

Ali stanje lišajske flore že kaže na spremembo kakovosti zraka v Šaleški dolini po izgradnji čistilnih naprav v termoelektrarni Šoštanj?

Helena POLIČNIK¹, Franc BATIČ²

Izvleček

Lišaje zaradi njihove specifične biologije pogosto uporabljamo kot bioindikatorje kvalitete zraka. Njihova streljka je brez pravih tkiv in organov, nimajo razvite kutikule in korenin. Vse, kar potrebujejo za svojo rast in razvoj, črpajo iz zraka. Epifitske lišaje uporabljamo za (1) sledenje vnosa težkih kovin v okolje, saj se težke kovine v njih kopičijo, ter (2) za sledenje splošne onesnaženosti zraka, saj lišaji na območjih večjega onesnaženja začnejo propadati. Na območju Šaleške doline smo ugotavljali vnos kovin Pb, As, Zn in Cd v okolje z metodo aktivnega monitoringa, presaditvijo epifitskega lišaja vrste *Hypogymnia physodes* iz referenčnega območja (Rogla, Pohorje) na vplivno območje TEŠ za obdobje 6 mesecev. Ugotovili smo, da se težke kovine v lišajih kopičijo in da so se vsebnosti v primerjavi z začetnimi vsebnostmi v lišajih z Rogle povečale. S pomočjo nemške (VDI), evropske (EU) in slovenske (SI) metode popisovanja lišajske flore smo ugotavljali tudi splošno onesnaženost ozračja. Ocena kakovosti zraka po VDI in EU metodi temelji na popisu prisotnih vrst epifitskih lišajev, medtem ko določitev kvalitete zraka po SI metodi temelji na popisu številčnosti in pokrovnosti posameznih tipov streljk epifitskih lišajev.

Ključne besede: bioindikacija, epifitski lišaji, *Hypogymnia physodes*, kartiranje, Pb, Cd, Zn, As

Does the lichen flora already reflect changes in air quality in the Šalek valley after the construction of cleaning devices in the Šoštanj thermal power plant?

Abstract

Lichens are often used as bioindicators of air pollution due to their biology. Their thallus is without any true tissues and organs, the cuticle and roots are not developed. They get all needed substances from the air. Epiphytic lichens are used (1) for following the heavy metal input into the environment, since they accumulate them, and (2) for the assessment of general pollution, since they start to decay in polluted areas. In the Šalek Valley area, the input of metals Pb, As, Zn, and Cd into the environment was assessed with the active monitoring method. The epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* was transplanted from reference site (Rogla, Pohorje Mts) to the influential region of the Šoštanj Thermal Power Plant for the period of 6 months. The heavy metal content increased in transplanted lichens in comparison with content in lichens from Rogla. General air pollution was assessed on the basis of present lichen species. Three different methods for mapping epiphytic lichens were used: German (VDI), European (EU) and Slovenian (SI). The assessment of air quality with VDI and EU method is based on presence of different epiphytic lichen species, whereas the air quality assessment according to SI method is based on assessment of frequency and cover of three major thalli types of epiphytic lichens.

Key words: bioindication, epiphytic lichens, *Hypogymnia physodes*, mapping, Pb, Cd, Zn, As

1 Uvod

1 Introduction

Ugotavljanje onesnaženosti ozračja z epifitskimi lišaji je ena izmed najstarejših metod bioindikacije kopenskih ekosistemov. Veljajo predvsem za splošne kazalce onesnaženosti zraka s klasičnimi zračnimi onesnažili, med katere sodijo žveplov dioksid, dim in fluoridi (FERRY *et al.* 1973, HAWKSWORTH / ROSE 1976). Lišajska flora je dober bioindikator kakovosti zraka pri popisu propadanja

gozdov (BATIČ 1991a, BATIČ / KRALJ 1989, STOFER *et al.* 2003), tako da je spremljanje njenega stanja v Sloveniji že od samega začetka vključeno v redne popise poškodovanosti gozdov (BATIČ 1991b, BATIČ / KRALJ 1995).

Lišaji se uporabljajo kot akumulacijski indikatorji (1) in kot odzivni indikatorji (2). (1) Težke kovine nimajo neposrednega negativnega vpliva na pestrost lišajske vegetacije, lahko pa pripomorejo k identifikaciji možnega

¹ H. P., ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave, Koroška 58, SI-3320 Velenje, helena.policnik@erico.si

² prof. dr. F. B., BF, Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, franc.batic@bf.uni-lj.si

vira onesnaževanja (VAN DOBBEN *et al.* 2001, JERAN *et al.* 2002). Vsebnosti težkih kovin in drugih elementov v steljkah lišajev odražajo koncentracijske gradiente teh elementov v zraku (JERAN / JACIMOVIĆ 1997, VAN DOBBEN *et al.* 2001). Na bolj onesnaženih območjih lišaji ne uspevajo in v teh primerih jih za določeno časovno obdobje na območje raziskovanja presadimo skupaj s podlago. Vsebnost kovin v lišajih merimo pred in po izpostavitvi in razlika oz. kopičenje je rezultat povečane količine tega elementa v zraku. Vnos v steljko lišaja poteka v glavnem skozi celotno površino steljke v obliki suhega ali mokrega useda iz ozračja (PILEGAARD 1979, DE BRUIN / HACKENITZ 1986). Možen je tudi prevzem v lišaje neposredno iz podlage, na kateri ti rastejo (DE BRUIN / HACKENITZ 1986, SLOOF / WOLTERBEEK 1991). (2) Na območju preučevanja na izbrani drevesni vrsti popišemo prisotne vrste lišajev glede na kvalitativne in kvantitativne kriterije (popis lišajske flore) (ASTA *et al.* 2002, VDI Richtlinien 3799 1995, STOFER *et al.* 2003, BATIČ / KRALJ 1989, BATIČ 1991a). Ugotovljeno je bilo, da lišaji na območjih večjega onesnaženja (predvsem z SO₂) izginejo, nastanejo lišajske praznine. Meja med lišajsko praznino in bogato lišajsko floro ni ostra, opazen je nekakšen prehod med obema skrajnostma (HAWKSWORTH / ROSE 1970, FERRY *et al.* 1973, SHOWMAN 1975, HERZIG *et al.* 1989). Na obrobju lišajske praznine uspevajo na onesnažen zrak bolj odporne vrste, medtem ko na onesnažen zrak občutljive vrste uspevajo le na območjih z zelo nizkimi vsebnostmi onesnažil v zraku (HAWKSWORTH / ROSE 1970). S popisom lišajskih vrst na izbranih točkah lahko ugotovimo, ali je zrak tam onesnažen ali ne. Občutljivost vrst je odvisna tudi od tipa podlage. Vrste, ki rastejo na bazičnih substratih, ob zračnem onesnaženju propadejo kasneje kot vrste, ki rastejo na kislih substratih (HAWKSWORTH / ROSE 1976, VAN HERK 2001). Številčnost in razporeditev vrst epifitskih lišajev po deblu je odvisna od starosti sestoja, kar se kaže v različnem odzivu v odvisnosti od drevesne vrste in okoljskih spremenljivk, kot so kislost lubja in vertikalna lokacija na deblu (HYVÄRINEN *et al.* 1992). Za ocenjevanje kvalitete zraka na podlagi prisotnih vrst epifitskih vrst lišajev so po svetu razvili več različnih metod (ASTA *et al.* 2002, VDI Richtlinien 3799, STOFER *et al.* 2003, BATIČ / KRALJ 1989, BATIČ 1991b).

