

Vpliv prometa na vrstno sestavo epifitskih lišajev

Helena POLIČNIK¹

Izvleček

Za ugotavljanje vnosa onesnažil v okolje in njihovega vpliva na življenjsko združbo smo na izbranih odsekih cest uporabili pasivno bioindikacijo, in sicer smo na osmih različnih lokacijah za popise pojavljajočih se vrst epifitskih lišajev uporabili seznam iz nemške popisne metode. Rezultati popisov epifitskih lišajev kažejo na uporabnost teh organizmov v bioindikacijske namene ob cestah; na lokacijah z večjo gostoto prometa smo evidentirali manj različnih vrst lišajev kot na lokacijah z manjšo gostoto prometa. Na cestnih odsekih z zelo veliko gostoto prometa (povprečni letni dnevni promet > 20.000) so se pojavljale izključno na onesnažen zrak najbolj odporne vrste lišajev, medtem ko so se na odsekih cest z nekoliko manjšo gostoto prometa (povprečni dnevni promet okoli 10.000) bliže robu ceste pojavljale manj toksitolerantne, bolj dušikoljubne vrste epifitskih lišajev. Ob teh odsekih cest so se dlje od roba cestišča (t.j. v 2. in 3. popisnem pasu) začele pojavljati tudi na onesnažen zrak bolj občutljive vrste epifitskih lišajev, ki jih na odsekih cest z zelo veliko gostoto prometa tudi na oddaljenosti 100 m od roba cestišča nismo zabeležili.

Ključne besede: epifitski lišaji, bioindikacija, popisi lišajev, ceste

The impact of traffic on the epiphytic lichen species composition

Abstract

For the assessment of traffic-originated pollutants input into the environment and their impact on biocenosis, the passive bioindication was used at eight selected road sections, where mapping of epiphytic lichen flora was implemented according to a German (VDI) method. The mapping of epiphytic lichens implies that lichens can be used in bioindication studies along roads; indeed, at locations with higher traffic density (average daily traffic > 20,000) fewer lichen species were identified in comparison with locations with lower traffic density. At road sections with very high traffic density only epiphytic lichen species most resistant to pollution were recorded, while less resistant but still highly tolerant to nitrogen pollution lichen species were recorded at road sections with moderate traffic density (average daily traffic around 10,000). At those road sections, the lichen species more sensitive to air pollution also begin to occur; which were not recorded at road sections with very high traffic density, not even 100 m away from the roadside.

Key words: epiphytic lichens, bioindication, mapping of lichens, roads

1 Uvod

1 Introduction

Emisijo škodljivih snovi iz mobilnih virov lahko delimo na emisijo toplogrednih plinov (CO₂, CH₄, N₂O), na emisijo ozonskih prekursorjev (NMVOC (non-methane volatile organic compounds; ne-metanske lahkolapne organske substance), CO, CH₄, NO_x) in na emisijo svinca ter drugih težkih kovin (CAPE *et al.* 2004, GILBERT *et al.* 2007). Do nedavnega je bil največji vir emisij Pb v okolje promet (LEGRET / PAGOTTO 2000). Z zmanjševanjem in odpravljanjem svinčevih aditivov bencinu in z drugimi ukrepi so se emisije tega elementa bistveno zmanjšale (RODE *et al.* 2010).

Znake spreminjajočega se okolja lahko sledimo z

uporabo različnih bioindikatorskih organizmov; kot taki so za sledenje sprememb v kakovosti zraka zelo pogosto uporabljeni epifitski lišaji (GARTY 1993, CONTI / CECCHETTI 2001, ASTA *et al.* 2002, GARTY 2002). Uporabimo jih lahko kot akumulatorske bioindikatorje (npr. JERAN / BYRNE / BATIČ 1995, MIKHAILOVA 2002, LOPPI *et al.* 2003, POLIČNIK / BATIČ / RIBARIČ LASNIK 2004) ali kot odzivne bioindikatorje (npr. WILFLING *et al.* 2003, POLIČNIK / SIMONČIČ / BATIČ 2008). Prve spremembe v vrstni sestavi epifitskih lišajev so bile opažene na območjih s povečanimi vsebnostmi SO₂ v zraku in posledično kislimi padavinami na teh območjih (SHOWMAN 1975, GEEBELEN / HOFFMANN 2001, HÄFFNER *et al.* 2001, HAUCK *et al.* 2001, GIORDANI / BRUNIALTI / MODENESI 2001). Rezultati raziskav kažejo, da se lišaji zelo hitro odzovejo na poslabšanje kakovosti zraka, ob izboljšanih rastnih razmerah pa

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

že v nekaj letih rekolonizirajo urbana in industrijska območja. Pestrost lišajskih vrst v določenem območju je dober kazalnik onesnaženja s plinastimi onesnažili (HAWKSWORTH / ROSE 1970, BATIČ 1991, VAN DOBBEN *et al.* 2001, POLIČNIK / BATIČ / RIBARIČ LASNIK 2004, POLIČNIK / SIMONČIČ / BATIČ 2008, POLIČNIK 2008), med drugim onesnaženosti z dušikovimi oksidi, katerih pomemben vir je tudi promet (VAN HERK / MATHIJSEN-SPIEKMAN / DE ZWART 2003, GOMBERT / ASTA / SEWARD 2003, PINHO *et al.* 2008).

