

Mahovi kot bioindikatorji stanja okolja

Bryophytes as Bioindicators of the Environment Condition

Mitja SKUDNIK¹, Lado KUTNAR², Franc BATIČ³, Zvonka JERAN⁴, Primož SIMONČIČ⁵

Izvleček:

Skudnik, M., Kutnar, L., Batič, F., Jeran Z., Simončič, P.: Mahovi kot bioindikatorji stanja okolja; Gozdarski vestnik, 69/2011, št. 9 V slovenščini in izvlečkom in povzetkom v angleščini. Jezikovni pregled angleškega besedila in prevod povzetka Breda Misja, slovenskega besedila Marjetka Šivic.

V okviru Programa za intenzivno spremljanje gozdnih ekosistemov (IMGE) v Sloveniji smo proučevali tudi mahovno floro in vegetacijo. Na vseh enajstih ploskvah IMGE smo ovrednotili bioindikacijsko vlogo mahovnih vrst. Na treh izbranih ploskvah (Krucmanove konte, Gorica in Murska šuma) smo analizirali tudi vsebnosti skupnega dušika (N) in žvepla (S) v tkivih mahov vrste štorovo sedje (*Hypnum cupressiforme* Hedw.). Že glede na prisotnost mahovnih vrst lahko sklepamo na rastiščne (npr. geološko matično podlago, površinsko skalnatost, talne razmere, mikro- in regionalna klima, vegetacija) in sestojne razmere (prevladujoča drevesna vrsta, odmrli les). Analiza mahov na izbranih treh ploskvah IMGE je pokazala, da so vsebnosti skupnega N in S v mahovih največje na ploskvi Murska šuma in najmanjše na ploskvi Krucmanove konte na Pokljuki. Ob primerjavi rezultatov z nekaterimi primerljivimi raziskavami od povprečja odstopa ploskev Murska šuma z relativno velikimi vsebnostmi skupnega N in S v mahovih.

Ključne besede: mahovi, bioindikacija, biomonitoring, vrstna pestrost, intenzivno spremljanje gozdnih ekosistemov, dušik, žveplo, Slovenija.

Abstract:

Skudnik, M., Kutnar, L., Batič, F., Jeran Z., Simončič, P.: Bryophytes as Bioindicators of the Environment Condition; Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry), 69/2011, vol. 9. In Slovenian, abstract and summary in English. Proofreading of the English text Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

As a part of the Intensive Monitoring Programme (IMFE) of Forest Ecosystems in Slovenia, the bryophyte flora and vegetation have been studied. The bioindication role of bryophytes was analyzed on all 11 IM plots. On the selected IM plots (Krucmanove konte, Gorica and Murska šuma) the concentration of N total and S total were analyzed in living parts of the bryophyte species *Hypnum cupressiforme* Hedw. The species diversity of bryophytes indicates the site conditions (e.g. bedrock, surface rockiness, soil conditions, micro- and regional climate, vegetation) and forest stand conditions (dominant tree species, dead wood). Analyses of mosses on the selected IMFE plots indicate that the concentration of total nitrogen (N) and sulphur (S) in mosses is the highest on the Murska šuma plot and the lowest on the Krucmanove konte plot on Pokljuka. Comparing the results with some other comparable investigations, the Murska šuma plot with its relative high concentrations of total N and S total in moss tissue stands out.

Key words: bryophytes, bioindication, biomonitoring, species diversity, intensive monitoring of forest ecosystems, Slovenia, nitrogen, sulphur.

¹ M. S., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za načrtovanje in monitoring gozdov in krajine. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. mitja.skudnik@gozdis.si

² dr. L. K., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, lado.kutnar@gozdis.si

³ prof. dr. F. B., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Katedra za aplikativno botaniko, ekologijo in fiziologijo rastlin in informatiko. Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. franc.batic@bf.uni-lj.si

⁴ doc. dr. Z. J., Inštitut Jožef Štefan, Odsek za znanosti o okolju. Jamova 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. zvonka.jeran@ijs.si

⁵ dr. P. S., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, primoz.simoncic@gozdis.si

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Okolje je pod vplivom vse večjega števila znanih in neznanih onesnažil, ki vzajemno s podnebnimi spremembami in zmanjševanjem biotske pestrosti ogrožajo ekosisteme (Markert in sod., 2003). Taki kompleksni sistemi interakcij in medsebojnih odnosov otežujejo pridobivanje informacij o stanju in trendu onesnaženosti okolja, zato je nujna vzpostavitev monitoringa, ki omogoča trajno pridobivanje informacij o stanju ekosistemov (Pavšič - Mikuž, 2005). Glede na ustrezne informacije lahko ocenimo, kdaj, kje in katero od onesnažil v ekosistemu preseže kritične vrednosti in začne negativno vplivati na delovanje ekosistema. Pravočasno zaznavanje presežkov onesnažil omogoča pravočasno ukrepanje.

Eden od glavnih ciljev programa Intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov (IMGE) je ugotavljanje in spremljanje sprememb gozdnih ekosistemov zaradi vnosa onesnažil, ki povzročajo zakisanje in evtrofikacijo (de Vries in sod., 2003b). V Sloveniji so bile ploskve za spremljanje stanja gozdnih ekosistemov vzpostavljene z namenom implementacije zakonodaje EU, ki temelji na Konvenciji o daljinskem transportu onesnaženega zraka (CLRTAP) (Simončič, 2001).

Pomemben korak v spremljanju stanja okolja je pomenil razvoj različnih oblik posrednega monitoringa (Tausz in sod., 1996; Solga in sod., 2005; Fränzle, 2006), kjer stanje okolja ocenjujemo na podlagi izbranega indikatorja. Cilj takšnega monitoringa je pridobiti časovne in prostorske informacije o stanju okolja oz. o njegovi onesnaženosti (Batič in sod., 1999; Harmens in sod., 2010).

Metodologije posrednega ocenjevanja stanja okolja, ob uporabi različnih indikatorjev, so razvijali v različnih delih sveta. Posledično je neenotna tudi uporabljena terminologija (Markert in sod., 2003). V prispevku bomo uporabljali terminologijo po Markert in sod. (2003), ki ločijo bioindikatorje in biomonitorje. Bioindikator je organizem (ali del organizma ali skupina organizmov), ki vsebuje informacijo o kakovosti okolja ali delu okolja. Biomonitor pa je organizem (lahko tudi del organizma ali skupina organizmov), ki vsebuje količinsko informacijo o kakovosti okolja oz. o delu okolja.

Markert in sod. (2003) opozarjajo, da je biomonitor tudi bioindikator, vendar pa bioindikator vedno ne izpolnjuje pogojev biomonitorja.

Dober bioindikator stanja in sprememb okolja je vegetacija. Glede na vrstne sestave vegetacije ali celo prisotnost nekaterih rastlinskih vrst (indikatorske vrste) lahko sklepamo o stanju okolja in njegovih spremembah (Ernst, 2003). Na podlagi vrstne sestave vegetacije lahko približno ocenimo določene dejavnike okolja, npr. reakcijo tal, vlažnost (Ellenberg, 1991). S spremljanjem spremembe sestave in strukture vegetacije pa lahko sklepamo na spreminjanje rastiščnih razmer na določenem območju (van Dobben in sod., 1999; de Vries in sod., 2003a).

Kot bioindikatorje stanja in sprememb okolja lahko uporabimo tudi mahove, ki jih taksonomsko delimo v tri skupine: listnate mahove (*Bryophyta*), jetrenjake (*Marchantiophyta*) in rogačarje (*Anthocerotophyta*) (Atherton in sod., 2010). Na produktivnejših rastiščih, kjer so višje rastline bolj konkurenčne za prostor, hranila in vodo, mahovom pripisujemo precej obrobno vlogo (Dierßen, 2001). Vendar pa so mahovi dobro prilagojeni in konkurenčni v ekstremnih razmerah, kot so arktična in alpinska tundra, visoka barja, ostenja, skale in tropski deževni gorski gozdovi (Dierßen, 2001).