Glavni namen raziskovanja je bil ugotavljati učinke izpustov iz Termoelektrarne Šoštanj na okolje z uporabo epifitskih lišajev kot bioindikatorjev. Termoelektrarna proizvaja električno energijo že dobrih štirideset let, hkrati pa tudi onesnažuje okolje z SO₂, NO_x in prašnimi delci. Zaradi izredno visokih emisij iz TEŠ (ki so se v letih od 1990-1995 gibale med 80.000 in 90.000 t SO₂, maksimalno celo 120.000 t v letu 1983) je bil sprejet ekološki sanacijski program, katerega najpomembnejši fazi sta izgradnji razžvepevalnih naprav za dimne pline (čistilnih naprav) bloka 4 v letu 1995 in bloka 5 v letu 2000. Letna emisija SO₂ se je po izgradnji razžvepevalne naprave na bloku 4 zmanjšala na 51.000 ton, po izgradnji čistilne naprave na

bloku 5 je v letu 2002 znašala 22.870 ton, v letu 2004 pa je že padla pod 8.000 t (ROTNIK 2005).

Konkretni raziskovalni cilji so bili:

- Ugotoviti količino nakopičenih težkih kovin in arzena v presajenih lišajih.
- Primerjati akumulacije težkih kovin in arzena v steljkah, izpostavljenih v obdobju 2001 - 2004.
- Primerjati vplive različnih termoelektrarn na presajene lišaje.
- Primerjati vrstno sestavo epifitskih lišajev v Šaleški dolini pred izgradnjo čistilne naprave in po njej.
- Prikazati ocene stanja onesnaženosti okolja na podlagi izračunanih indeksov zračne čistosti (IAP) po nemški, evropski in slovenski metodi.

2 Material in metode

2 Material and methods

2.1 Kopičenje kovin v lišajih

2.1 Metal accumulation in lichens

Lišaje smo izpostavili na izbrane lokacije za obdobje šestih mesecev, saj je na območju raziskovanja obraslost z lišaji majhna – aktivni monitoring. Izpostavitev opravljamo od leta 2001 dalje, praviloma od marca do oktobra.

Vplivno območje TEŠ: Šoštanj, Velenje, Zavodnje, Veliki Vrh

Vplivno območje TET: Dobovec

Vplivno območje TE-TOL: Vnajarje

Vplivno območje topilnice: Žerjav

Za aktivni monitoring smo na izbrane lokacije izpostavili lišaje, ki smo jih nabrali v referenčnem območju na Rogli. Nabrali smo epifitski lišaj vrste *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. – napihnjena hipogimnija. Glede na vrstno sestavo drevja na Rogli smo se odločili, da bomo nabrali hipogimnijo, ki raste na navadni smreki (*Picea abies* Karst.), ki jo je na Rogli največ. Lišajsko steljko smo nabrali skupaj s podlago; odžagali smo tiste veje smreke, na katerih se je napihnjena hipogimnija bujno razraščala. Veje smo nato prenesli na izbrane lokacije, kjer smo jih s plastičnimi nosilci pritrdili na drevesa v bližini postaj ANAS (avtomatski nadzorni alarmni sistem), približno 2 m od tal. Nekaj vzorca z Rogle smo shranili za analize ničelnega stanja. Po šestih mesecih smo izpostavljene veje z lišaji prinesli v laboratorij, kjer smo lišaj ločili od podlage. Za lažje ločevanje smo steljke lišaja narahlo poškopili z destilirano vodo. Vzorce lišajev smo sušili v sušilni omari pri temperaturi 36 °C do konstantne teže, t.j. mase, ki je dosežena v teku celotnega procesa sušenja, ko je razlika med dvema zaporednima tehtanjem v intervalu 4 ur manjša od 0,1% zadnje namerjene mase. Suhi material smo zmleli do velikosti 1 mm v ahatnem mlinu. Tako posušen in zmlet vzorec je pripravljen za razklop, in sicer smo

uporabili metodo mokrega sežiga rastlinskih vzorcev. Za razgradnjo smo uporabili koncentrirano dušikovo kislino (HNO_3) in vodikov peroksid (H_2O_2). Mokri sežig poteka v mikrovalovni napravi (Milestone Ethos plus), kjer se vzorec zaradi lokalnega supergretja razgradi v nekaj minutah. Vzorec smo nato redčili in filtrirali. V lišajih smo določili vsebnost Pb, Cd, As in Zn. Vsebnosti kovin smo določili z ICP-MS (Hewlett Packard ICP-MS Application Note, standard DIN 38406-E29). Na posamezni lokaciji je bilo izmerjenih več vzorcev, in sicer po 2 v Velenju, Šoštanju in Vnajnjarjah in po 6 na drugih lokacijah – Velikem Vrhu, Zavodnjah, Dobovcu in Žerjavu. Za določitev težkih kovin je bil uporabljen referenčni material RM IAEA 336.

Primerjali smo akumulacije kovin v lišajih med posameznimi lokacijami in za ugotavljanje različnosti uporabili statistično metodo ANOVA in *Studentov t-test*. Za ocenjevanje razlik med regijami je bila uporabljena statistična metoda ANOVA z izračunom LSD. Za primerjavo povprečnih mesečnih akumulacij težkih kovin med leti 2001-2004 je bila uporabljena statistična metoda Friedman ANOVA.

2.2 Določitev indeksov zračne čistosti

2.2 Determination of air purity indexes

Uporabili smo tri različne metode popisa epifitske lišajске vegetacije in določitve indeksov zračne čistosti – indeksov IAP. Najenostavnejša je t.i. slovenska (SI) metoda, ki temelji na popisu številčnosti in pokrovnosti posameznih tipov lišajске steljke (BATIČ 1991b, BATIČ / KRALJ 1995). Drugi dve metodi temeljita na popisu prisotnih vrst lišajev - metoda EU (ASTA *et al.* 2002) in metoda VDI (VDI Richtlinien 1995).