Onesnažila v zraku ne vplivajo le na številčnost lišajskih vrst, temveč predvsem na vrstno sestavo, na podlagi katere lahko sklepamo tako na vrsto kot tudi na stopnjo onesnaženja (npr. VAN HERK 1999, 2001, VAN HERK / MATHIJSEN-SPIEKMAN / DE ZWART 2003, VAN HERK 2004, LOPPI *et al.* 2004, KAPUSTA / SZAREK-LUKASZEWSKA / KISZKA 2004, WOLSELEY *et al.* 2006, MOTIEJUNAITE 2007, JERAN *et al.* 2007, POLIČNIK / SIMONČIČ / BATIČ 2008, POLIČNIK 2008, PINHO *et al.* 2008, LLOP *et al.* 2011). Tako lahko že na podlagi očitnega povečanja številčnosti določene nitrofilne vrste sklepamo na manjšanje zračnega onesnaženja s kislimi onesnažili oz. na večje onesnaženje z dušikovimi onesnažili (NO_x , NH_3); v večini primerov gre pri povečanih koncentracijah bazičnih onesnažil za povečanje amonijaka in alkalnih prašnih delcev v okolju, kar pripisujemo povečanemu prometu, kot je bilo to ugotovljeno npr. v Avstriji (TRINKAUS 2001, WILFLING *et al.* 2003) in tudi Sloveniji (BATIČ *et al.* 2005a, 2005b, RAKEF 2005, VELTRUSKI 2006, POLIČNIK 2008, POLIČNIK / PAPLER / POKORNY 2010).

V bližini različno obremenjenih prometnic v Sloveniji smo na podlagi popisov pojavljajočih se vrst epifitskih lišajev ugotavljali deleže nitrofilnih (dušikoljubnih) vrst, ki kažejo na večjo koncentracijo teh onesnažil v zraku. S tem smo želeli ugotoviti: (i) ali različna gostota prometa na cestah in posledično iz prometa izhajajoče različne količine onesnažila vplivajo na spremembe v vrstni sestavi epifitskih lišajev; (ii) ali z oddaljenostjo od roba cestišča prihaja do sprememb v vrstni sestavi lišajev; (iii) ali se bliže robu cestišča pojavljajo bolj toksitolerantne in dušikoljubne vrste epifitskih lišajev.

2 Material in metode dela

2 Materials and methods

2.1 Opis vzorčevalnih mest

2.1 Description of sampling sites

Za oceno vpliva prometa na sestavo epifitske lišajske vegetacije smo v Sloveniji izbrali 8 različnih odsekov cest (Trzin, Starše, Medvode, Komenda, Mojstrana,

Frankolovo, Postojna, Predjama), kjer smo naredili popise pojavljajočih se vrst epifitskih lišajev. Izbrane lokacije so podane v preglednici 1, glavni kriterij izbire je bila različna obremenitev s prometom. Na izbranih odsekih cest smo popise lišajev naredili v treh pasovih od roba cestišča, in sicer na oddaljenosti 0 – 2 m, 10 – 20 m in 50 – 100 m. Lokacije smo nato oštevilčili skladno s pasom oddaljenosti od ceste, npr. Frankolovo 1, Frankolovo 2 in Frankolovo 3.

2.2 Popisi epifitskih lišajev

2.2 Epiphytic lichen mapping

Za popise lišajev smo kot nosilno drevesno podlago izbrali hrast (*Quercus* sp.) ali visokodebelno sadno drevje – žlahtno jablo (*Malus domestica* L.). Na vsaki izmed lokacij smo izbrali 6 za popise primernih dreves, t.j. obseg drevesa več kot 40 cm, brez poškodb debla, drevesa niso bila del sadovnjakov (tako smo se izognili vplivu škropljenja na vrstno sestavo lišajev; VIDERGAR-GORJUP 2001). Popise lišajev smo opravili na vsaki lokaciji praviloma na treh različnih oddaljenostih od ceste. Izjema so bile lokacije Trzin, Postojna in Predjama, kjer lišajev zaradi izostanka primernih vrst dreves na vseh treh izbranih oddaljenostih od roba cestišča ni bilo; zato je bil na teh lokacijah popis narejen le deloma, in sicer na lokaciji Trzin le v 2. in 3. popisnem pasu, na lokaciji Postojna le v 1. popisnem pasu, ter na lokaciji Predjama delno v 1. popisnem pasu (4 drevesa) in v 2. popisnem pasu (1 drevo). Slednjo lokacijo smo pri obdelavi podatkov zato izključili, zanjo podajamo le seznam evidentiranih vrst lišajev. Lišaje smo v večini primerov določili na terenu z uporabo lupe in namenskih določevalnih ključev (KIRSCHBAUM / WIRTH 1997, WIRTH / DÜLL 2000), le najtežje prepoznavne vrste lišajev smo prinesli v laboratorij in jih določili z uporabo lupe, mikroskopa ter drugih določevalnih ključev (WIRTH 1995a, 1995b).

Frekvenco pojavljanja izbranih vrst epifitskih lišajev smo ugotavljali po standardizirani metodi VDI na šestih izbranih drevesih. Uporabljen je bil seznam iz priloge 2 navodil za popise epifitskih lišajev po nemški VDI metodi (VDI, 1995). Frekvenco posamezne vrste lišajev smo ugotavljali z vzorčevalno mrežico 2 x 5 med seboj povezanih kvadratov velikosti 10 x 10 cm. Spodnji del vzorčevalne mrežice smo namestili 100 cm od tal. Frekvenca 1 pomeni, da je bila posamezna vrsta zabeležena v enem kvadratu; za posamezno drevo je bila torej za vrsto maksimalna frekvenca 10, na popisni pas torej 60 (vsota frekvenc posamezne vrste na vseh šestih drevesih skupaj) in za lokacijo skupaj 180 (v primeru, da so bili na lokaciji narejeni popisi na vseh treh oddaljenostih). Za vsako izmed evidentiranih vrst lišajev smo pripisali indeks toksitolerance (T_o) in vrednost za evtrofikacijo podlage (N) (WIRTH 1992) ter tako ocenjevali delež za onesnažila občutljivih lišajev in delež lišajev, ki so manj občutljivi za hranila oz. evtrofikacijo. Lišaji imajo namreč pripisane vrednosti za T_o in N ; razpon vrednosti za T_o je od

Preglednica 1: Pregled lokacij popisov epifitskih lišajev s podatki o cestah in povprečnim letnim dnevnim prometom (vir: <http://www.dc.gov.si/si/promet/>).

Table 1: Locations of epiphytic lichen mapping with data on road sections, and average annual daily traffic (source: <http://www.dc.gov.si/si/promet/>).