Slovenija ima zelo raznovrstno mahovno floro (Martinčič, 2001; Martinčič, 2003), kar ni samo posledica pestrih podnebnih in geološko-petrografskih razmer, temveč tudi raznovrstnih in razmeroma dobro ohranjenih habitatov, kot so različna barja, alpski skalni predeli, alpinska travišča in snežne doline, številni izviri in studenci. Poleg tega k njihovi pestrosti lahko prispevajo tudi sekundarni biotopi, kot so stara sadna drevesa, kamniti zidovi in posamezni deli cestišč. Med najpomembnejšimi habitatih mahov pa so dobro ohranjeni, naravni gozdovi (Kutnar in Martinčič, 2008) in še posebno pragozdni ostanki z obilo lesa posušenih dreves (Ódor in Van Dort, 2002). Naravne gozdove v dinarskem območju Slovenije štejejo za vročo biodiverzitetno točko za mahove, ki naseljujejo les posušenih dreves (Ódor in Van Dort, 2002).

Mahovi imajo pomembno funkcionalno in diferencialno vlogo v nekaterih gozdnih fitocenozah (npr. *Sphagno-Piceetum*, *Neckero-Abietetum*,

Bazzanio-Abietetum, *Mastigobryo-Piceetum*, *Rhytidadelpho lorei-Piceetum*, *Leucobryo-Quercetum petraeae*). Njihovo pojavljanje in vloga sta pogosto vezana na specifične rastiščno-sestojne razmere in zaradi takih lastnosti so ustrezen bioindikator stanja okolja (Zechmeister in sod., 2003).

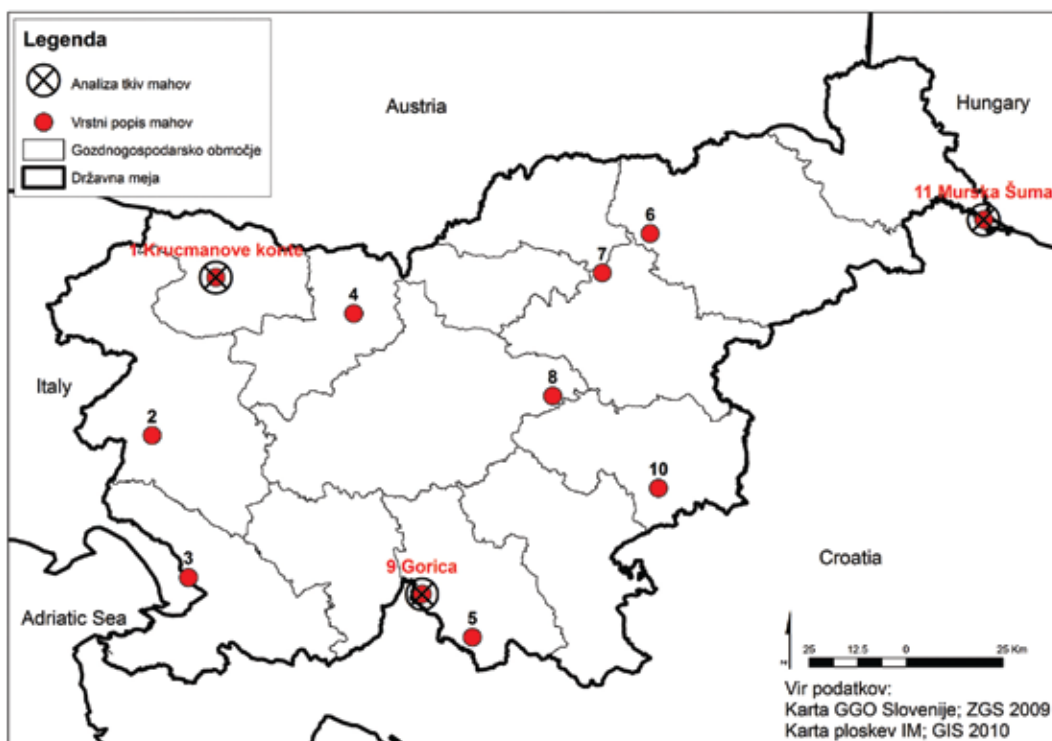
Mahovi so uporabni tudi kot biomonitorji, saj lahko količinsko izmerimo vrednosti posameznih elementov v njihovih tkivih (Arndt in sod., 1987; Zechmeister in sod., 2003). Večino mahov je ektohidričnih. To pomeni, da imajo slabo razvit koreninski sistem in nimajo razvite kutikule ter zato sprejemajo večino mineralnih snovi (hranil) in vode preko celotne površine, neposredno iz tal pa le v manjšem obsegu (Woolgrove in Woodin, 1996).

Ideja o uporabi mahov kot biomonitorjev težkih kovin v okolju se je prvič pojavila že v poznih šestdesetih letih prejšnjega stoletja (Rühling in Tyler, 1968). Leta 1980 se je na pobudo Švedske začel vzpostavljati sistematičen monitoring mahov z namenom ugotov-

vljanja količine težkih kovin v naravnem okolju. Leta 2000 je organizacijo monitoringa prevzel program ICP-Vegetation (WGE CLRTAP), od leta 2005 v njem sodeluje že osemindvajset evropskih držav (Harmens in sod., 2010). V istem letu so mahove uporabili tudi kot biomonitorje dušikovih spojin (Harmens in sod., 2008).

Cilj raziskave je prikazati možnosti za vrednotenje stanja okolja (bioindikacija) glede na mahove, ki se pojavljajo na ploskvah za intenzivno spremljanje stanja gozdnih ekosistemov (raven 2). Pri tem smo mahove kot indikatorje uporabili na dva načina:

- kot bioindikatorje – kjer smo glede na pojavljanje mahovnih vrst ovrednotili rastiščno-sestojne razmere,
- kot biomonitorje – kjer smo glede na vsebnost elementov dušika in žvepla v mahovih ocenili stanje omenjenih elementov v okolju (npr. onesnaženost) in jih primerjali s podatki v tuji literaturi.



Slika 1: Razporeditev ploskev za intenzivno spremljanje gozdnih ekosistemov v Sloveniji (predstavljenih je štirinajst območnih enot Zavoda za gozdove Slovenije)

Figure 1: Distribution of plots for intensive monitoring of forest ecosystems in Slovenia (14 regional units of the Slovenian Forest Service are presented)

2 RAZISKOVALNE PLOSKVE IN METODE

2 RESEARCH PLOTS AND METHODS

2.1 Raziskovalne ploskve

2.1 Research plots

Raziskava je potekala na ploskvah intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov (ICP-Forest, 2002) v letih 2004/05 in 2010. Ploskve so na različnih geoloških in pedoloških podlagah ter posledično v različnih tipih vegetacije (Kutnar, 2006; Kutnar in Martinčič, 2008).

Leta 2004 je bilo v Sloveniji takih ploskev enajst, v letu 2010 pa deset. Pet ploskev (2-Fondek, 4-Brdo, 5-Borovec, 8-Lontovž, 11-Murska šuma), kjer spremljamo več parametrov (fenologija, foliarne analize itn.), je dodatno opremljenih z merilnimi instrumenti, npr. lizimetri s podtlakom za merjenje kemizma talne raztopine, koši za spremljanje opada itn. (Vel in sod., 2004). Te ploskve so ograjene in so v prispevku predstavljene kot »bolj intenzivne« ploskve.

V letih 2004 in 2005 smo vrstni popis mahov izvedli na vseh enajstih ploskvah intenzivnega

monitoringaspremljanja. V letu 2010 smo vzorčenje mahov za analizo izbranih elementov izvedli na treh izbranih ploskvah (1-Krucmanove konte, 9-Gorica in 11-Murska šuma) (slika 1). Omenjene tri ploskve smo izbrali zaradi različnih prevladujočih drevesnih vrst. Na ploskvi 1 je prevladujoča drevesna vrsta navadna smreka (*Picea abies*), na ploskvi številka 9 sta bela jelka (*Abies alba*) in navadna bukev (*Fagus sylvatica*) ter na ploskvi 10 dob (*Quercus robur*).