Preglednica 1: Izbrane lokacije za določitve indeksov IAP po metodah SI, EU in VDI

Table 1: Selected locations for IAP determination according to SI, EU and VDI method

Lokacija / Location	x	y	odd. od TEŠ (m)	azimut
Zavodnje	499.000	143.000	8.400	309
Gaberke	507.000	139.000	3.800	57
Cirkovce	511.000	139.000	6.700	76
Zgornji Šalek	511.000	135.000	6.800	99
Topolšica	503.000	139.000	2.850	324
Podkraj pri Velenju	507.000	135.000	2.900	110
Lokovica	503.000	135.000	1.700	239

Opombe / Notes:

x, y = koordinate Gauss-Kruegerjeva merilnega sistema / Gauss-Krueger coordinates

odd. od TEŠ = oddaljenost od Termoelektrarne Šoštanj, zračna razdalja / distance from Šoštanj Thermal Power Plant (beeline)

Indekse zračne čistosti smo po teh metodah določili na 4x4 km mreži v vplivnem območju TEŠ, kjer potekajo tudi redni popisi propadanja gozdov v Sloveniji (KOVAC *et al.* 2000). Lišaje smo na vsaki lokaciji popisali na šestih prostostojećih drevesih, praviloma na hruškah (*Pyrus communis* L.).

3 Rezultati in razprava

3 Results and discussion

3.1 Kopičenje kovin v lišajih

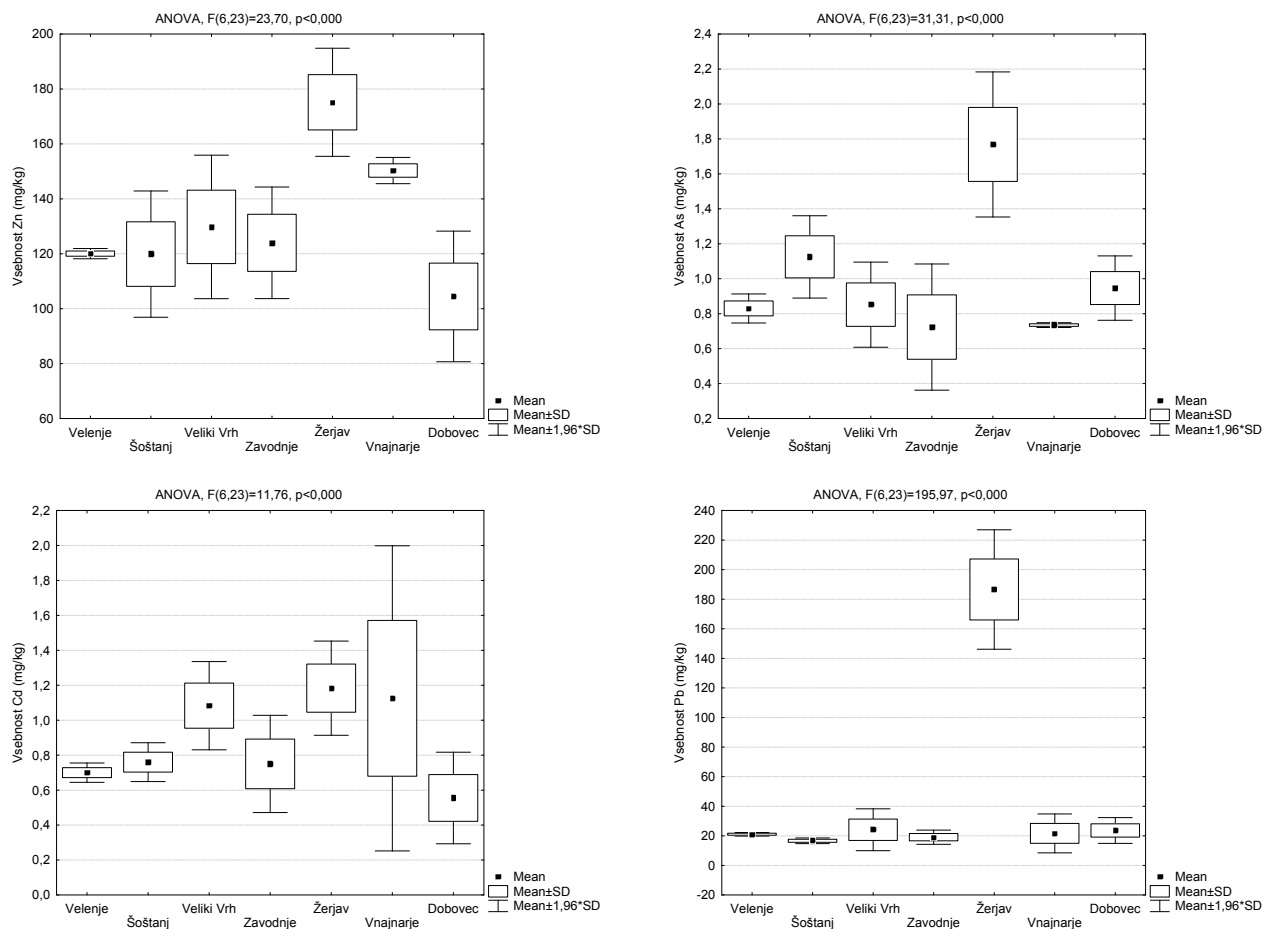
3.1 Metal accumulation in lichens

V prispevku so prikazani rezultati večletnega aktivnega monitoringa, kjer smo spremljali kopičenje As, Cd, Pb in Zn v steljkah lišaja vrste *Hypogymnia physodes* (napihnjena hipogimnija), nabrane v razmeroma čistem območju na Rogli. Vsebnosti kovin iz referenčnega območja so prikazane v preglednici (preglednica 2). Rezultati vsebnosti kovin As, Cd, Pb in Zn v steljkah za šest mesecev izpostavljenih epifitskih lišajev na 7 različnih lokacijah po Sloveniji (Zavodnje, Veliki Vrh, Velenje, Šoštanj (Šaleška dolina), Vnajnjarje (Ljubljana), Dobovec (Zasavje), Žerjav (Zgornja Mežiška dolina)) potrjujejo, da se na območjih z večjim onesnaževanjem v lišajih kopiči več kovin. Ugotovljeno je bilo, da za vsako merjeno kovino obstajajo statistično značilne razlike med posameznimi lokacijami izpostavitve lišajev, izmed vseh lokacij zbujajo pozornost lokacija v Zgornji Mežiški dolini, kjer se je vsebnost As, Cd, Pb in Zn v primerjavi z začetno vsebnostjo v lišajih iz Rogle najbolj povečala (Graf 1a-d). Akumulacija Zn je statistično višja na dveh lokacijah; v Žerjavu in Vnajnjarjah. Na drugih lokacijah je bilo ugotovljeno rahlo povečanje vsebnosti, vendar med temi lokacijami glede na akumulacijo Zn ni statistično značilnih razlik. Značilno kopičenje Cd je bilo v letu 2004 zabeleženo v lišajih, izpostavljenih v Žerjavu in na Velikem Vrhu. Med drugimi lokacijami glede na akumulacijo Cd ni statistično značilnih razlik. Izmed vseh merjenih težkih kovin se po velikosti akumulacije najbolj razlikuje akumulacija Pb v steljkah lišajev, izpostavljenih v Žerjavu v Zgornji Mežiški dolini.