Lokacija / Location	Relacija / Relation	Oznaka odseka / Road section	Kategorija ceste / Road category	PLPD / AADT
Trzin	Trzin – LJ Črnuče	104/0295	Glavna, II. red	35.484
Starše	MB Tržaška – Miklavž	1/0246	Glavna, I. red	33.412
Medvode	Jepca – LJ Šentvid	211/0212	Regionalna, I. red	21.240
Komenda	Sp. Brnik – Moste	104/1137	Glavna, II. red	12.500
Frankolovo	Stranice – Višnja vas	430/0281	Regionalna, II. red	8.441
Postojna	Postojna – Razdrto	409/0306	Regionalna, II. red	7.865
Mojstrana	Dovje – Mojstrana	201/204	Regionalna, I. red	6.100
Predjama	Bukovje – Predjama	913/6110	Regionalna, III. red	150

PLPD/AADT: Povprečni letni dnevni promet (*Average annual daily traffic*).

1 do 9 (večji indeks To pomeni za onesnažila bolj odporno vrsto lišaja), medtem ko je razpon za indeks N za lišaje, ki rastejo na skorjah dreves med 1 in 7 (večji indeks pomeni za evtrofikacijo manj občutljive vrste). Pri ugotavljanju pojavljanja različno občutljivih lišajev na posameznem popisnem mestu je upoštevana tudi njihova pogostost (frekvenca) pojavljanja.

3 Rezultati in razprava

3 Results and discussion

Rezultati pojavljanja posameznih vrst lišajev (znotraj popisne mrežice) skupaj s frekvencaми pojavljanja na

posamezni lokaciji so podani v preglednici 2. Poudariti je treba, da so skupne frekvence pojavljanja lišajev v posameznem popisnem pasu podane kot vsote frekvenc na vseh šestih drevesih, zato so lahko primerljive med sabo le lokacije, kjer je bil popis narejen na vseh šestih drevesih; ločeno je torej treba obravnavati lokacijo Predjama, kjer popis ni bil narejen na šestih drevesih.

Na izbranih odsekih državnih cest, ki so s prometom različno obremenjene, je bila pokritost debel dreves z lišaji zelo različna. Frekvence pojavljanja lišajev (pokritost debel z lišaji znotraj popisne mrežice) ne korelirajo z gostoto prometa (Spearmanov korelacijski koeficient rangov: $R=-0,14$; $p>0,05$), čeprav to drži za število vrst (Spearmanov korelacijski koeficient rangov: $R=-0,83$; $p=0,002$). Število evidentiranih vrst je odvisno od gostote prometa oz. povprečnega letnega dnevnega prometa, pri čemer je

bilo na lokacijah z večjo gostoto prometa evidentiranih bistveno manj različnih vrst lišajev (POLIČNIK / PAPLER / POKORNY 2010). Z raziskavami v Italiji so ugotovili, da načeloma to ne velja, če pri popisih ne upoštevamo skorjastih vrst lišajev, ki lahko imajo bistven vpliv na skupno število različnih vrst lišajev (pri računanju vrednosti diverzitete lišajev – *lichen diversity value* (LDV) gre za modifikacijo evropske metode (ASTA *et al.*, 2002), saj so upoštevani le listasti in grmičasti lišaji, skorjasti pa ne). Pri izračunu vrednosti LDV pa skorjaste vrste niso tako pomembne in ne pomenijo sprememb pri vrednotenju rezultatov; v tem primeru namreč velja, da lahko z ugotavljanjem pojavljanja posameznih funkcionalnih skupin lišajev bolj natančno opredelimo stopnjo zračnega onesnaženja v manjših urbanih območjih kot z diverzitetno oz. frekvencami pojavljanja lišajev; kot funkcionalne skupine so mišljene skupine vrst lišajev, ki se podobno odzivajo na specifičen okoljski faktor (PINHO *et al.*, 2008a, 2008b, LLOP *et al.*, 2011). Izmed vseh rezultatov (preglednica 2) se zelo močno razlikuje skupna frekvenca lišajev v 1. popisnem pasu v Frankolovem, torej na lokaciji Frankolovo 1, ki je za vseh šest dreves skupaj le 12. Na tej lokaciji ni bilo niti najbolj značilnih/odpornih skorjastih lišajev, kar je lahko posledica tako posebnih ekoloških razmer (velika izpostavljenost soncu) kot izbire drevesne podlage (jablana, katere lubje se lušči) in tudi potencialnega vpliva kmetijstva (gnojenje). Na terenu sicer sledov gnojenja (gnojevke) na deblu dreves nismo zaznali, vendar tega ne moremo izključiti, saj so popisna drevesa z roba intenzivnega travnika. V prid tej razlagi je tudi dejstvo, da je bil velik delež (83 %) obstoječih lišajev takšnih, ki so zelo odporni proti hranilom (imajo indeks N večji ali enak 5 na lestvici od 1 – 7 za lišaje, ki rastejo na deblih, kar pomeni proti evτροφikaciji zmerno odporne vrste). Na tej mikrolokaciji (Frankolovo 1) so verjetno tudi zaradi izjemno majhne pokrovnosti lišajev deleži toksitolerantnih vrst majhni, in sicer je le 25 oz. 8 % lišajev odpornih proti onesnažilom (imajo indeks To 6 oz. 7; preglednica 3). Upoštevati je treba tudi dejstvo, da je zaradi večjih virov onesnaženja lahko v določenih predelih Slovenije posledično tudi splošno onesnaženje zraka večje in zato tudi stanje epifitske lišajske vegetacije slabše (npr. v širši okolici termoenergetskih objektov, topilnic, cementarn).