2.2 Vrstni popis mahov

2.2 Inventory of bryophyte species

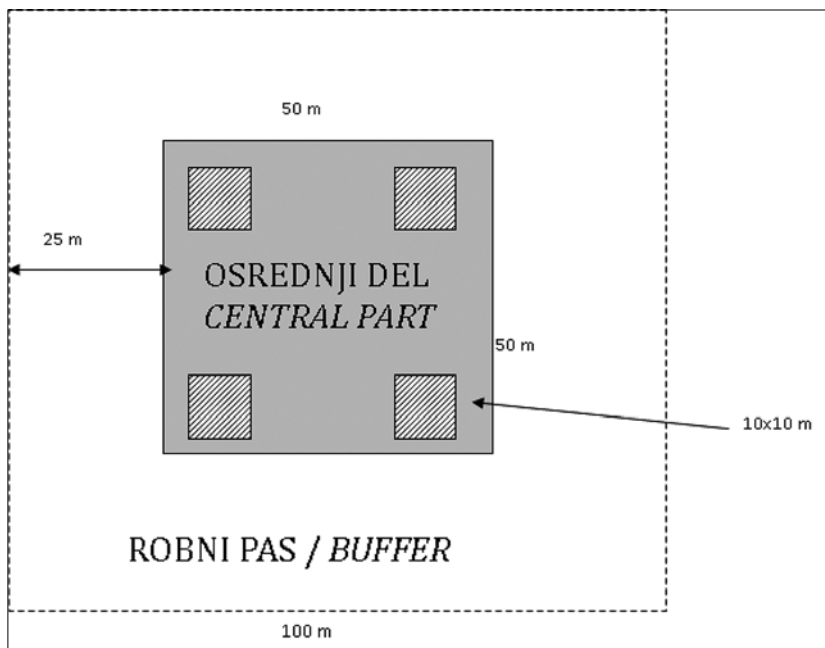
Mahove smo popisali na štirih podploskvah za proučevanje vegetacije, velikosti 10 × 10 m s popisno površino 400 m², ki so v osrednjem delu ploskve IM (slika 2). Na intenzivnejših ploskvah smo dodatno izbrali štiri primerjalne podploskve zunaj ograde, tako da je celotna popisna površina obsegala 800 m². Na vseh 64 podploskvah smo mahove popisali ločeno na treh različnih substratih: a) tla (mahovi rastoči na razvitih tleh), b) les (mahovi na odmrlih deblih, vejah, panjih in na skorji živih dreves),

Preglednica 1: Pestrost mahovnih vrst na celotnih ploskvah za intenzivni monitoring (prirejeno po Kutnar in Martinčič 2008).

Table 1: The total bryophyte species richness of intensive monitoring plots (according to Kutnar in Martinčič 2008).

Lokacija (IM ploskev)	Popisna površina	Prevladujoča drevesna vrsta	Št. mahov v osrednjem delu*
1-KRUCMANOVE KONTE (Pokljuka)	400 m ²	<i>Picea abies</i>	33
3-GROPAJSKI BORI (Sežana)	400 m ²	<i>Pinus nigra</i>	23
6-KLADJE (Pohorje)	400 m ²	<i>Picea abies</i>	18
7-TEMENJAK (Vinska gora, Dobrna)	400 m ²	<i>Fagus sylvatica</i>	31
9-GORICA (Draga, Loški potok)	400 m ²	<i>Fagus sylvatica</i> , <i>Abies alba</i>	36
10-KRAKOVSKI GOZD (Kostanjevica)	400 m ²	<i>Quercus robur</i> , <i>Carpinus betulus</i>	26
2-FONDEK (Trnovski gozd)	2 × 400 m ²	<i>Fagus sylvatica</i>	23 (26)
4-BRDO (Kranj)	2 × 400 m ²	<i>Pinus sylvestris</i>	11 (13)
5-BOROVEC (Kočevska Reka)	2 × 400 m ²	<i>Fagus sylvatica</i>	28 (36)
8-LONTOVŽ (Kum)	2 × 400 m ²	<i>Fagus sylvatica</i>	27 (33)
11-MURSKA ŠUMA (Lendava)	2 × 400 m ²	<i>Quercus robur</i> , <i>Carpinus betulus</i>	18 (24)
Minimum			11 (13)
Maksimum			36 (36)
Povprečje			24,9 (26,4)

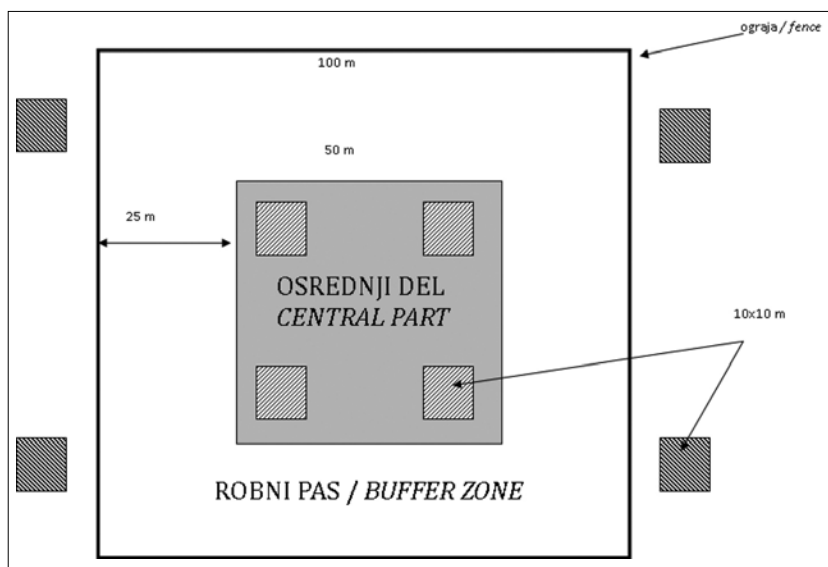
* V oklepajih je skupno število mahov na popisni površini 800 m² (na podploskvah v osrednjem delu in zunaj ograjene površine na zunanjih površinah)



Slika 2: Shema razporeditve vegetacijskih (pod)ploskev na ploskvah IM:
a) neograjena ploskev;
b) ograjena ploskev

Figure 2: Scheme of vegetation sub-plots distribution on IM plots:
a) unfenced plot;
b) fenced plot

a)



b)

c) kamen (mahovi na kamnih in skalah različnih velikosti).

Na temelju predhodnih raziskav (Martinčič, 2001; Martinčič, 2003; Kutnar in Martinčič, 2008) in podatkov v literaturi (Dierßen, 2001; Ódor in Van Dort, 2002; Atherton in sod., 2010) smo opredelili vezanost vrst na rastni substrat. Obravnavali smo različne skupine mahov, in sicer listnate mahove (*Bryophyta*), jetrenjake (*Mar-*

chantiophyta) in rogačarje (*Anthocerotophyta*) (Atherton in sod., 2010). Kot nomenklaturni vir smo uporabili delo Martinčiča (2003) za listnate mahove in Schumackerja in Váňa (2005) za rogačarje in jetrenjake (hepatike). Mahove je določil prof. dr. Andrej Martinčič.

a) neograjena ploskev/unfenced plot

b) ograjena ploskev/fenced plot

2.3 Vzorčenje mahov za analizo elementov

2.3 Moss sampling for elemental analysis

Vzorčenje mahov na izbranih ploskvah IMGE smo izvedli po navodilih programa ICP-Vegetation (WGE, CLRTAP) (Harmens, 2010), ki smo jih delno priredili za slovenske razmere. Na terenu smo vzorčili vrsto mahu štorovo sedje (*Hypnum cupressiforme* Hedw.). Razlog vzorčenja te vrste mahu je, da ga kot eno izmed primernih bioindikatorskih vrst predlagajo v navodilih vzorčevanja (Harmens, 2010) tudi nekateri drugi avtorji (Zechmeister in sod., 2003). Poleg tega je vrsta v Sloveniji zelo pogosta, saj sta jo Kutnar in Martinčič (2008) na ploskvah IMGE pri vrstnem popisu mahov našla kar na desetih ploskvah od enajstih. Vrsta se ni pojavila le na ploskvi Brdo, kjer pa smo jo odkrili v neposredni bližini.