Preglednica 2: Vsebnosti As, Cd, Pb in Zn v epifitskem lišaju vrste *Hypogymnia physodes* iz referenčnega območja na Rogli v letih 2001-2004 in povprečne vsebnosti s standardno deviacijo.

Table 2: Content of As, Cd, Pb and Zn in epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* from Rogla reference site in the 2001-2004 period and average content with standard deviation

	2001	2002	2003	2004	$\bar{a} \pm \text{SD}$
As	0,78	0,75	0,67	0,75	0,74 $\pm$ 0,05
Cd	0,42	0,85	0,49	0,74	0,63 $\pm$ 0,20
Pb	18,80	20,00	17,30	21,44	19,39 $\pm$ 1,76
Zn	93,20	113,00	140,00	102,88	112,27 $\pm$ 20,18



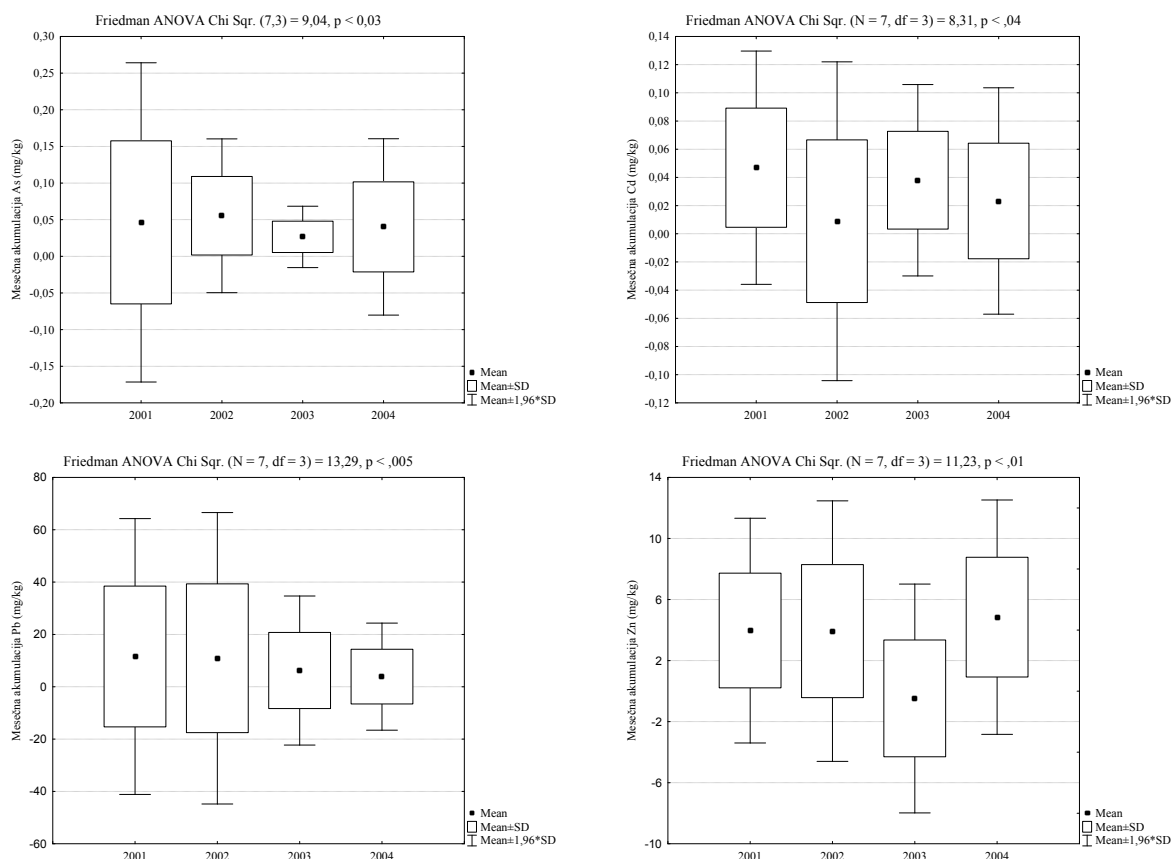
Graf 1a-d: Kopičenje Zn, As, Cd in Pb v steljkah izpostavljenih lišajev vrste *Hypogymnia physodes* v letu 2004

Figure 1a-d: Zn, As, Cd and Pb accumulation in transplanted epiphytic lichens *Hypogymnia physodes* in 2004

Gledena akumulacija As in Pb v steljkah izpostavljenih lišajev se od drugih regij razlikuje akumulacija v lišajih, izpostavljenih v Zgornji Mežiški dolini, kot je to razvidno iz rezultatov (graf 1b, d; preglednica 3). Med drugimi regijami ni statistično značilnih razlik. Glede na akumulacijo Cd v lišajih lahko zaključimo, da med Zgornjo Mežiško dolino in Vnajarjami ni statistično značilnih razlik, medtem ko z drugimi regijami so. V drugo skupino spada Zasavje, kjer se v lišajih akumulira značilno različno Cd kot v Šaleški dolini (graf 1c). Stopnja akumulacije Cd je v Zasavju celo rahlo negativna, kar kaže na veliko možnost velike obremenjenosti okolja z zračnimi onesnažili in posledično tudi poškodbami steljke in zato izteku elementov (JERAN/JAČIMOVIČ 1997). Ob upoštevanju te možnosti izteka elementov lahko lažje pojasnimo relativno majhne akumulacije drugih težkih kovin v steljkah lišajev, kljub znanim velikim emitirjem nevarnih snovi v zrak na tem območju. Glede na akumulacijo Zn v lišajih smo ugotovili, da so med vsemi v raziskavo vključenimi regijami statistično značilne razlike (preglednica 3). Med vsebnostmi Pb in As v lišajih, izpostavljenih v okolici Termoelektrarne Šoštanj (Šaleška dolina), Termoelektrarne Trbovlje (Zasavje) in Termoelektrarne toplarne Ljubljana (Vnajarje), ni razlik, medtem ko te obstajajo za Zn in Cd (za Cd ni razlik med Šaleško dolino in Vnajarjami ter Koroško in Vnajarjami,

kar je lahko tudi posledica samo dveh meritev v Vnajarjah in zelo veliki standardni deviaciji; Cd je tudi edina od merjenih kovin, katere vsebnosti precej nihajo tudi v lišajih z referenčne lokacije). Na podlagi predstavljenih rezultatov lahko sklepamo, da omenjene tri termoelektrarne ne vplivajo na različno vsebnost Pb in As v steljkah lišajev, značilne pa so razlike v vsebnostih oz. akumulaciji Cd in Zn (preglednica 3).