V Postojni smo popise lišajev opravili le v 1. popisnem pasu, kjer pa je bila pokritost drevesnega debla znotraj popisne mrežice praktično 100 %. Evidentiranih je bilo sicer manjše število različnih vrst kot na lokaciji Frankolovo (vsi trije popisni pasovi skupaj) (POLIČNIK / PAPLER / POKORNY 2010), vendar pa so bile frekvence pojavljanja vrst bistveno večje. Na lokaciji Frankolovo 1 je bila frekvenca 12; na lokaciji Postojna 1 pa 180, kljub temu da je na slednji lokaciji gostota prometa le malo manjša (preglednica 1). Na lokaciji Postojna 1 je bil relativno majhen delež za onesnažila zelo občutljivih vrst lišajev (34 oz. 27 % je bilo tistih vrst lišajev z indeksom To večjim ali enakim 6 oz. 7), medtem ko je bil delež proti evτροφikaciji odpornih vrst lišajev velik (83 % vseh ima indeks N večji

ali enak 4).

Načeloma ugotavljamo, da se z naraščanjem gostote prometa manjša obraslost drevesnih debel z epifitskimi lišaji, izjemi sta zgoraj obravnavana lokacija Frankolovo 1 ter tudi Mojstrana 1. Na slednji lokaciji je bila sicer obraslost debel z lišaji zelo velika, vendar je bilo skupno število različnih vrst lišajev znotraj popisne mrežice relativno majhno (6 različnih vrst znotraj popisne mrežice); debela so bila močno obrasla z vrstama *Physcia adscendens* in *Candelariella xanthostigma*, ki spadata med toksitolerantni vrsti (indeks To 8 oz. 6) in odporni proti evτροφikaciji (indeks N 6 oz. 4). Druge vrste so bile opažene le posamično. Vendar je bilo na tej lokaciji zunaj vzorčevalne mrežice evidentiranih še bistveno večje število epifitskih lišajev (*ibid.*).

Na lokacijah z zelo veliko gostoto prometa (povprečni letni dnevni promet (PLDP) > 20.000 vozil, t.j. Trzin, Starše in Medvode) in veliko gostoto prometa (PLDP okoli 12.000 vozil, t.j. Komenda) je bil delež toksitolerantnih vrst zelo velik na vseh treh oddaljenostih od roba cestišča, medtem ko je bil delež vrst z velikim indeksom N zelo majhen (preglednica 3). To pomeni, da so se v zelo velikem deležu pojavljale vrste, ki so odporne proti splošnim zračnim onesnažilom, hkrati pa so občutljive za evτροφikacijo in dušik (velik prispevek prometa). To se ujema z ugotovitvami drugih raziskav (BATIČ in sod. 2005a, MUNZI *et al.* 2010), kjer je bilo ugotovljeno, da velike koncentracije dušika skozi daljše časovno obdobje povzročajo negativne učinke (izginjanje nekaterih lišajev) tako na dušikoljubne (nitrofilne) kot na ne-dušikoljubne (ne-nitrofilne) vrste. Na lokaciji Starše 1 so bile zabeležene le proti onesnaženemu zraku najbolj odporne vrste epifitskih lišajev (indeks To 9), kot so *Buellia punctata*, *Lecanora conizaeoides* in *Lepraria* sp.; na lokaciji Starše 2 je bila vrstna sestava zelo podobna, dodatno sta se pojavili dve vrsti, ki sta za onesnažen zrak nekoliko bolj občutljivi, to sta *Pertusaria amara* in *Phlyctis argena* z indeksi To 5 oz. 6, ter še ena proti onesnaženemu zraku zelo odporna vrsta (*Lecanora expallens* z indeksom To 9). Tudi na lokaciji Starše 3 so se pojavljale predvsem vrste z indeksom To 9. To kaže, da na območju s tako veliko prometno obremenitvijo lahko uspevajo le proti onesnaženemu zraku najbolj odporne vrste lišajev, vpliv pa je izredno velik tudi na oddaljenosti več kot 100 m od roba cestišča. Nekoliko manjše deleže proti onesnaženemu zraku najbolj odpornih lišajev smo evidentirali na lokacijah Trzin 2 in Trzin 3, kar pa je lahko tudi posledica izbire vzorčevalnih dreves; zaradi izostanka prostostojećih dreves smo izbrali drevesa v gozdu na pobočju hriba. Medtem ko za vse te lokacije ugotavljamo velik delež proti onesnaženemu zraku odpornih vrst ne glede na oddaljenost od roba cestišča, pa velja pri občutljivosti za evτροφikacijo poudariti, da se z oddaljenostjo od roba cestišča na lokacijah z veliko oz. zelo veliko gostoto prometa le-ta povečuje (vrst, ki bi bile hkrati zelo odporne proti onesnaženju in evτροφikaciji je zelo malo), na lokacijah z manjšo gostoto prometa (PLDP < 10.000 vozil) pa zmanjšuje. To kaže, da na vrstno sestavo

Preglednica 2: Pregled frekvence pojavljanja posamezne vrste lišaja na vseh šestih drevesih na posamezni lokaciji v posameznem popisnem pasu. Podane so tudi vrednosti za toksitoleranco (To) in indeks evtrofikacije (N) za posamezno vrsto lišaja (po WIRTH 1992).

Table 2: The frequencies of appearance of lichen species on all six trees from specific location. Also the indexes for toxitolterance (To) and eutrophication (N) after WIRTH 1992 for individual lichen species are given.

