Analitično vrednotenje lesenih oken z uporabo AHP in QFD metode
Matej Jošt, Petra Grošelj
- 249** Kemijska in fizikalna razgradnja vlaken in papirja
Marjeta Černič
- 254** Gospodarska moč slovenske papirne industrije
Bogomil Breznik