Ugotovljeno je bilo, da je v obdobju 2001-2004 sicer prihajalo do zelo majhnih razlik v količini akumulirane snovi, vendar so bile te razlike statistično značilne. V analizo so bili vključeni podatki za lokacije Velenje, Šoštanj, Veliki Vrh, Zavodnje, Žerjav, Vnajarje in Dobovec (graf 2a-d). Pri analizi podatkov za lokacije iz Šaleške doline (brez upoštevanja lokacij iz preostalih območij) smo ugotovili značilne razlike med vsebnostmi v obdobju 2001 do 2004 le za kovini Pb ($\text{Chi Sqr.}_{(N=4, df=3)} = 10,80$, $p = 0,012$) in As ($\text{Chi Sqr.}_{(N=4, df=3)} = 8,85$, $p = 0,031$). Glede na to, da podatkov o kopičenju posamezne kovine iz obdobja pred izgradnjo razžveplevalnih naprav nimamo, ne moremo trditi, da so zmanjšanja posledica izgradnje čistilnih naprav.



Graf 2a-d: Primerjava povprečnih mesečnih akumulacij težkih kovin v steljkah lišajev vrste *Hypogymnia physodes* z vseh lokacij v obdobju od leta 2001 do 2004

Figure 2a-d: Comparison of average monthly accumulation of heavy metals in lichens *Hypogymnia physodes* from all sampling location in the 2001-2004 period

Preglednica 3: Značilnost razlik vsebnosti težkih kovin v lišaju vrste *Hypogymnia physodes* v letu 2004 med različnimi območji raziskovanja (ANOVA z izračunom LSD; $n_{(S)} = 16$, $n_{(K)} = 6$, $n_{(V)} = 2$, $n_{(Z)} = 6$)

Table 3: Significance of differences in heavy metal levels in lichen *Hypogymnia physodes* in 2004 among different research areas (ANOVA with LSD test; $n_{(S)} = 16$, $n_{(K)} = 6$, $n_{(V)} = 2$, $n_{(Z)} = 6$)

Območje	Z	K	V	Z	K	V
	Cd: $F_{(3,26)} = 11,19^{***}$			As: $F_{(3,26)} = 45,72^{***}$		
Š	**	**	NS	NS	***	NS
Z		***	**		***	NS
K			NS			***
	Pb: $F_{(3,26)} = 423,22^{***}$			Zn: $F_{(3,26)} = 48,60^{***}$		
Š	NS	***	NS	***	***	**
Z		***	NS		***	***
K			***			**

Opombe / Notes:

Območje = Z: Zasavje, K: Koroška, V: Vnajarje, Š: Šaleška dolina

Tveganje = ***: $p < 0,001$; **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$; NS: razlike niso značilne

3.2 Določitev indeksov zračne čistosti

3.2 Determination of air purity indexes

Obsežen popis epifitskih lišajev na vplivnem območju Termoelektrarne Šoštanj je bil v devetdesetih letih prejšnjega tisočletja narejen na območju Uršlje gore (SUPPAN 1997, SUPPAN / MAYRHOFER 2002). Identificiranih je bilo 174 taksonov lišajev, od katerih je 8 lišajev in 1 lihenikolna gliva novih za Slovenijo. Za posamezna območja je značilna tudi flora lišajev, odvisna od rastnih razmer in stopnje onesnaženja. Na območjih severno in severovzhodno od Uršlje gore, ki jih štiti gora in tja ne sežejo onesnažila iz Termoelektrarne Šoštanj, je bilo identificirano bistveno večje število vrst lišajev (*ibid.*). Prav tako je bilo veliko število vrst identificiranih na območju Plešivskega mlina na južnem pobočju Uršlje gore, pred katerim leži še en kopasti vrh in tako štiti to lokacijo pred onesnažili iz TEŠ. K veliki lišajski pestrosti na tej lokaciji so poleg zaščitne lege pred onesnažili prispevale še druge dobre rastne razmere, kot so dobre vlažnostne razmere in tudi razpoložljivost različnih drevesnih vrst (*ibid.*).

V raziskavi iz leta 1994 (KRUHAR 1994) je bilo ugotovljeno, da na onesnaženje bolj občutljivih vrst epifitskih lišajev na vplivnem območju Termoelektrarne Šoštanj ni, kar je bilo kasneje, takoj po izgradnji čistilnih

	Zavodnje, ANAS	Lokovica	Topolšica	Cirkovce	Gaberke	Zgornji Šalek	Podkraj
<i>Anaptichia ciliaris</i>		* +					
<i>Baccidia rubella</i>			* +				
<i>Bryoria fuscescens</i>					* +	*	
<i>Buellia griseiovirens</i>		*					
<i>Buellia punctata</i>	* +	* +	* +	* +		* +	* +
<i>Candelariella reflexa</i>	*						
<i>Candelariella xanthostigma</i>	* +	* +	* +	* +	* +	* +	* +
<i>Cladonia sp.</i>		*	*	*	*	*	*
<i>Evernia prunastri</i>	+				*		
<i>Hypogymnia farinacea</i>		* +					
<i>Hypogymnia physodes</i>	* +	* +		* +	* +	* +	*
<i>Hypogymnia tubulosa</i>					*		
<i>Lecanora chlorotera</i>		* +		* +	*	*	*
<i>Lecanora conizaeoides</i>	* +	* +	* +	* +	* +	* +	* +
<i>Lecanora expallens</i>	* +	* +	*	* +	* +	* +	*
<i>Lecanora pulicaris</i>							* +
<i>Lecidella elaeochroma</i>		* +					
<i>Lepraria incana</i>		*	*	*		*	*
<i>Lepraria lobificans</i>				*		*	*
<i>Lepraria rigidula</i>	*						
<i>Lepraria sp.</i>	* +	+	* +	+	* +	+	* +
<i>Ochrolechia sp.</i>	*					* +	*
<i>Ochrolechia turneri</i>		* +	*	* +		*	* +
<i>Parmelia caperata</i>				* +			* +
<i>Parmelia exasperatula</i>	* +	* +					
<i>Parmelia glabra</i>	* +						
<i>Parmelia glabratula</i>	* +	* +		* +	* +	* +	* +
<i>Parmelia saxatilis</i>		* +			+		* +
<i>Parmelia sp.</i>			*	*			
<i>Parmelia subargentifera</i>					* +		
<i>Parmelia subaurifera</i>	*						
<i>Parmelia subrudecta</i>							* +
<i>Parmelia sulcata</i>	* +	* +	+	* +	* +	* +	* +
<i>Parmelia tiliacea</i>	* +	* +				* +	
<i>Parmeliopsis ambigua</i>		* +					*
<i>Pertusaria albescens</i>	+			* +		* +	
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	* +						
<i>Phlyctis argena</i>	+			* +	* +	* +	
<i>Physcia adscendens</i>	* +	* +		* +	*	* +	* +
<i>Platismatia glauca</i>					+		
<i>Pseudevernia furfuracea</i>		+			*		
<i>Ramalina farinacea</i>				* +	* +		* +
<i>Ramalina fastigiata</i>				*		*	* +
<i>Scoliosporum chlorococcum</i>	* +	*	* +	* +	* +	*	* +
<i>Usnea sp.</i>		+					* +
<i>Xanthoria parietina</i>		*					
46	21	27	12	21	20	21	24