	To	N	Trzin 1	Trzin 2	Trzin 3	Starše 1	Starše 2	Starše 3	Medvode 1	Medvode 2	Medvode 3	Komenda 1	Komenda 2	Komenda 3	Frankolovo 1	Frankolovo 2	Frankolovo 3	Postojna 1	Postojna 2	Postojna 3	Mojstrana 1	Mojstrana 2	Mojstrana 3	Predjama 1	Predjama 2	Predjama 3
<i>Anaptychia ciliaris</i>	2	5																12								
<i>Buellia punctata</i>	9	5				3		20										1					3			
<i>Candelaria concolor</i>	4	5									4				9			54			1		2	20		
<i>Candelariella xanthostigma</i>	6	4		2	3						42										51	53	58	1		
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	8	2																11								
<i>Hypogymnia physodes</i>	8	2						1		1	8					1								11	10	
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	6	3													1											
<i>Lecanora allophana</i>	3	4								1				3					1							1
<i>Lecanora carpinea</i>	5	3																	1							
<i>Lecanora conizaeoides</i>	9			20	20	30	47	50			40	35	20	40		20	10	8					60	60		
<i>Lecanora expallens</i>	9	4					12	5				5														
<i>Lecidella elaeochroma</i>	6	4													1	1										
<i>Lepraria sp.</i>	9	3		11	13	23	5	13	49	29	10	44	41	21		13	20				1					
<i>Ochrolechia turneri</i>	4	4			9																					
<i>Parmelia acetabulum</i>	6	5																	4						3	
<i>Parmelia caperata</i>	3	3																							1	
<i>Parmelia exasperatula</i>	6	4				10																			3	
<i>Parmelia glabratula</i>	5	3		15	7			4	7	6	17			2				19				1		1		
<i>Parmelia pastillifera</i>	3	4																							1	
<i>Parmelia saxatilis</i>	7	2																								3
<i>Parmelia subrudecta</i>	6	3																	2							
<i>Parmelia sulcata</i>	8	4									4					1			5			5		1	8	4
<i>Parmelia tiliacea</i>	5	4																					1		12	1
<i>Pertusaria albescens</i>	4	4							8								5									
<i>Pertusaria amara</i>	5	2		2			1					10		2		1			12					1		
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	7	7									30								5				11	15	6	
<i>Phlyctis argena</i>	6	3			5		10	12		4	2	12	15	22	1	18	6	7			2		5			
<i>Physcia adscendens</i>	8	6		5						3	38			2	1				13			43	60	60	12	
<i>Physcia aipolia</i>	4	5																	2				1			
<i>Physconia distorta</i>	3	6																	27							
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	7	1																							3	2
<i>Ramalina pollinaria</i>	4	4																							4	
<i>Usnea sp.</i>	3,5	2,5																								2
<i>Xanthoria candelaria</i>	5	7																	10							
<i>Xanthoria parietina</i>	7	6																	16				6		11	
<i>Xanthoria polycarpa</i>	7	6																						2		
SKUPAJ			0	55	67	56	75	105	64	44	195	109	79	136	12	60	74	180	0	0	103	192	208	93	27	0

Opomba: * Lokacije so razvrščene glede na povprečni letni dnevni promet od največjega (Trzin) proti najmanjšemu (Predjama). To: indeks toksitolerance; N: indeks hranil. Nomenklatura imen lišajev smo privzeli po uporabljenih določevalnih ključih (KIRSCHBAUM / WIRTH 1997, WIRTH / DÜLL 2000, WIRTH 1995a, 1995b).

Note: * Locations are arranged according to their traffic density from the highest (Trzin) toward the infrequent traffic (Predjama). To: index of toxitolterance; N: index of eutrophication. The nomenclature for the lichen names was adopted from the used determination keys (KIRSCHBAUM / WIRTH 1997, WIRTH / DÜLL 2000, WIRTH 1995a, 1995b).

lišajev na določenem območju najbolj vpliva splošna onesnaženost zraka zaradi prometa (ne le dušik in posledično evtrofikacija, temveč tudi druga onesnažila v zraku, kot so npr. SO₂, PAH, MTBE, težke kovine). Šele ko je gostota prometa dovolj majhna, je mogoče neposredno ob cesti evidentirati vrste, ki so občutljive za dušik (to pomeni, da stopnja onesnaženosti ni več tako velika oz. je doza onesnaženosti dosti manjša, zato lahko zaznamo ločen vpliv na acidofilne (manjšanje številčnosti) in nitrofilne (večanje številčnosti) vrste; MUNZI *et al.* 2010). V takšnih primerih se dlje od roba cestišča pojavljajo tudi vrste, ki so za evtrofikacijo manj občutljive in so tudi manj občutljive za onesnaženje (tudi

delež vrst z velikim indeksom toksitolerance se zmanjšuje). Podobno so ugotovili tudi z raziskavami na Portugalskem (LLOP *et al.*, 2011), kjer se v manjših urbanih območjih številčnost oligotrofnih, hidrofobnih in acidofilnih vrst lišajev v bližini cest močno zmanjšuje. Zato ne preseneča dejstvo, da smo vrste *Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia adscendens* in *Xanthoria parietina*, ki so značilne za območja, bolj obremenjena z dušikom, t.j. lokacije, kjer je tudi promet večji (VAN HERK 1999, WILFLING / KOMPOSCH / TRINKAUS 2003, NIMIS / MARTELLOS 2008), evidentirali le na lokacijah z manjšo gostoto prometa, pogosteje pa so se pojavljale bližje robu cestišča. Z manjšanjem vpliva prometa na kakovost zraka (manjša

Preglednica 3: Deleži toksitolerantnih in na dušik odpornih vrst na posameznih lokacijah in v posameznem popisnem pasu. Indeksa toksitolerance (To) in evtrofikacije (N) sta povzeta po WIRTH 1992.

Table 3: Proportion of toxitolterant and nitrophytic lichen species at individual sampling locations at different distances from the roadside. The toksitolerance (To) and euthrophycation (N) indexes are after WIRTH 1992.

	To>=6 (To>=7)			N>=4 (N>=5)		
	1. pas	2. pas	3. pas	1. pas	2. pas	3. pas
Trzin	-	0,69 (0,65)	0,76 (0,49)	-	0,13 (0,09)	0,34 (0)
Starše	1 (1)	0,98 (0,85)	0,96 (0,85)	0,05 (0,05)	0,16 (0)	0,24 (0,19)
Medvode	0,77 (0,77)	0,84 (0,75)	0,89 (0,67)	0,12 (0)	0,09 (0,07)	0,60 (0,37)
Komenda	0,88 (0,77)	0,96 (0,77)	0,85 (0,68)	0,03 (0)	0,04 (0)	0,24 (0,01)
Frankolovo	0,25* (0,08)	0,9 (0,58)	0,71 (0,55)	0,83 (0,83)	0,08 (0)	0,11 (0)
Postojna	0,34 (0,27)	-	-	0,83 (0,80)	-	-
Mojstrana	0,99 (0,47)	0,98 (0,71)	0,98 (0,68)	0,97 (0,43)	0,68 (0,40)	0,68 (0,40)
Predjama	0,62 (0,55)	0,7 (0,7)	-	0,83 (0,56)	0,37 (0)	-

Opomba: * skupna frekvenca pojavljanja vseh vrst skupaj na vseh 6 drevesih je bila le 12.