Na vsaki ploskvi smo mahove vzorčili na desetih mestih na površini približno 50 m x 50 m, in sicer na petih mestih v gozdnih vrzelih, jasad ali ekstenzivnih pašnikih in na petih mestih pod krošnjami dreves. Pri vzorčenju na odprtih površinah smo nabrali mahove, ki niso bili neposredno zastrti s krošnjami bližnjih dreves, saj dež lahko spira elemente z dreves na mahove pod njimi, kar spremeni vsebnosti elementov v njih (Harmens, 2010). Vzorčna mesta pod krošnjami dreves so bila praviloma na sami ploskvi oz. njeni neposredni bližini, kjer je bila zgradba gozda na mestu vzorčenja podobna zgradbi na ploskvi.

Pri vzorčenju smo izbirali lokacije, ki so nekoliko dvignjene (glede na okoliški relief). Tako smo zmanjšali vpliv površinskih voda na delež elementov v mahovih. Mahov tudi nismo vzorčili na dniščih dreves zaradi vpliva odtoka po deblu. Izključili smo tudi mahove, na katerih so bili vidni delci prahu, živalskih iztrebkov ali so bili mehansko poškodovani.

Za laboratorijsko analizo smo uporabili le zeleni, živi del mahu, ki je prirasel v zadnjih treh letih. Od vsakega podvzorca smo v skupni vzorec oddali enako količino mahu. Analize vsebnosti skupnega dušika in žvepla v mahovih so bile opravljene v laboratoriju za gozdno ekologijo (LGE) na Gozdarskem inštitutu Slovenije z elementnim analizatorjem LECO CNS-2000. Vzorce smo posušili pri sobni temperaturi. Za

primerljivost rezultatov z drugimi študijami smo izmerjene vsebnosti dušika in žvepla korigirali z vsebnostjo vlage v vzorcu (Harmens, 2010). Vsebnost vlage smo vzorcem določili po sušenju na 40 °C in 105 °C. Z vsebnostjo vlage vzorca na 40 °C smo korigirali vsebnost skupnega dušika in z vsebnostjo vlage vzorca na 105 °C vsebnost skupnega žvepla.

3.3 Uporabljene statistične metode

3.3 Applied statistical methods

S programskim paketom program PC-ORD (McCune in Mefford, 1999, 2006) smo naredili multivariatno analizo ploskev NMS (Non Metric Multidimensional Scaling) glede na vrstno sestavo mahovne flore. Kot mero podobnosti smo uporabili Sørensenov oz. Bray-Curtisov koeficient. Razvrščanje ploskev v ordinacijskem prostoru glede na vrstne sestave mahovne flore (*presence/absence*) je nakazalo rastiščne in ekološke razmere. Za izris grafov, kjer smo primerjali rezultate vsebnosti skupnega dušika in žvepla na izbranih treh ploskvah IMGE z nekaterimi drugimi avtorji, smo uporabili programski paket R 2.12.0.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Bioindikacija rastiščnih in sestojnih razmer

3.1 Bioindication of site and stand conditions

Vrstna sestava mahov, ki je služila kot podlaga za multivariatno analizo, je jasno nakazala rastiščno-ekološke, vegetacijske in sestojne podobnosti ploskev (slika 3). Ordinacija je združila ploskve z največjo vrstno podobnostjo mahov, ki so hkrati podobne v drugih elementih (rastiščno-ekološke, vegetacijske in sestojne značilnosti). V zgornjem delu ordinacijskega prostora (slika 3) so ploskve pretežno na karbonatnih in mešanih matičnih podlagah, v spodnjem pa ploskve na nekarbonatnih (silikatnih) podlagah.

Največjo skupino tvorijo ploskve, ki so poraščene z različnimi bukovimi in jelovo-bukovimi gozdovi (osrednji del grafikona XY). Mahovi, popisani na teh ploskvah, nakazujejo mezofilne rastiščne razmere. Med njimi so ploskve Temenjok,

Lontovž in Borovec, ki so poraščene z gorskim bukovim gozdom. Prvi dve porašča predalpski gorski bukov gozd (*Lamio orvalae-Fagetum* (Ht., 1938) Borh., 1963, var. geogr. *Dentaria pentaphyllos* (Mar. 1981) Mar. 1995), ploskev Borovec pa predinarski gorski bukov gozd (*Lamio orvalae-Fagetum* (Ht., 1938) Borh., 1963, var. geogr. *Dentaria polyphyllus* Koš., 1962). Na ploskvah s predalpskim gorskim bukovim gozdom smo našli kar okoli tri četrtine vseh mahovnih vrst. V podobnih rastiščnih razmerah in s podobno vrstno mahovno sestavo kot ploskve v gorskem bukovem gozdu je tudi ploskev Gorica z dinarskim jelovo-bukovim gozdom (*Omphalodo-Fagetum* (Treg., 1957) Mar. et al., 1993 var. geogr. *Calamintha grandiflora* Sur. (2001) 2002). Na omenjenih štirih ploskvah IMGGE smo določili več kot šestdeset različnih vrst mahov, med katerimi je bila približno tretjina jetrenjakov.

Vse ploskve z bukovim in jelovo-bukovim gozdom se pojavljajo na dolomitu in apnencu. Mahovna flora deli ploskve tudi glede na vrsto karbonatne podlage. V skupini bukovih in jelovo-bukovih ploskev so v spodnjem delu ploskve pretežno na dolomitu (Gorica, Temenjaki in Lontovž), v zgornjem delu pa sta ploskvi na apnencih z večjo površinsko skalnatostjo (Borovec, Fondek).

Razmeroma veliko podobnost v vrstni sestavi mahov kažejo tudi ploskvi Fondek in Gropajski bori. Čeprav so na teh ploskvah precej različne sestojne in vegetacijske razmere, saj prvo porašča primorski bukov gozd (*Sesleria autumnalis-Fagetum* M. Wrab. ex Borh., 1963, var. geogr. *Anemone trifolia* Daks., 1991), drugo pa sekundarni gozd črnega bora s primešanimi avtohtonimi termofilnimi listavci (*Sesleria-Pinetum nigrae* Zup. 1999 nom. prov.), se obe ploskvi pojavljata na apnencih z veliko površinsko skalnatostjo. Na obeh lahko zaznamo tudi poudarjen vpliv toplejšega (sub) sredozemskega podnebja. Skupna značilnost obeh ploskev je tudi izrazito prevladovanje jesenske vilovine (*Sesleria autumnalis* (Scop.) F. W. Schultz) v zeliščni plasti. Tako kot preostalo rastlinstvo tudi mahovi kažejo na toplejše podnebje: značilno ekološko skupino predstavljajo različne epilitske vrste (pojavljajo se predvsem na skalah, kamnih) in nekatere oportunistične vrste (ni razvidna vezanost na določeno podlago in se pojavljajo

na različnih podlagah). Število epifitskih vrst (pojavlja se predvsem na skorji dreves) je zaradi prevladujoče bukve na ploskvi Fondek večje kot na rastno neugodnejših črnih borih na ploskvi Gropajski bori (Kutnar & Martinčič, 2008).

Čeprav ploskev Krucmanove konte na Pokljuki porašča sekundarni smrekov gozd (*Aposerido-Piceetum* Zup. (1978) 1999 var. geogr. *Helleborus niger* subsp. *niger* Zup. (1995) 1999), smo na podlagi mahovne sestave ponovno potrdili podobnost z bukovimi ploskvami. Podobno kot v predhodnih analizah (Kutnar, 2006, Kutnar & Martinčič, 2008) lahko ugotovimo, da je ploskev na potencialnem rastišču bukovega gozda ali jelovo-bukovega gozda, kar nakazujejo različni fagetalni elementi. Na mešani moreni, na kateri ni enotnih talnih razmer, se na mestih z bolj zakisanim surovim humusom iz pretežno smrekovih iglic pojavljajo acidofilne piceetalne vrste. Predvsem na delih ploskve s posameznimi karbonatnimi skalami in delih, kjer se je zaradi izruvanja dreves razgalila zgornja plast tal, se večja dostopnost karbonatov kaže v številnih fagetalnih vrstah. Več kot polovica vseh mahov, ki smo jih popisali na ploskvi Krucmanove konte, se pojavlja tudi na ploskvah z bukovim gozdom.