Opombe / Notes: * EU method, + VDI method

Preglednica 4: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev po metodah EU in VDI na sedmih različnih lokacijah na vplivnem območju TEŠ v letu 2005

Table 4: List of epiphytic lichens at seven different locations, mapped by EU and VDI methods in the vicinity of the ŠTPP in 2005

naprav s ponovnim popisom lišajev (šlo je za popis lišajev na čimveč različnih drevesnih podlagah, brez vzorčevalnih mrežic) še enkrat potrjeno (POLIČNIK 2003). V številu najdenih vrst med obema letoma raziskovanja ni bilo značilnih razlik. Na podlagi številčnosti vrst lahko sklepamo, da revitalizacije do leta 2002 še ni bilo, tako da se v prihodnje lahko pričakuje, da se bo število vrst povečalo. Pri primerjavi prisotnihe vrst lišajev z uporabo metod EU in VDI na območju Zavodnj v Šaleški dolini z vrstno in številčno pestrostjo lišajev na drugih lokacijah v Sloveniji je bilo ugotovljeno, da je v Šaleški dolini lišajska vegetacija sicer okrnjena (preglednica 5), kar kažejo tudi izračunani indeksi zračne čistosti po več različnih metodah, katerih vrednosti so primerljive z drugimi imisijsko obremenjenimi območji v Sloveniji (BATIČ *et al.* 2003, POLIČNIK *et al.* 2005). Na sedmih izbranih lokacijah znotraj vplivnega območja TEŠ je bilo identificiranih skupaj le 46 različnih vrst epifitskih lišajev, največ 27 na lokaciji Lokovica in najmanj 12 na lokaciji Topolšica (preglednica 4).

Po metodi SI lahko lokacije v Šaleški dolini umestimo v 2. (velika pestrost lišajev) in 3. razred (zmerna pestrost lišajev) izmed 5 možnih razredov, ki imajo širino 13,5. Z metodama VDI in EU lahko sledimo vrstni sestavi lišajev, kar nam omogoča podrobnejšo analizo okoljskih vplivov na lišaje in ekosisteme, vrstna sestava je prikazana v preglednici (preglednica 4). Po nemški metodi (VDI) lokacije v Šaleški dolini uvrščamo v 1. (zelo velika izpostavljenost onesnaženemu zraku), 2. (velika izpostavljenost onesnaženemu zraku) in v 3. razred (velika do zmerna izpostavljenost onesnaženemu zraku). Po evropski metodi (EU) pa lokacije uvrščamo v 3. (majhna do zmerna pestrost), 4. (zmerna do velika) in 5. razred (velika diverziteta). Širina razreda po metodi VDI je 10,73, po metodi EU pa 16,83. Rezultati so prikazani v preglednici (preglednica 5).

V zadnjem desetletju so se zmanjšale predvsem emisije SO₂ (ROTNİK, 2005); nujno pa je pri primerjavi pojavljanja vrst epifitskih lišajev 1994-2005 upoštevati tudi spremenjeno rabo prostora in posege v okolje, naravno zaraščanje – spreminjanje gozdnih ekosistemov, kar vpliva na pojavljanje vrst in nenazadnje tudi nekoliko različno metodo vzorčenja (na nekaterih mestih bolj intenzivno in strokovno podprta). Glede na to, da v obdobju pred izgradnjo čistilnih (razžveplevalnih) naprav v TEŠ niso bile uporabljene enake metode popisa vrst epifitskih lišajev, kot v obdobju po izgradnji, neposredna primerjava sestave med obdobjema ni mogoča. Vsekakor pa lahko zaključimo, da se lišajska flora za zdaj še ni revitalizirala v celoti.

Preglednica 5: Pregled uvrstitve lokacij v posamezne razrede in absolutne vrednosti indeksov zračne čistosti glede na uporabljeno metodo ocenjevanja kakovosti zraka

Table 5: Classification of location in air quality class and absolute air quality index according to the used air quality assessment method

	EU metoda*		VDI metoda **		SI metoda ***	
	Razred	LDV	Razred	LGW	Razred	IAP
Zavodnje	4	57,17	2	23,17	2	30,33
Gaberke	4	59,17	2	20,33	2	31,83
Topolšica	4	51,00	1	9,67	3	16,66
Zg. Šalek	5	75,33	3	30,50	2	29,33
Podkraj	3	45,33	2	20,83	3	27,17
Cirkovce	3	49,33	3	30,83	3	21,33
Lokovica	4	56,50	3	25,17	2	32,33

Opombe / Notes:

* Razredi se določijo glede na diverzitetu lišajev; 1 pomeni zelo majhno, 2 majhno, 3 majhno do zmerno, 4 zmerno do veliko in 5 veliko diverzitetu / *Classes are determined according to lichen diversity; 1 means very low, 2 low, 3 low to moderate, 4 moderate to high, and 5 high diversity*

** Razredi se določijo glede na diverzitetu lišajev; 1 pomeni zelo veliko, 2 veliko, 3 veliko do zmerno, 4 zmerno do majhno in 5 majhno do zelo majhno izpostavljenost onesnaženemu zraku / *Classes are determined according to lichen diversity; 1 means very high, 2 high, 3 high to moderate, 4 moderate to low, and 5 low to very low rate of exposure*

*** Razredi se določijo glede na pokrovnost in številčnost posameznega tipa steljke lišaja; 1 bujna obrast z lišaji, 2 velika pestrost, 3 zmerna pestrost, 4 majhna pestrost in 5 lišajsko praznino / *Classes are determined according to assessment of frequency and coverage of three major thalli types of epiphytic lichens; 1 means rich vegetation, 2 high, 3 moderate, 4 low diversity, and 5 lichen desert*

4 Zaključki

4 Conclusions

Zaključki raziskave so sledeči:

(a) V steljkah izpostavljenih lišajev je prišlo do kopičenja kovin As, Cd, Pb in Zn. Največje kopičenje težkih kovin As, Cd, Pb in Zn je bilo ugotovljeno v lišajih, izpostavljenih v Žerjavu v Zgornji Mežiški dolini. Zaključimo lahko, da je na tem območju izmed območij, vključenih v raziskavo, problematika oz. onesnaženost zraka s težkimi kovinami največja. Poudariti je treba, da je izmed vseh štirih merjenih kovin prišlo do največjega kopičenja Pb v Žerjavu. Obremenjenost zraka tega območja s Pb in tudi drugimi težkimi kovinami je torej še vedno večja kot v nekaterih drugih industrijskih območjih v Sloveniji.

