

UPORABA EPIFITSKIH LIŠAJEV KOT KAZALNIKOV KAKOVOSTI ZRAKA OB IZBRANIH TESTNIH ODSEKIH CEST V SLOVENIJI

THE USE OF EPIPHYTIC LICHENS AS BIOINDICATORS OF AIR QUALITY ALONG SELECTED ROAD SECTIONS IN SLOVENIA

Helena POLIČNIK¹

(1) ERICO Velenje, Inštitut za ekološke raziskave d.o.o., Koroška 58, SI-3320 Velenje in Univerza na Primorskem, Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije, Glagoljaška 8, SI-6000 Koper: helena.policnik@erico.si

IZVLEČEK

Lišaje smo uporabili kot pasivne odzivne bioindikatorje za ugotavljanje onesnaženosti zraka na lokacijah ob izbranih slovenskih cestah z različno gostoto prometa. S popisi na različnih oddaljenostih od roba cestišča na vsaki izmed izbranih lokacij smo ugotavljali tudi vplivno območje emisij iz prometa na kakovost zraka. Izbrali smo dve različni metodi popisov, in sicer preprosto oceno kakovosti zraka na podlagi številčnosti in pokrovnosti različnih rastnih oblik lišajev (SI metoda) ter zahtevnejšo metodo, ki temelji na beleženju vrst lišajev (metoda VDI). Ugotovili smo, da tudi na lokacijah z zmerno gostoto prometa (povprečni dnevni promet < 20.000) emisije iz prometa vplivajo na kakovost zraka, a le v ozkem pasu ob cesti (< 100 m), saj vrstna sestava lišajev, število različnih vrst ter tudi izračunani indeksi zračne čistosti po obeh izbranih metodah kažejo na to, da je na izbranih lokacijah vpliv le v 1. popisnem pasu, torej tik ob cestah, a z oddaljenostjo od ceste hitro upada.

Ključne besede: bioindikacija, promet, popisi lišajev

ABSTRACT

For the assessment of air quality at locations along selected road sections with different traffic density, epiphytic lichens were used as passive reactive bioindicators. With the mapping at different distances from the roadside at each location, the traffic-related pollution impact area was assessed. Two different mapping methods were used, specifically the simple assessment of air quality, based on the assessment of frequency and coverage of different lichen growth forms (the SI method), and more demanding one, based on mapping of lichen species (the VDI method). We conclude that at locations with moderate traffic density (average daily traffic < 20,000) the traffic-related emissions have an influence on air quality as well, except that the impact is limited to a narrow zone along the roads (< 100 m). The epiphytic lichen species composition, the number of different lichen species, as well as calculated indexes of air purity according to two different methods indicate influence of traffic-pollution in the first mapping zone (adjacent to roads), with the impact level decreasing with the distance from the roads.

Key words: epiphytic lichens, traffic, lichen mapping

GDK 172.9:425(497.4)(045)=163.6

Prispelo / Received: 18. 04. 2013

Sprejeto / Accepted: 25. 09. 2013

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Onesnaževanje ekosistemov je eden najpomembnejših okoljskih problemov, saj neposredno (vpliv na zdravstveno stanje in vitalnost osebkov) ter posredno (zmanjševanje primernosti habitatov kot posledica degradacije njihove kakovosti) negativno deluje na žive organizme, vključno z ljudmi. Upošteva se promet kot pomemben razpršen emisijski vir je (bilo) najbolj problematično anorgansko onesnažilo svinec (Pb); do sredine devetdesetih let prejšnjega stoletja je bil namreč največji vir emisij Pb v okolje prav promet. Z zmanjševanjem in odpravljanjem svinčevih dodatkov bencinu ter z drugimi ukrepi so se emisije tega elementa bistveno zmanjšale. Vendar je dandanes zrak vzdolž cest za-

radi emisij iz prometa še vedno onesnažen z različnimi plinastimi, anorganskimi in organskimi onesnažili, kot so dušikovi oksidi (NO_x), ogljikov monoksid (CO), lahko hlapni ogljikovodiki (VOC), prašni delci in težke kovine. Toksikološko izredno pomembna so tudi nekatera manj znana onesnažila, kot so policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH-i) in metil-terc-butil eter (MTBE); prvi nastajajo zaradi nepopolnega izgorevanja in so rakotvorni, slednji pa so nadomestek Pb v bencinskem gorivu in spadajo med potencialno nevarne rakotvorne snovi (Wilfling in sod., 2003; Augusto in sod., 2009; Munzi in sod., 2010).