Note: * the frequency of epiphytic lichens was very low, only 12.

gostota prometa in večja oddaljenost od roba cestišča) torej že obstajajo takšne razmere, ki omogočajo rast bolj občutljivih vrst epifitskih lišajev, tako bolj občutljivih za onesnaženje kot za evtrofikacijo. Na lokaciji Postojna 1 je bil velik delež drevesnega debla vseh 6 dreves prekrit z grmičastim lišajem *Anaptychia ciliaris*, ki spada med zelo občutljive vrste epifitskih lišajev (indeks To 2), pa vendar je za to vrsto značilno, da se pojavlja na območjih s povečano evtrofikacijo (indeks N po WIRTH 1992 je 5 (na 7-stopenjski skali) oz. 2 – 3 po NIMIS / MARTELLOS 2008 (na 5-stopenjski skali)).

velika, je vpliv izpustnih plinov vozil tako velik (kronično onesnaženje), da le-ta vpliva na vse vrste epifitskih lišajev (tudi nitrofilne), ostajajo le proti onesnaženemu zraku najbolj odporne vrste lišajev. Vpliv prometa je znan tudi na oddaljenosti 100 m od roba cestišča. Pri zmernih gostotah prometa pa se delež dušikoljubnih vrst poveča na račun manjšanja najbolj toksitolerantnih vrst. Za onesnažen zrak najbolj občutljive vrste epifitskih lišajev in tudi takšne, ki niso tako odporne za evtrofikacijo (predvsem onesnaženje z dušikom), se pojavljajo na cestnih odsekih z zmerno obremenitvijo dlje od roba cestišča (2. oz. 3. popisni pas) in na odsekih z zelo majhno gostoto prometa v vseh popisnih pasovih.

4 Zaključki

4 Conclusions

Na podlagi obstoja epifitskih lišajev kot kazalnikov kakovosti zraka lahko torej zaključimo, da promet močno vpliva na kakovost zraka vzdolž prometnic. Vpliv je večji na območjih z večjo gostoto prometa, tako v smislu večjega negativnega vpliva na vrstno sestavo kot v smislu območja vpliva – vpliv prometa je na bolj obremenjenih cestnih odsekih mogoče zaznati dlje stran od roba cestišča. Na odsekih cest, kjer je gostota prometa že več let zelo

5 Summary

The most common pollutants from traffic are nitrogen oxides, carbon monoxide, volatile hydrocarbons, particular matter, and heavy metals. Epiphytic lichens have been very often used in studies of traffic-related pollution, since they react to the nitrogen pollution very quickly, while other important traffic-related pollutants do not affect them in great extent. The pollution can lead to the reduction of the lichen diversity (the number of different lichen species), but

most important impact is the change in the lichen species composition. Based on the species composition and on the frequency of some lichen species the conclusion, not only on the type of pollution, but also on the degree of the pollution can be made.

For the assessment of traffic-originated pollutants input into the environment and their impact on biocenosis the passive bioindication was used. Namely, the mapping of epiphytic lichens was done at eight different road sections with different traffic density (average annual daily traffic – AADT), and the mapping was done at each location at three different distances (mapping zones) from the roadside (0 – 2 m, 10 – 20 m, and 50 – 100 m). The mapping was done at 6 trees at each location and each distance from the roadside. The presence and frequency of 56 taxa of epiphytic lichens was checked (List of lichens within the German VDI method for the air pollution assessment) within the assessment grid of 2 x 5 linked squares of 10 x 10 cm. The frequency of appearance was defined (between 0 and 10 for the individual tree, and maximum 60 for one distance from the roadside at the location) for each lichen species. For the lichens also the toxicological and eutrophication data were noted from the literature data, so called indices of toxitolerance (To) and eutrophication (N) were defined. The portion of highly tolerant (high To index), or tolerant to nitrogen pollution (high index N) lichen species were determined, taking also their frequency of appearance into the consideration.

The cover of tree trunks with epiphytic lichens is different among sampling sites with different traffic density. The sum of frequencies of all lichens from one location does not correlate with traffic density, while on the other hand the number of different lichen species is in correlation with traffic density. Namely, the number of different lichen species is significantly higher at locations with lower traffic density. Therefore, we can conclude that the assessment of air quality can be based on the presence and frequency of specific lichen species, i.e. highly toxitolerant, nitrophytic or resistant lichen species. The proportion of toxitolerant lichen species was very high at locations with very high (AADT > 20.000) and high (AADT ≈ 12.000) traffic density at all three distances from the roadside, while the proportion of species with high index N (resistant to eutrophication) was low. The high nitrogen pollution over long time have a negative impact (the decline of some lichen species) not only to nitrophytic but also to non-nitrophytic lichen species; only the most toxitolerant species can survive in such extreme (polluted) environmental conditions, such as *Buellia punctata*, *Lecanora conizaeoides*, *L. expallens*, *Lepraria* sp. However, at locations with lower traffic density (AADT < 12.000), the proportion of N-tolerant lichens is higher in the 1st mapping zone, and is decreasing with the distance from the roadside. The N-tolerant lichens such as *Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia adscendens*, and *Xanthoria parietina* were often present at those locations, and were more often recorded in the 1st mapping zone in comparison with the 2nd and 3rd. At locations with lower

traffic density the more sensitive species starts to appear further away from the pollution source.