(b) Do statistično značilnega povečanja vsebnosti Zn v steljkah lišajev v primerjavi z začetnimi vsebnostmi v lišajih z Rogle je prišlo v lišajih, izpostavljenih v Žerjavu in v Vnajarjah.

(c) V lišajih, izpostavljenih v Žerjavu in na Velikem Vrhu, je prišlo do statistično značilnega povečanja vsebnosti Cd v primerjavi z začetnimi vsebnostmi v lišajih z Rogle.

(d) Količina akumuliranih kovin je ob upoštevanju rezultatov kopičenja na vseh izbranih lokacijah v obdobju 2001 do 2004 rahlo upadla. Ob upoštevanju rezultatov samo z lokacij iz Šaleške doline se vsebnosti Zn in Cd v preučevanem obdobju niso značilno spremenile, medtem ko so vsebnosti Pb in As rahlo upadle. Glede na to, da za obdobje pred izgradnjo čistilnih naprav v TEŠ nimamo podatkov o kopičenju kovin v steljkah lišajev, ne moremo zagotovo trditi, da je ugotovljeno zmanjšanje posledica izgradnje čistilnih naprav.

(e) S popisi vrst lišajev po nemški (VDI) in evropski (EU) metodi je bilo ugotovljeno, da je v Šaleški dolini lišajska vegetacija okrnjena, vendar primerljiva z drugimi imisijsko obremenjenimi območji v Sloveniji. Zaradi pomanjkljivih podatkov popisov epifitskih lišajev na območju TEŠ v obdobju pred izgradnjo čistilnih naprav je primerjava pojavljanja lišajev težka. Ugotovili pa smo, da so se v obeh obdobjih (pred izgradnjo čistilne naprave – popisi iz leta 1994 in po njeni izgradnji – popisi iz leta 2002) v veliki meri pojavljale vrste lišajev, ki so za onesnažen zrak manj občutljivi, občutljivejše vrste smo našli na lokacijah, ki so od TEŠ bolj oddaljene, vendar za te podatkov iz preteklosti nimamo.

(f) Na podlagi preliminarne rezultate določitve indeksov zračne čistosti in umestitve posameznih območij v razrede zračne čistosti lahko pridemo do primerljivih zaključkov. Za lokacije bližje elektrarni smo ugotovili slabše stanje glede na obstoj epifitskih lišajev. Sklepamo lahko, da je za določitev oz. oceno kakovosti zraka na nekem območju dovolj izbrati le eno metodo.

(g) Zaradi manjših emisij SO₂ in drugih onesnažil v zrak se pričakuje porast v številu občutljivih vrst epifitskih lišajev. Za zdaj se lišajska vegetacija na območju Šaleške doline še ni revitalizirala v celoti. Opazne spremembe v sestavi in številčnosti vrst epifitskih lišajev še pričakujemo v prihodnje.

5 Summary

In the Šalek Valley, the environmental studies using epiphytic lichens as indicators of air pollution have been carried out since 1999. Since lichens accumulate heavy metals without exhibiting any visual damages, they were used for following the heavy metal input into the environment. The results of active biomonitoring using epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. as a biomonitor for the 2001-04 period are presented. The branch transplantation technique was used for the assessment of heavy metal

pollution in the vicinity of pollution sources in Slovenia (Šoštanj, Velenje, Zavodnje and Veliki Vrh near Šoštanj Thermal Power Plant; Dobovec near Trbovlje Thermal Power Plant; Vnajnjarje near Thermal Power – Heating Plant Ljubljana; and Žerjav near Smelter). The lichens were transplanted together with the substrate (Norway spruce branches) from relatively clean area (Rogla, Pohorje Mts) for the period of six months, from March to October as a rule. The content of Pb, Cd, As and Zn in lichens from Rogla and in exposed lichens was determined using ICP-MS (ERICo house method). The RM IAEA 336 reference material was used.

The results obtained showed that accumulation in the areas with greater air pollution is greater than in less polluted areas. At Žerjav in the Upper Meža Valley, the accumulation of all four measured heavy metals (As, Cd, Pb, and Zn) is statistically more significant than at other locations. The accumulation of Zn has additionally appeared in lichens transplanted to Vnajnjarje, and of Cd at Veliki Vrh. The differences of heavy metal accumulation during 2001 and 2004 are statistically significant.

The indexes of air purity for 7 localities in the Šalek Valley according to three different methods (German VDI, European EU and Slovenian SI method) were also determined in 2002-05 for the assessment of general pollution, since the lichens start to decay in polluted areas. The VDI method (VDI Richtlinien 3799) is based upon scoring of a set of indicator lichen species within the 10 quadrant grid. The grid is placed 1.5 m above the ground on the most densely vegetated side of the tree trunk. The list of species to be used is limited to 56 taxa, in which difficult species are merged. The LGW (Luft Gute Werke) values are statistically evaluated according to the procedure described in the protocol. These LGW values are grouped into LGK classes, which are then interpreted on the basis of a predefined scale of air quality. The width of this reference class is 12.5 for our environmental conditions. The EU method (ASTA *et al.* 2002) is based on scoring of all lichen species present in the 5 quadrant grid. The grid is placed towards north, south, west and east at each sampling tree. The frequencies of all lichens present inside this grid is then notated, ranging from 1 to 5. From all these frequencies the Lichen Diversity Value is calculated as described in the guideline. We can also merge these LD values into LD Classes. The third and also the last method used in this survey is the simplest of all three. It was developed in Slovenia. It is based on the assessment of frequency and coverage of three major thalli types of epiphytic lichens, cruticose, foliose and fruticose lichens. The assessment must be done separately at tree base, at the tree trunk and in the crown at the most densely vegetated site of the tree trunk. With the summarizing of these frequencies and coverage and then averaging them, the IAP values are obtained, and are then divided into 5 air purity classes.

The results obtained with VDI and EU methods showed that lichen vegetation in the Šalek Valley is indeed truncated, but still comparable with other polluted areas in Slovenia. On the basis of preliminary results (determination of air purity indexes and hence determination of air purity classes) according to all three selected methods for separate regions, comparable conclusions can be made. We can conclude that it is sufficient to select one method for the assessment of air quality. Due to reduction of SO₂ emissions and other air pollutants, the increase in frequency of sensitive epiphytic lichen species was expected. The lichen vegetation in the Šalek Valley area is not fully recoverable yet. Noticeable changes are expected in the future.

Zahvala

Acknowledgements

Raziskava je potekala v okviru podiplomskega izobraževanja, programa usposabljanja mladih raziskovalcev. Sofinancirana je bila tudi s strani Termoelektrarne Šoštanj. Zahvaljujeva se vsem sodelavcem na ERICo Velenje, še posebej Borisu Jakopu za sodelovanje na terenu. Prispevek je nastal v okviru projekta Phare Termoelektrarna Šoštanj in prekomajno onesnaževanje zraka v letih 1987-2004.