Ploskvi Brdo in Kladje, za kateri so značilna distrična tla na nekarbonatnih matičnih podlagah, sta se glede na pojavljanje mahovnih vrst izrazito ločili od vseh preostalih ploskev (slika 3). Skupna značilnost ploskev, od katerih je prva poraščena z gozdom rdečega bora (*Vaccinio myrtilli-Pinetum* Kob. 1930 var. geogr. *Castanea sativa* Tom. 1940), druga pa z drugotnim smrekovim gozdom (*Avenello flexuosae-Piceetum* M. Wrab. ex Hadač in Hadač et al. 1969 corr. Zup. 1999 var. geogr. *Aposeris foetida* Zup. 1999), je pojavljanje acidofilnih florističnih elementov, specifična vrstna sestava in majhno število mahovnih vrst. V razmeroma odprtem sestoji rdečega bora na ploskvi Brdo, kjer so tla in mikroklima relativno sušna, smo popisali le trinajst mahovnih vrst. Na število mahov negativno vplivajo tudi drevesa oz. les rdečega bora, ki ni ugodna rastna podlaga za mahove. Med osemnajstimi vrstami, popisanimi na ploskvi Kladje na Pohorju, je kar osem jetrenjakov, kar nakazuje na veliko zračno vlago na tej ploskvi (Kutnar in Martinčič, 2008).

Nadaljevanje na strani 425

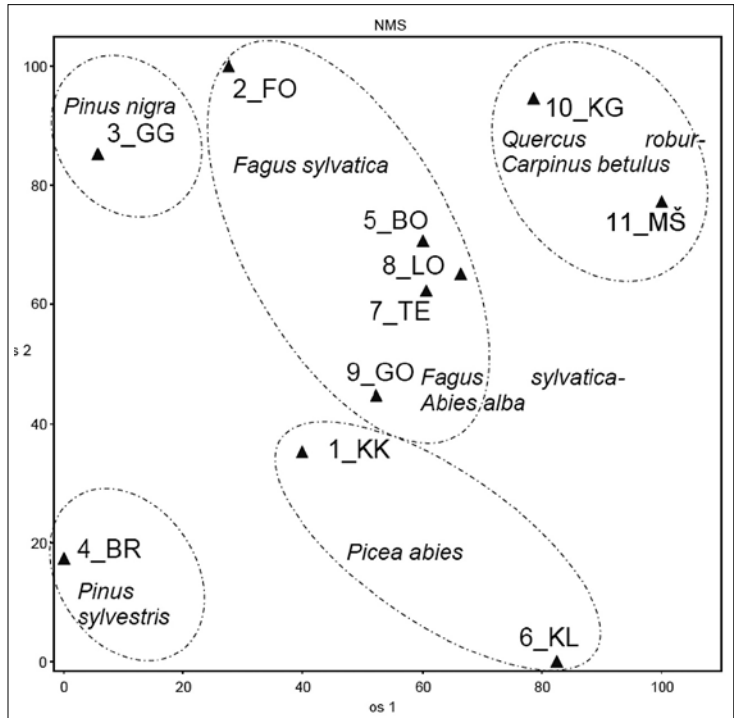
Nadaljevanje s strani 480

Slika 3: NMS-ordinacija ploskev IM na osnovi prisotnosti/odsotnosti 109 mahovnih vrst. Prikazane so prevladujoče drevesne vrste v gozdnih sestojih na ploskvah IM.

Figure 3: NMS ordination of IM plots based on presence/absence of 109 bryophytes species. The dominant tree species of forest stands on IM plots are indicated.

Legenda/Legende:

1_KK: KRUCMANOVE KONTE (Pokljuka); 2_FO: FONDEK (Trnovski gozd); 3_GG: GROPAJSKI BORI (Sežana); 4_BR: BRDO (Kranj); 5_BO: BOROVEC (Kočevska Reka); 6_KL: KLADJE (Osankarica, Pohorje); 7_TE: TEMENJAK (Vinska gora, Dobrna); 8_LO: LONTOVŽ (Kum); 9_GO: GORICA (Draga, Loški potok); 10_KG: KRAKOVSKI GOZD (Kostanjevica na Krki); 11_MS: MURSKA ŠUMA (Lendava)



V zgornjem desnem vogalu slike 3 sta ploskvi Murska šuma in Krakovski gozd. Zanju je značilno pojavljanje nižinskega gozda doba in navadnega belega gabra na tleh, ki so pod izrazitim vplivom visoke podtalnice, kar se odraža tudi v sestavi mahovne flore. Več kot polovico vrst mahov sicer sestavljajo oportunistične vrste, zelo pa je zastopana tudi skupina epifitov. V razmerah velike zračne in talne vlažnosti naseljujejo predvsem razpokano skorjo na deblih doba in drugih drevesnih vrst. Na omenjenih ploskvah so redke terikolne vrste (vrste, ki se pojavljajo predvsem na mineralnih tleh). Glede na odsotnost površinskih skal pa na teh ploskvah ne najdemo epilitskih vrst.

3.2 Biomonitoring spremljanja koncentracij dušika in žvepla v mahovih

3.2 Biomonitoring of the concentration of nitrogen and sulfur elements in mosses

Analize vzorčenih mahov so pokazale, da so največje vsebnosti skupnega dušika v mahovih,

ki so bili vzorčeni v bližini ploskve Murska šuma (Preglednica 2). V letih 2001 in 2006, ko so mahove (štorovo sedje) vzorčili na isti ploskvi pod krošnjami dreves, so v njih izmerili 23,6 mg/g dušika (Jeran, 2011). V primerjavi s preostalima ploskvama (Krucmanove konte in Gorica) smo pričakovali večje vsebnosti dušika na ploskvi Murska šuma. Nižinska severovzhodna Slovenija zaradi intenzivnega kmetijstva spada med bolj obremenjena območja z dušikovimi spojinami. Čezmerna uporaba gnojil in fitofarmaceutskih sredstev povzroča njihovo izpiranje v podtalnico (Repe, 2009). Najmanjše vsebnosti skupnega dušika v mahovih so bile v bližini ploskve Krucmanove konte na Pokljuki, kar je verjetno posledica odmaknenosti ploskve od intenzivnih kmetijskih površin, in večjih prometnic ter naselij, ki so pomemben vir dušikovih spojin. Količine dušika v mahovih pod krošnjami dreves na ploskvi Gorica, v bližini Loškega Potoka, (Preglednica 2), so primerljive z rezultati iz leta 2001, ko so na bližnji raziskovalni ploskvi v mahovih pod krošnjami dreves izmerili 17,5 mg/g dušika (Jeran, 2011).

Preglednica 2: Vsebnost skupnega dušika (N) in žvepla (S) v mahovih na treh izbranih ploskvah IMGE
Table 2: Content of ni trogen (N) and sulphur (S) in mosses on the selected IMGE plots