Lišaji so odlični bioindikatorji onesnaženosti zraka. Uporaba lišajev kot bioindikatorjev se je razvila na podlagi raziskav odnosa med zračnim onesnaženjem

in pojavljanjem različnih vrst lišajev. Pestrost lišajevskih vrst v določenem območju je dober kazalnik onesnaženja s plinastimi onesnažili (Hawksworth in Rose, 1976; Batič, 1991; van Dobben in sod., 2001; Poličnik, 2008); hitro se namreč odzovejo na poslabšanje kakovosti zraka, ob izboljšanih rastnih razmerah pa rekolonizirajo urbana in industrijska območja že v nekaj letih. Lišaji so občutljivi tudi za pojav eutrofikacije (van Herk, 1999; van Dobben in sod., 2001). V povezavi s kislimi padavinami je bila opravljena študija vpliva onesnaženega zraka z dušikovimi spojinami na lišaje (van Herk in sod., 2003), kjer so ugotovili, da ima glavno vlogo pri pojavljanju različnih vrst lišajev NH_4^+ , pomemben je tudi dodaten vpliv NO_3^- . Pomemben vir dušikovih spojin v okolje je promet. Z analizami dušika v steljkah lišajev so ugotovili, da nekatere vrste lišajev vežejo več dušika (nitrofilne vrste), druge ga ne vežejo (acidofilne vrste), vsebnost pa je odvisna od oddaljenosti od vira onesnaževanja (Gombert in sod., 2003).

Na podlagi vrstne sestave lišajev (ali tudi posamezne rastne oblike) na nekem območju lahko sklepamo na vrsto/tip onesnaženja (onesnaženje s kislimi onesnažili, kot je npr. SO_2 , ali bazičnimi onesnažili, kot je npr. amonijak) in tudi na stopnjo onesnaženja (npr. van Herk in sod., 2003; Wilfling in sod., 2003; van Herk, 2004; Loppi in sod., 2004; Kapusta in sod., 2004; Motiejunaite, 2007; Jeran in sod., 2007; Poličnik, 2008). Tako kot za onesnaženje z SO_2 so tudi za onesnaženje z NH_3 opredelili skupine lišajev glede na onesnaženost (van Herk, 2004). Na območjih, kjer je prihajalo do povečanja emisij dušikovih spojin, so začele kisloljubne vrste epifitskih lišajev izginjati, prevladovati pa so začele nitrofilne vrste (Trinka, 2001; Wilfling in sod., 2003; Wolseley in sod., 2006a). Epifitski lišaji obcestnega drevja so dober kazalnik eutrofikacije, predvsem onesnaženja z dušikovimi spojinami, kar močno ogroža vegetacijo, tla in pitno vodo (van Herk, 1999, 2002).

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

Lokacija Location	Relacija Route	Oznaka odseka Road section	Kategorija ceste Road category	PLDP AADT
Črnova	Velenje – Črnova (Črnova)	4/1261	Glavna, II. red	17.396
Ljubija	Mozirje – Soteska (Ljubija)	225 1247	Regionalna, I. red	9.000
Prihova	Radmirje – Mozirje (Nizka)	225/1248	Regionalna, I. red	5.279
Struge	Radmirje – Luče (Ljubno)	428/1249	Regionalna, II. red	2.045

PLDP – povprečni letni dnevni promet
AADT – average annual daily traffic

V okviru raziskave smo poskusili določiti onesnaženost zraka v bližini različno obremenjenih prometnic. Za ugotavljanje vnosa onesnažil v okolje in njihovega vpliva na življenjsko združbo smo uporabili t. i. pasivno bioindikacijo, in sicer smo opravili popise pojavljajočih se vrst lišajev (odzivna bioindikacija).

2 MATERIAL IN METODE DELA

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Opis vzorčevalnih mest

2.1 Description of sampling plots

Raziskavo vpliva prometa na indeks zračne čistosti smo omejili na štiri izbrane odseke državnih cest. V začetni fazi uresničevanja raziskovalnega projekta smo na podlagi pridobljenih podatkov o gostoti prometa na različnih odsekih cest v Sloveniji izbrali za raziskavo primerne cestne odseke, in sicer tiste, ki so s prometom različno obremenjeni, kar omogoča iskanje soodvisnosti med obremenitvijo cest in rastjo epifitskih lišajev.

2.2 Popisi epifitskih lišajev

2.2 Epiphytic lichen mapping

Za namene odzivne bioindikacije smo na vseh štirih izbranih lokacijah spomladi 2012 naredili popise epifitskih lišajev po slovenski (SI) metodi (Batič, 1991; Batič in Kralj, 1995) in po nemški (VDI) metodi (VDI, 1995). Rezultat popisa epifitskih lišajev po obeh izbranih metodah odzivne bioindikacije je t. i. indeks zračne čistosti, na podlagi katerega smo lokacije oz. območja uvrstili v različne razrede zračne čistosti. Na podlagi popisov epifitskih lišajev smo torej odseke cest (območja), ki so s prometom različno obremenjeni, skušali uvrstiti v različne kakovostne razrede, ki upoštevajo dejansko stopnjo onesnaženosti zraka.

Za popise lišajev smo kot nosilno drevesno vrsto izbrali visokodebelno sadno drevje, praviloma jablano

Table 1: The list of selected locations for the epiphytic lichen mapping with the data about road marks and average daily traffic (source: <http://www.dc.gov.si/si/promet/>)

(*Malus domestica* Borkh.). Na vsaki izmed lokacij smo izbrali šest za popise primernih dreves, kar pomeni, da so bila drevesa dovolj stara (obseg drevesa vsaj 40 cm) in nepoškodovana ter da niso rasla v gozdni sestoji. Pazili smo tudi na to, da drevesa niso bila del sadovnjakov (tako smo se izognili vplivu škropljenja na vrstno sestavo lišajev; Vidergar-Gorjup, 2001). Na podlagi navedenih kriterijev smo izbrali posamezna drevesa, ki so rasla na pašnikih ali travnikih. Na nekaterih lokacijah smo na deblih dreves zasledili tudi ostanke gnojenja travnikov; takšna drevesa smo zaradi prekritosti lišajev z gnojevko izločili iz raziskave.