6 Viri

6 References

- ASTA, J. / ERHARDT, W. / FERRETTI, M. / FORNASIER, F. / KIRSCHBAUM, U. / NIMIS, P. L. / PURWIS, O. W. / PIRINTSOS, S. / SCHEIDEGGER, C. / VAN HALUWYN, C. / WIRTH, V. 2002. European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress.
- BATIČ, F. 1991a. Bioindikacija ozračja v Sloveniji. V: IUFRO and ICP Forest workshop on monitoring, Prahatice, ČSFR, 1991, Prahatice, Forestry and Game Management Research Institute Jiloviše-Strnady, str. 177-187.
- BATIČ, F. 1991b. Bioindikacija onesnaženosti zraka z epifitskimi lišaji. Gozdarski vestnik 5/91, pp. 248-254.
- BATIČ, F. / KRALJ, A. 1989. Bioindikacija onesnaženosti zraka z epifitsko lišajsko vegetacijo pri inventurah propadanja gozdov. Ljubljana, Zbornik gozdarstva in lesarstva 34: 51-70.
- BATIČ, F. / KRALJ, A. 1995. Bioindikacija onesnaženosti ozračja v gozdovih z epifitskimi lišaji. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 47, 1995, pp. 5-56.
- BATIČ, F. / TEKAVEC, B. / TURK, B. / MAYRHOFER, H. / POLIČNIK, H. 2003. Mapping of epiphytic lichen flora in orchards and on chosen broadleaves with different methods. V: Proceedings of 3rd International Workshop on Biomonitoring of Atmospheric Pollution, Bled, Slovenia, September 21-25. CD-ROM ISBN 961-6303-54-6.
- DE BRUIN, M. / HACKENITZ, E. 1986. Trace element concentrations in epiphytic lichens and bark substrate. Environmental Pollution 11: 153-160.
- FERRY, B. W. / BADDELEY, M. S. / HAWKSWORTH, D. L. 1973. Air pollution and lichens. The Athlone Press, London, 389 str.

- HAWKSWORTH, D. L. / ROSE, F. 1970. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature* 227: 145–148.
- HAWKSWORTH, D. L. / ROSE, F. 1976. Lichens as pollution monitors. London, Edward Arnold: 1–60.
- HERZIG, R. / LIEBENDÖRFER, L. / URECH, M. / AMMANN, K. 1989. Passive biomonitoring with lichens as a part of integrated biological measuring system for monitoring air pollution in Switzerland. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 35: 43–57.
- HEWLETT PACKARD ICP-MS APPLICATION NOTE: 228–312, 228–314, 228–343.
- HYVÄRINEN, M. / HALONEN, P. / KAUPPI, M. 1992. Influence of stand age and structure on the epiphytic lichen vegetation in the Middle-Boreal forests of Finland. *Lichenologist* 24 (2): 165–180.
- JERAN, Z. / JAČIMOVIĆ, R. 1997. Lišaji kot biomonitorji onesnaženosti zraka s kovinami v okolici termoelektrarne Šoštanj. V: Sanacija termoelektričnih objektov, predavanja, Zbornik 1. mednarodnega simpozija, Rogaška Slatina, Slovenija, 27. – 30. maj 1997, Dejanovič, B. / Ribarič Lasnik, C. (ur.), str. 558–562.
- JERAN, Z. / JAČIMOVIĆ, R. / BATIČ, F. / MAVSAR, R. 2002. Lichens as integrating air pollution monitors. *Environmental Pollution* 120: 107–113.
- KOVAČ, M. / MAVSAR, R. / HOČEVAR, M. / SIMONČIČ, P. / BATIČ, F. 2000. Popis poškodovanosti gozdov in gozdnih ekosistemov – priročnik za terensko snemanje podatkov. Gozdarski inštitut Slovenije.
- KRUHAR, B. 1994. Pregled epifitske lišajске flore na nekaterih bioindikacijskih točkah v odvisnosti od podlage. Diplomsko naloga. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo.
- PILEGAARD, K. 1979. Heavy metals in bulk precipitation and transplanted *Hypogymnia physodes* and *Dicranowesia cirrata* in the vicinity of a Danish steelworks. *Water, Air and Soil Pollution* 11, 1: 77–91.
- POLIČNIK, H. 2003. Ugotavljanje onesnaženosti zraka s kartiranjem lišajev in akumulacijo težkih kovin v lišajih. Poročilo za leto 2002. ERICo Velenje, DP 1/02/03.
- POLIČNIK, H. / TEKAVEC, D. / TURK, B. / MAYRHOFER, H. / BATIČ, F. 2005. Different methods for mapping of epiphytic lichen flora. – neobjavljeni podatki, predstavljeni na konferenci International bioindicators, Praga, 6. – 10. junij 2005.
- ROTHNIK, U. 2005 (ur.). Bilteš 2004. Poročilo o proizvodnji, vzdrževanju in ekoloških obremenitvah okolja TE Šoštanj v letu 2004. Šoštanj, 2005.
- SHOWMAN, R. E. 1975. Lichens as indicators of air quality around a Coal-Fired Power Generating Plant. *The Bryologist* 78: 1–6.
- SLOOF, J. E. / WOLTERBEEK, H. Th. 1991. National trace-element air pollution monitoring survey using epiphytic lichens. *Lichenologist*, 23 (2): 139–165.
- STANDARD DIN 38406-E29.
- STOFER, S. / KELLER, C. / FISCHER, R. / SCHEIDEGGER, C. 2003. Lichen monitoring within the EU/ICP Forests Biodiversity Test-Phase on Level II plots.
- SUPPAN, U. 1997. Vorarbeiten zur Bibliographie der Flechten und flechtenbewohnenden Pilze Sloweniens. Die epiphytische Flechtenflora der Uršlja gora (Slowenien). Diplomarbeit. Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Botanik, 169 str.
- SUPPAN, U. / MAYRHOFER, H. 2002. Beiträge zur Flechtenflora von Slowenien VI. Die epiphytischen Flechten der Uršlja gora. *Herzogia* 15.
- VAN DOBBEN, H. F. / WOLTERBEEK, H. Th. / WAMELING, G. W. W. / TER BRAAK, C. J. F. 2001. Relationship between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollutants. *Environmental Pollution* 112: 163–169.
- VAN HERK, C. M. 2001. Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of changes in epiphytic lichen composition in space and time. *Lichenologist* 33(5): 419–441.
- VDI 3799, 1995. Measurement of Immission Effects. Measurement and Evaluation of Phytotoxic Effects of Ambient Air Pollutants (Immissions) with Lichens. Mapping of Lichens for Assessment of the Air Quality.