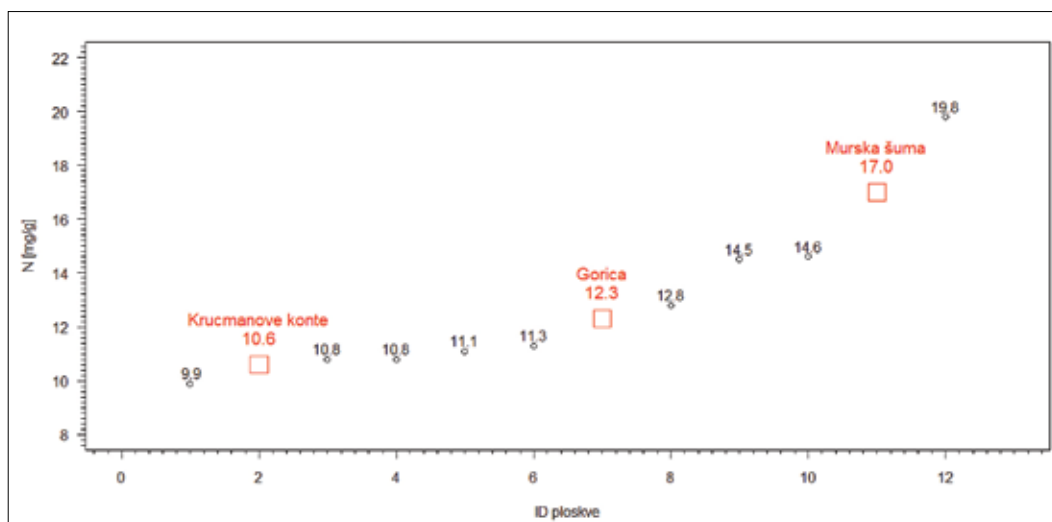
Št. vzorca	Št. ploskve	Ime ploskve	Lokacija vzorčenja	N [mg/g] kor. 40 °C	S [mg/g] kor. 105 °C
1	1	Krucmanove konte	na odprtem	10.6	1.1
2	1	Krucmanove konte	pod krošnjami	13.0	1.3
3	9	Gorica	na odprtem	12.3	1.1
4	9	Gorica	pod krošnjami	17.2	1.5
5	11	Murska šuma	na odprtem	17.0	1.5
6	11	Murska šuma	pod krošnjami	20.0	1.7

Primerjava vsebnosti skupnega dušika v štorem sedju na izbranih ploskvah IMGE v Sloveniji z rezultati biomonitoringa dušika iste vrste na švicarskih IMGE oz. LWF ploskvah za leto 2005 (Thöni in sod., 2008) pokaže, da je ploskev Murska šuma med bolj onesnaženimi ploskvami, ploskev Krucmanove konte na Pokljuki pa je relativno malo obremenjena z dušikom (slika 4). Ploskev Gorica se je uvrstila med srednje onesnažene, vendar pa vsebnost dušika v mahovih za to ploskev presega mediano, ki znaša za ploskve LWF 11,3 mg/g dušika.

Rezultate vsebnosti skupnega žvepla v mahovih smo primerjali z rezultati Novaka in sod. (2001), ki so vzorčili šotne mahove na petih ploskvah (2 x Češka, 1 x Škotska, 1 x Irska in 1 x Anglija).

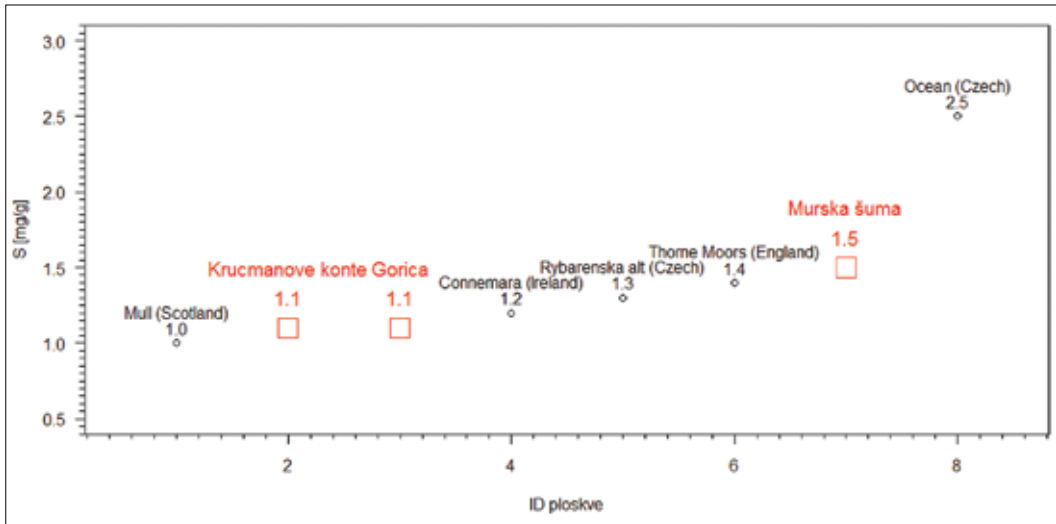
Ugotovili smo, da je v mahovih na prostem na ploskvah Krucmanove konte in Gorica enaka vsebnost skupnega žvepla (Preglednica 2) kot v mahovih na ploskvi Mull na Škotskem. V šotnih mahovih na omenjeni ploskvi je bila najmanjša vsebnost žvepla od petih ploskev, ki so jih analizirali Novak in sod. (2001). Vsebnost žvepla na ploskvi Murska šuma je bila primerljiva s ploskvijo v Angliji (slika 5), kjer je v neposredni bližini termoelektrarna. V raziskavi Novaka in sod. (2001) je bila večja vsebnost žvepla v mahovih le še na ploskvi na Češkem (2,5 mg/g), ki leži v bližini termoelektrarne.

Na vseh ploskvah IMGE so bile vsebnosti dušika in žvepla v mahovih pod krošnjami dreves večje kot na odprtem (nezastrito s krošnjami). Podobne



Slika 4: Umestitev izbranih ploskv IMGE v Sloveniji glede na vsebnost skupnega dušika v mahovih v letu 2010 med ploskve, ki so jih za leto 2005 za območje Švice predstavili Thöni in sod. (2008).

Figure 4: Concentration of total nitrogen in mosses on the selected IMGE plots in Slovenia and their placement among Swiss plots for the year 2005.



Slika 5: Umestitev izbranih ploskev IMGE v Sloveniji glede na vsebnost skupnega žvepla v mahovih v letu 2010 med ploskve, ki so jih za leto 2001 predstavili Novak in sod.(2001).

Figure 5: Concentration of total sulphur in mosses at the selected IMGE plots in Slovenia and their placement among plots presented by Novak et al. in the year 2001.

so ugotovitve Poikolainena in sod. (2009), ki navajajo, da na vsebnost dušika v bleščočem sedju (*Hylocomium splendens* (Hedw.) B., S. & G.) pomembno vplivajo tudi značilnosti sestoja (tip gozda, drevesne vrste, temeljnica dreves itn.). Ocenili so, da je lahko eden od razlogov, da je odlaganje suhih depozitov na liste/iglice in je krošenj večji kot na prostem. S spiranjem suhih depozitov s krošenj v spodnje plasti sestoja se povečuje vsebnosti elementov v mahovih. Podobne rezultate so ugotovili tudi Liu in sod. (2007) ter Samecka - Cymerman in sod. (2010).

4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSION

V prispevku smo prikazali dva različna pristopa uporabe mahov kot bioindikatorjev. Prvi pristop se nanaša na vrstni popis mahov, drugi pa na analizo vsebnosti skupnega dušika in žvepla v mahovih vrste štorovo sedje. Analize so pokazale, da so lahko tudi mahovi dober indikator razmer v okolju.

V primeru vrstnega popisa mahov smo z uporabo multivariatne tehnike (NMS) ugotavljali podobnosti v vrstni sestavi mahov na ploskvah IMGE. Podobna vrstna sestava mahovne flore posredno kaže tudi podobnost rastiščnih, vege-

tacijskih in fitogeografskih razmer. Kot kažejo analize, je vrstna sestava mahov rezultat različnih dejavnikov, med njimi imajo pomemben vpliv gozdna vegetacija in prevladujoče drevesne vrste, ki lahko značilno vplivajo na določene rastiščne razmere v gozdu in so hkrati tudi posebni rastni substrat za mahove (epifitne in lignikolne vrste). Na pojavljanje specifičnih vrst (npr. epiksilne (lignikolne) in epifitne vrste) in na celotno vrstno pestrost mahov izraziteje vpliva tudi les odmrlih dreves. Poleg tega so razlike oz. podobnosti med sestavo vrst odvisne tudi od geološke matične podlage (npr. epilitne vrste) in z njo povezanih talnih razmer (npr. terikolne vrste). V primeru ploskev IMGE sta se dejavnika (matična podlaga in tla) zelo jasno odrazila v številu in zastopanosti mahovnih vrst. V določenih primerih podobnost vrstne sestave mahov nakazuje poudarjen vpliv specifičnega regionalnega podnebja.