6 Viri

6 References

- BATIČ, F., 1991. Bioindikacija onesnaženosti zraka z epifitskimi lišaji.- *GozdV* 49: 248-254
- BATIČ, F. / KRALJ, T., 1995. Bioindikacija onesnaženosti ozračja v gozdovih z epifitskimi lišaji.- *Zb Gozd Lesar* 47: 45-56.
- BATIČ, F. / KASTELEC, D. / TURK, B. / ELER, K. / MAVSAR, R. / RAKEF, I. / MEŠL, R. / PILTAVER, A. / LESKOVEC, G. / MAYRHOFER, H., 2005a. Karta lišajev območja MOL. Končno poročilo.- Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, 38 s.
- BATIČ, F. / KASTELEC, D. / TURK, B. / ELER, K. / RAKEF, I., 2005b. Ponovno kartiranje epifitskih lišajev na območju mesta Ljubljane kot merilo izboljšanja kakovosti zraka v obdobju 1974-2004. V: Ekološka sanacija termoeenergetskih objektov in uporaba bioindikacijskih metod. Zbornik povzetkov mednarodne konference.- Velenje, ERICo, s. 32-33.
- CAPE, J. N. / TANG, Y. S. / VAN DIJK, N. / LOVE, L. / SUTTON, M. A. / PALMER, S. C. F., 2004. concentrations of ammonia and nitrogen dioxide at roadside verges, and their contribution to nitrogen deposition.- *Environ Pollut* 132: 469-478.
- CONTI, M. E. / CECCHETTI, G., 2001. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review.- *Environ Pollut* 114: 471-492.
- GARTY, J., 1993. Lichens as biomonitors for heavy metal pollution.- V: *Plants as biomonitors*. MARKERT, B. A. (ur.). WCH, Weinheim, str. 193-263.
- GARTY, J., 2002. Biomonitoring heavy metal pollution with lichens.- V: *Protocols in lichenology. Culturing, biochemistry, ecophysiology and use in biomonitoring*. KRANNER, I. / BECKETT, R. / VARMA, A. (ur.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- GEEBELEN, W. / HOFFMAN, M., 2001. Evaluation of bioindication methods using epiphytes by correlating with SO₂-pollution parameters.- *Lichenologist* 33, 3: 249-260.
- GILBERT, N. L. / GOLDBERG, M. S. / BROOK, J. R. / JERRETT, M., 2007. The influence of highway traffic on ambient nitrogen dioxide concentrations beyond the immediate vicinity of highways.- *Atmosph Environ* 41: 2670-2673.
- GIORDANI, P. / BRUNIALTI, G. / MODENESI, P., 2001. Applicability of the lichen biodiversity method (L.B.) to a Mediterranean area (Liguria, NW Italy).- *Cryptogamie Mycol* 22: 193-208.
- GOMBERT, S. / ASTA, J. / SEAWARD, M.R.D., 2003. Correlation between nitrogen concentration of two epiphytic lichens and the traffic density in an urban area.- *Environ Pollut* 123: 281-290.
- HÄFFNER, E. / LOMSKY, B. / HYNEK, V. / HÄLLGREN, J.E. / BATIČ, F. / PFANZ, H., 2001. Air pollution and lichen physiology. Physiological responses of different lichens in