Analiza mahov na izbranih treh ploskvah IMGE je pokazala, da so vsebnosti skupnega dušika in žvepla v mahovih največje na ploskvi Murska šuma in najmanjše na ploskvi Krucmanove konte na Pokljuki. Takšne rezultate smo pričakovali, saj je ploskev Murska šuma obdana z intenzivnimi kmetijskimi površinami in v bližini ploskve poteka tudi novi avtocestni križ A5, ki je eden od glavnih

koridorjev s tovornim prometom med zahodno in vzhodno Evropo. Vsebnosti skupnega dušika in žvepla v mahovih na izbranih ploskvah IMGE v Sloveniji so primerljive z raziskavami nekaterih drugih avtorjev. Izstopa le ploskev Murska šuma, ki se glede na rezultate primerljivih študij uvršča med bolj onesnažene ploskve.

Metode bioindikacije so posredne metode ocenjevanja stanja okolja. Kadar so te metode razvite in testirane v drugačnih geografskih razmerah, jih je pred širšo uporabo smiselno kalibrirati in tako preveriti njihovo uporabnost. V Sloveniji imamo podatke o analizah padavin v gozdovih na izbranih ploskvah IMGE. Na teh ploskvah bi lahko primerjali vsebnosti skupnega dušika in žvepla v mahovih z izmerjenimi količinami skupnega dušika in žvepla v padavinah.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

V okviru intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov (IMGE) v Sloveniji smo proučevali tudi mahovno floro. Raziskava je potekala na enajstih ploskvah IMGE, ki so razporejene prek celotne Slovenije in so bile vzpostavljene tako, da predstavljajo glavne slovenske gozdne združbe (Čater in sod., 2003; Kutnar, 2006). Na vseh ploskvah IMGE smo ugotavljali bioindikacijsko vlogo mahov. Z uporabo multivariatne tehnike (NMS) smo ploskve IMGE, ki so si podobne v vrstni sestavi mahov, združili v skupine, ki kažejo na podobne specifične značilnosti območja. Pomembnejši dejavnik, ki vpliva na vrstno sestavo mahov na ploskvi, je prevladujoča drevesna vrsta, ki je pomemben substrat za naseljujoče mahovne vrste (epifitne, epiksilne). Na ploskvah, na katerih je prevladujoča drevesna vrsta bukev, smo opazili pomemben vpliv regionalnega podnebja – fitogeografskih regij. Značilnosti tal in matične podlage neposredno vplivajo na terikolne vrste in posredno na vrste mahov, ki rastejo na dniščih dreves, korenčniku in izpostavljenih koreninah. Vrstna pestrost mahov je pokazatelj stanja rastišča (npr. matične podlage, skalnatosti površja, stanja tal, mikro in regionalne klime, vegetacije) in stanja gozdnega sestoja (dominantna drevesna vrsta, les posušenih dreves).

V letu 2010 smo na treh izbranih ploskvah

IMGE (IMGE 1 Krucmanove konte, IMGE 9 Gorica in IMGE 11 Murska šuma) vzorčili mahove z namenom ugotavljanja vsebnosti dušika in žvepla. Mahove namreč lahko uporabljamo tudi kot biomonitorje, saj so ektohidrični, kar pomeni, da imajo slabo razvit koreninski sistem in nimajo razvite kutikule. Zato sprejemajo večino mineralnih snovi in vode prek vse površine, neposredno iz tal pa le v manjšem obsegu. Analiza tkiv mahov na treh ploskvah IMGE je pokazala, da so vsebnosti skupnega dušika in žvepla v mahovih največje na ploskvi Murska šuma in najmanjše na ploskvi Krucmanove konte na Pokljuki. Rezultati vsebnosti skupnega dušika in žvepla v mahovih na izbranih ploskvah IMGE so se smiselno ujemali z rezultati nekaterih drugih avtorjev. Izstopa le ploskev Murska šuma, ki se glede na rezultate primerljivih študij uvršča med ploskve, ki so s skupnim dušikom in žveplom bolj obremenjene.

6 SUMMARY

As a part of the Intensive Monitoring Programme of Forest Ecosystems (IMFE) in Slovenia, the bryophyte flora has been studied. The research took place on eleven IMFE plots distributed over whole Slovenia and established in such a way that they represent main Slovenian forest associations (Čater et al., 2003; Kutnar, 2006). We were determining bioindication role of mosses on all IMFE plots. Applying multivariate technique (NMS) we arranged the IMFE plots with resembling bryophyte species composition into groups showing similar specific area characteristics. An important factor affecting species composition of mosses on a plot is the prevailing tree species representing an important substrate for the inhabiting moss species (epiphyte, epixylic). On the plots with beech as the prevailing tree species we noticed significant influence of regional climates – phytogeographical regions. Soil and parent bedrock characteristics directly affect terricolous species and indirectly moss species growing on the tree's bottom, trunk and exposed roots. Bryophyte species diversity indicates site condition (e.g. parent bedrock, surface rockiness, soil condition, micro and regional climate, vegetation) and forest stand condition (dominant tree

species, dead wood).

In 2010 we were sampling mosses on three selected IMFE plots (IMFE1 Krucmanove konte, IMFE 9 Gorica and IMFE 11 Murska šuma) with the aim to find out nitrogen and sulphur content. Mosses can also be used as biomonitors, since they are ectohydric, i.e. their root system is poorly developed and their cuticle is not developed. Thus they receive the majority of mineral substances and water through the entire surface and only a lesser part directly from the soil. Analysis of moss tissue on three IMFE plots showed that concentrations of total nitrogen and sulphur in mosses were the highest on Murska šuma plot and the lowest on Krucmanove konte plot on Pokljuka. The results of total nitrogen and sulphur concentration in mosses on the selected IMFE plots in the general sense correspond with the results of some other authors. Comparing the results with some other comparable investigations, only the Murska šuma plot with its relative high concentrations of total nitrogen and sulphur in moss tissue stands out.

7 ZAHVALA

7 ACKNOWLEDGEMENT

Zahvaljujmo se prof. dr. Andreju Martinčiču za določitev mahov v okviru vrstnega popisa mahov, študentom Maji Vrčkovnik, Tadeju Serdinšku in Boži Majstorovič za pomoč pri terenskem vzorčenju in čiščenju mahov, Janji Smrke (IJS) za pomoč pri pripravi vzorcev ter Danielu Žlindri in ekipi laboratorija LGE na GIS za laboratorijske analize. Raziskava je potekala v okviru programa intenzivnega spremljanja gozdov v Sloveniji (EU program Forest Focus), projekta FutMon Life+ in programa ICP - Vegetation. Raziskave je podprlo tudi Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS in Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS v okviru Programskih skupin P4-0107 (GIS) in P1-0143 (IJS).