- a transplant experiment following an SO₂ gradient.- *Water Air Soil Pollut* 131: 185-201.
- HAUCK, M. / HESSE, V. / JUNG, R. / ZÖLLER, T. / RUNGE, M., 2001. Long-distance transported sulphur as a limiting factor for the abundance of *Lecanora conizaeoides* in montane spruce forests.- *Lichenologist* 33: 267-269.
- 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.
- JERAN, Z. / BYRNE, A. R. / BATIČ, F., 1995. Transplanted epiphytic lichens as biomonitors of air-contamination by natural radionuclides around the Žirovski vrh uranium mine, Slovenia.- *Lichenologist* 27: 375-385.
- JERAN, Z. / MRAK, T. / JACIMOVIČ, R. / BATIČ, F. / KASTELEC, D. / MAVSAR, R. / SIMONČIČ, P., 2007. Epiphytic lichens as biomonitors of atmospheric pollution in Slovenian forests.- *Environ Pollut* 146: 324-331.
- KAPUSTA, P. / SZAREK-LUKASZEWSKA, G. / KISZKA, J., 2004. Spatial analysis of lichen species richness in a disturbed ecosystem (Niepolomice Forest, S Poland).- *Lichenologist* 36: 249-260.
- KIRSCHBAUM, U. / WIRTH, V., 1997. Flechten erkennen – Luftgüte bestimmen.- Eugen Ulmer GmbH & Co., Germany, 128 s.
- LEGRET, M. / PAGOTTO, C., 2000. Evaluation of heavy metal emission and transfer from road and traffic sources.- Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, BP 4129, 44341 Bouguenais Cedex, France. <http://www.cprm.gov.br/pgagem/Manuscripts/legretm.htm> (22.6.2011)
- LLOP, E. / PINHO, P. / MATOS, P. / PEREIRA, M. J. / BRANQUINHO, C., 2011. The use of lichen functional groups as indicators of air quality in a Mediterranean urban environment.- *Ecol Indic*, doi: 10.1016/j.ecolind.2011.06.005.
- LOPPI, S. / RICCOBONO, F. / ZHANG, Z.H. / SAVIC, S. / IVANOV, D. / PIRINTSOS, S. A., 2003. Lichens as biomonitors of uranium in the Balkan area.- *Environ Pollut* 125: 277-280.
- LOPPI, S. / FRATI, L. / PAOLI, L. / BIGAGLI, V. / ROSSETTI, C. / BRUSCOLI, C. / CORSINI, A., 2004. Biodiversity of epiphytic lichens and heavy metal contents of *Flavoparmelia caperata* thalli as indicators of temporal variations of air pollution in the town of Montecatini Terme (central Italy).- *Sci Tot Environ* 326: 113-122.
- MIKHAILOVA, I., 2002. Transplanted lichens for bioaccumulation studies. V: Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens.- NIMIS, P. L. / SCHEIDEGGER, C. / WOLSELEY, P.A. (ur.). Kluwer Academic Publishers: 301-304
- MOTIEJUNAITE, J., 2007. Epiphytic lichen community dynamics in deciduous forests around a phosphorus fertilizer factory in Central Lithuania.- *Environ Pollut* 146: 341-349.
- MUNZI, S. / PISANI, T. / PAOLI, L. / LOPPI, S., 2010. Time- and dose-dependency of the effects of nitrogen pollution on lichens.- *Ecotoxicol Environ Saf* (2010), doi: 10.1016/j.ecoenv.2010.07.042.
- NIMIS, P. L. / MARTELLOS, S., 2008. ITALIC – The Information System on Italian Lichens. Version 4.0.- University of Trieste, Dept. of Biology, IN4.0/1 (<http://dbiodbs.univ.trieste.it>).
- PINHO, P. / AUGUSTO, S. / MARTINS-LOUÇÃO, M. A. / PEREIRA, M. J. / SOARES, A. / MÁGUAS, C. / BRANQUINHO, C., 2008a. Causes of change in nitrophytic and oligotrophic lichen species in a Mediterranean climate: Impact of land cover and atmospheric pollutants.- *Environ Pollut* 154: 380-389.
- PINHO, P. / AUGUSTO, S. / MÁGUAS, C. / PEREIRA, M. J. / SOARES, A. / BRANQUINHO, C., 2008b. Impact of neighbourhood land-cover in epiphytic lichen diversity: Analysis of multiple factors working at different spatial scales.- *Environ Pollut* 151: 414-422.
- POLIČNIK, H., 2008. Ugotavljanje onesnaženosti zraka s kartiranjem epifitskih lišajev in z analizo akumulacije težkih kovin. Doktorska disertacija.- Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, 135 s.
- POLIČNIK, H. / BATIČ, F. / RIBARIČ LASNIK, C., 2004. Monitoring of short-term heavy metal deposition by accumulation in epiphytic lichens (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.).- *J Atmos Chem* 49: 223-230.
- POLIČNIK, H. / SIMONČIČ, P. / BATIČ, F., 2008. Monitoring air quality with lichens: A comparison between mapping in forest sites and in open areas.- *Environ Pollut* 151: 395-400.
- POLIČNIK, H. / KOPUŠAR, N. / SAVINEK, K. / POKORNY, B., 2009. Vpliv prometa na okolje v bližini večjih prometnic na podlagi analize onesnaženosti tal in bioindikatorjev. Zaključno poročilo.- ERICo Velenje, DP 3/02/09.
- POLIČNIK, H. / PAPLER, U. / POKORNY, B., 2010. Uporaba epifitskih lišajev kot bioindikatorskih organizmov za ugotavljanje onesnaženosti zraka ob izbranih državnih cestah v Sloveniji.- Zbornik referatov 10. Slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, 20. – 22. oktobra 2010, str. 1023-1035.
- RAKEF, I., 2005. Kartiranje epifitske lišajske flore v mestu Ljubljana kot metoda ugotavljanja kvalitete zraka in primernosti obstoječe drevnine za te potrebe. Diplomsko delo, univerzitetni študij.- Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za krajinsko arhitekturo arhitekturo.
- RODE, B. / GARTNER, D. / LOGAR, M. / KANDUČ, T., 2010. Informative inventory report 2010 for Slovenia – submission under the UNECE Convention on Long-range transboundary Air Pollution, Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija za okolje Republike Slovenije.
- SHOWMAN, R.E., 1975. Lichens as indicators of air quality around a coal-fired power generating plant.- *Bryologist* 78: 1-6.
- TRINKAUS, P., 2001. Wiederbesiedlung weiter Bereiche des Grazer Stadtgebietes durch *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.- *Botany* 2: 5-11.
- VAN DOBBEN, H.F. / WOLTERBEEK, H.T.H. / WAMELINK, G.W.W. / TER BRAK, C.J.F., 2001. Relationship between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollutants.- *Environ Pollut* 112: 163-169.
- VAN HERK, C.M., 1999. Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in the Netherlands.- *Lichenologist* 31: 9-20.
- 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.

- VAN HERK, C.M., 2004. A changing lichen flora. The effects of short and long distance nitrogen deposition on epiphytic lichens. V: LAMBLEY, P. / WOLSELEY, P. (ur.) English Nature Research Reports, Number 525, Lichens in a changing pollution environment, s. 13-20.
- VAN HERK, C.M. / MATHIJSEN-SPIEKMAN, E.A.M. / DE ZWART, D., 2003. Long distance nitrogen air pollution effects on lichens in Europe.- *Lichenologist* 35: 347-359.
- 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.
- VELTRUSKI, B., 2006. Lišajska karta Maribora. Diplomsko delo. Univerzitetni študij.- Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo.
- VIDERGAR GORJUP, N., 2001. Biokemični in fiziološki odziv izbranih epifitskih lišajskih vrst na delovanje amoniaka in biocidov v sadjarstvu. Doktorska disertacija.- Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
- WILFLING, A. / KOMPOSCH, H. / TRINKAUS, P. / PODESSER, A. / GRUBE, M., 2003. BIO-Indikation mit Flechten im Sueden von Graz. Endbericht. Studie im Auftrag der FA 17C, Technische Umweltkontrolle & Sicherheitswesen, Amt der Stmk. Landesregierung. 231 s.
- WIRTH, V., 1992. Zeigerwerte von Flechten. V: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. ELLENBERG, H. / WEBER, H.E. / DÜLL, R. / WIRTH, V. / WERNER, W. / PAULIBEN, D.- *Scripta Geobotan* 18: 215-237.
- WIRTH, V., 1995a. Flechtenflora. Bestimmung und oekologische Kennzeichnung der Flechten Suedwestdeutschlands und angrenzender Gebiete. 2. izdaja.- Stuttgart, Ulmer.
- WIRTH, V., 1995b. Die Flechten Baden-Württembergs, Teil 1 und 2, 2. izdaja.- Stuttgart, Ulmer.
- WIRTH, V. / DULL, R., 2000. Farbatlas Flechten und Moose.- Eugen Ulmer GmbH & Co., Germany, s. 320.
- WOLSELEY, P. / JAMES, P.W. / THEOBALD, M.R. / SUTTON, M.A., 2006. Detecting changes in epiphytic lichen communities at sites affected by atmospheric ammonia from agricultural sources.- *Lichenologist* 38: 161-176.