8 VIRI

8 REFERENCES

- Arndt, U., Nobel W., Schweizer B., 1987. Bioindikatore - Möglichkeiten, grenzen und neue erkenntnisse. Stuttgart, Ulmer:388 str.
- Atherton, I., Bosanquet, S., Lawley, M., 2010. Mosses and liverworts of Britain and Ireland - a field guide. Plymouth, British Bryological Society:848 str.
- Batič, F., Kalan, P., Kraigher, H., Šircelj, H., Simončič, P., Vidregar - Gorjup, N., Turk, B. 1999. Bioindication of different stresses in forest decline studies in Slovenia. Water, air, & soil pollution, 116, 1: 377-382
- Čater, M., Hočevar, M., Kalan, P., Kovač, M., Kutnar, L., Mavsar, R., Simončič, P., Smolej, I., Urbančič, M., Vel, E., 2003. Intensive monitoring programme in Slovenia (IMP-SI) : basic structural document: project document. Ljubljana, Wageningen, Slovenian Forestry Institute, Alterra:68 str.
- de Vries, W., Reinds, G. J., Posch, M., Sanz, M. J., Krause, G. H. M., Calatayud, V., Renaud, J. P., Dupouey, J. L., Sterba, H., Vel, E. M., Dobbertin, M., Gundersen, P., Voogd, J. C. H., 2003a. Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe - Technical Report 2003. Brussels, Geneva, EC, UN/ECE: 163 str.
- de Vries, W., Vel, E., Reinds, G. J., Deelstra, H., Klap, J. M., Leeters, E. E. J. M., Hendriks, C. M. A., Kerkvoorden, M., Landmann, G., Herkendell J., Haussmann T., Erisman J. W., 2003b. Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe: 1. Objectives, set-up and evaluation strategy. Forest Ecology and Management, 174, 1-3: 77-95
- Dierßen, K., 2001. Distribution, ecological amplitude and phytosociological characterization of European bryophytes. Berlin, Stuttgart, Band 56:289 str.
- Ellenberg, H. 1991. Zeigerwerte der Gefäßpflanzen (ohne Rubus). Scripta Geobotanika, 18: 9-166
- Ernst, W. H. O., 2003. The use of higher plants as bioindicators. V: Bioindicators & Biomonitors. Market B.A., Breure A.M., Zechmeister H.G. (eds.). Amsterdam, Elsevier: 423-463
- Fink, R., Oder, M., Godič Torkar, K., 2009. Mikrobiološka kakovost vode iz individualnih zajetij in vodnjakov. Raziskovalni dan Zdravstvene fakultete. Ljubljana: 135-146
- Fränzle, O., 2006. Complex bioindication and environmental stress assessment. Ecological Indicators, 6, 1: 114-136
- Harmens, H., 2010. Monitoring of atmospheric heavy metal and nitrogen deposition in Europe using Bryophytes - Monitoring manual. Gwynedd, ICP Vegetation Coordination Centre:9 str.
- Harmens, H., Norris, D., Cooper, D., Hall, J., 2008. Spatial trends in nitrogen concentrations in mosses across Europe in 2005/2006. Gwynedd, ICP Vegetation Programme Coordination Centre: 18 str.
- Harmens, H., Norris, D. A., Steinnes, E., Kubin, E., Piispanen, J., Alber, R., Aleksiyenak, Y., Blum, O., Coskun, M., Dam, M., De Temmerman, L., Fernández, J. A., Frolova, M., Frontasyeva, M., González - Miqueo, L., Grodzinska, K., Jeran, Z., Korzekwa, S., Krmar, M., Kvietskus, K., Leblond, S., Liiv, S., Magnússon, S. H., Mankovská, B., Pesch, R., Rühling, Å., Santamaria, J. M., Schröder, W., Spiric, Z., Suchara, I., Thöni,

- L., Urumov, V., Yurukova, L., Zechmeister, H. G., 2010. Mosses as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: Spatial patterns and temporal trends in Europe. *Environmental Pollution*, 158, 10: 3144–3156
- ICP-Forest, 2002. Ground Vegetation: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests - Part VIII: Assessment of ground vegetation. Hamburg:19 str.
- Jeran, Z., 2011. Vsebnost skupnega dušika v mahovih na IMGE ploskvi Murska šuma v letu 2001 in 2006. Ljubljana (osebni vir, marec 2011).
- Kutnar, L., 2006. Intenzivni monitoring vegetacije gozdnih ekosistemov v Sloveniji. V: Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdno krajino, *Studia Forestalia Slovenica*. Hladnik D. (ed.). Ljubljana, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 277–290
- Kutnar, L., Martinčič, A., 2008. Bryophyte species diversity of forest ecosystems in Slovenia (intensive monitoring programme). *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 85: 11–26
- Liu, X.-Y., Xiao, H.-Y., Liu, C.-Q., Li, Y.-Y., 2007. [δ]¹³C and [δ]¹⁵N of moss *Haplocladium microphyllum* (Hedw.) Broth. for indicating growing environment variation and canopy retention on atmospheric nitrogen deposition. *Atmospheric Environment*, 41, 23: 4897–4907
- Markert, B. A., Breure, A. M., Zechmeister, H. G., 2003. *Bioindicators & Biomonitors*. Amsterdam, Elsevier:997 str.
- Martinčič A. 2001. Mahovi. V: Pregled stanja biotske raznovrstnosti in krajinske pestrosti v Sloveniji. Hlad B., Skoberne P. (eds.). Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije, Agencija RS za okolje: 67–68
- Martinčič, A., 2003. Seznam listnatih mahov (Bryopsida) Slovenije. *Hacquetia*, 2, 1: 91–166
- McCune, B., Mefford, M. J., 1999. *Pc-Ord: Multivariate analysis of ecological data, Version 3.0.*- Mjm Software Design. Oregon, Gleneden Beach:237 str.
- McCune, B., Mefford, M. J., 2006. *Pc-Ord: Multivariate analysis of ecological data, Version 5.10.*- Mjm Software Design. Oregon, Gleneden Beach:237 str.
- Novak, M., Bottrell, S. H., Prechova, E. 2001. Sulfur isotope inventories of atmospheric deposition, spruce forest floor and living Sphagnum along a NW-SE transect across Europe. *Biogeochemistry*, 53, 1: 23–50
- Ódor, P., Van Dort, K. 2002. Beech dead wood inhabiting bryophyte vegetation in two Slovenian forest reserves. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 69: 155–169
- Pavšič – Mikuž, P., 2005. Kovine in mikroelementi v mahovih in epifitskih lišajih na območju Slovenije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo:117 str.
- Poikolainen, J., Piispanen, J., Karhu, J., Kubin, E., 2009. Long-term changes in nitrogen deposition in Finland (1990-2006) monitored using the moss *Hylocomium splendens*. *Environmental Pollution*, 157, 11: 3091–3097
- Repe, B., 2009. Izguba rodovitnih prsti Prekmurja zaradi trajnih sprememb rabe tal. Pomurje : trajnostni regionalni razvoj ob reki Muri Ljubljana, Murska Sobota, Zveza geografov Slovenije: 20: 172–142
- Rühling, Å., Tyler, G., 1968. An ecological approach to the lead problem. *Botaniska Notiser*, 122: 248–342
- Samecka – Cymerman, A., Kolon, K., Kempers, A. J., 2010. Influence of *Quercus robur* throughfall on elemental composition of *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. and *Hypnum cupressiforme* Hedw. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19, 4: 763–769
- Schumacker, R., Vaña, J., 2005. Identification keys to the liverworts and hornworts of Europe and Macaronesia (distribution and status). *Poznań, Sorus*:209 str.
- Simončič, P., 2001. Rezultati intenzivnega monitoringa - raven II. Monitoring gozdnih ekosistemov - popis zdravstvenega stanja gozdom v letu 2000: 7–11
- Solga, A., Burkhardt, J., Zechmeister, H. G., Frahm, J., P., 2005. Nitrogen content, ¹⁵N natural abundance and biomass of the two pleurocarpous mosses *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. and *Scleropodium purum* (Hedw.) Limpr. in relation to atmospheric nitrogen deposition. *Environmental Pollution*, 134, 3: 465–473
- Tausz, M., Batic, F., Grill, D., 1996. Bioindication at forest sites - concepts, practice, and outlook. *Phyton-Annales Rei Botanicae*, 36, 3: 7–14
- Thöni, L., Matthaei, D., Seitler, E., Bergamini, A. 2008. Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz. Moosanalysen 1990–2005. *Umwelt-Zustand Nr. 0827 Bundesamt für Umwelt*. Bern, Bundesamt für Umwelt (BAFU):150 str.
- van Dobben, H. F., Braak, C. J. F., Dirkse, G. M., 1999. Undergrowth as a biomonitor for deposition of nitrogen and acidity in pine forest. *Forest Ecology and Management*, 114, 1: 83–95
- Vel, E., Simončič, P., Kalan, P., Mavsar, R., Smolej, I., 2004. Intenzivno spremljanje stanja gozdnih ekosistemov (IMP-SI) Letno poročilo (2003). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 24 str.
- Woolgrove, C. E., Woodin, S. J., 1996. Current and historical relationships between the tissue nitrogen content of a snowbed bryophyte and nitrogenous air pollution. *Environmental Pollution*, 91, 3: 283–288
- Zechmeister, H. G., Grodzinska, K., Szarek – Lukaszewska, G., 2003. Bryophytes. V: *Bioindicators & Biomonitors*. Market B.A., Breure A.M., Zechmeister H.G. (eds.). Amsterdam, Elsevier: 329–375