Popise lišajev smo opravili na vsaki izmed lokacij praviloma na 3 različnih oddaljenostih od ceste, in sicer je 1. pas obsegal drevesa neposredno ob cestišču (max. 5 m), 2. pas dreves je bil od cestnega roba oddaljen okoli 100 m in 3. pas več kot 150 m (izjema je bila lokacija Struge, kjer zaradi reliefa na večji oddaljenosti od ceste ni bilo več primernih dreves za popise lišajev, zato le-tega v 3. pasu nismo opravili). Na istih drevesih smo naredili popise po obeh uporabljenih metodah (VDI in SI).

Lišaje smo v večini primerov določili na terenu z uporabo lupe in namenskih določevalnih ključev (Kirschbaum in Wirth, 1997; Wirth in 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).

Metoda SI je bila razvita v Sloveniji predvsem za potrebe ocene kakovosti zraka v sklopu rednih popisov propadanja gozdov; zato je tudi temu primerno preprosta in od popisovalca ne zahteva obsežnega strokovnega znanja (Batič, 1991; Batič in Kralj, 1995). Na podlagi različne občutljivosti tipov lišajske steljke (skorjasti, listasti, grmičasti) za onesnažila v zraku smo določili indeks zračne čistosti (Index of Atmospheric Purity – IAP). Indeks smo izračunali iz številčnosti in pokrovnosti treh tipov steljk lišajev na treh nivojih drevesnega debla (dnišče, deblo in krošnja); lišaje smo popisali na najbolj obrasli strani drevesnega debla. Majhne vrednosti indeksov pomenijo revno lišajsko obrast in onesnažen zrak, velike vrednosti pa bujno lišajsko rast in čistejšo ozračje. IAP določene lokacije smo izračunali kot povprečje izračunanih IAP za drevesa. Vrednosti indeksov so razdeljene v 5 razredov zračne čistosti s širino razreda 13,5 (Batič, 1991; Batič in Kralj, 1995).

Metodo VDI so razvili nemški lihenologi (Verein Deutsche Ingenieur; VDI 3799, 1995). Temelji na kartiranju izbrane skupine epifitskih lišajskih vrst na najbolj z lišaji bogato poraslem delu drevesnega debla; na drevesno deblo smo pritrdili mrežico – dva stolpčica petih

kvadratov velikosti 10 x 10 cm. Popisali smo vse lišaje, ki smo jih našli znotraj vzorčevalne mrežice, in jim pripisali frekvence pojavljanja (1–10). Izračunali smo indekse zračne čistosti za posamezno raziskovalno enoto, širine posameznih razredov in te vrednosti razdelili v razrede zračne čistosti, ki ponazarjajo različne range kvalitete zraka. Natančen opis metode je podan v priročniku (VDI 3799, 1995). Metoda je primerna za popise na prostostoječem drevju, opravlja pa jo lahko le izkušen popisovalec, ki je strokovnjak za taksonomijo lišajske flore.

Z namenom, da bi na osnovi pojavljanja epifitskih lišajev določili vrednosti izbranih okoljskih dejavnikov, ki so odvisni od onesnaženja zraka na mestih kartiranja, smo iz literaturnih podatkov (Ellenberg in sod., 1992) izračunali za vsako lokacijo kartiranja povprečne indikacijske vrednosti za reakcijo drevesne skorje (indeks R: razpon od 1 (ekstremno kislo, pH pod 3,4) do 9 (bazično, pH nad 7)), toksitoleranco (indeks To: razpon od 1 (za toksične snovi v okolju zelo občutljive vrste) do 9 (zelo odporne vrste)) in vrednost hranil (indeks N: razpon od 1 (podlaga zelo bogata s hranili, značilna zelo velika odpornost proti evtrofikaciji z mineralnimi solmi) do 9 (zelo odporna proti gnojilom)). Pri izračunu povprečnih vrednosti indeksov pa frekvence pojavljanja niso bile upoštevane.

Za ugotavljanje razlik med različnimi popisnimi pasovi smo za podatke vsake lokacije uporabili Kruskal-Wallisovo ANOVA statistično metodo, razen za lokacijo Struge, kjer smo zaradi le dveh popisnih pasov uporabili Mann-Whitneyev U-test.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

Skupno smo na vseh lokacijah evidentirali 32 različnih vrst epifitskih lišajev (celoten seznam je podan v preglednici 2). Treba je poudariti, da ne gre za celoten seznam vseh vrst epifitskih lišajev v izbranih območjih raziskovanja, saj je bil popis zaradi ustaljene in standardizirane metodologije inventarizacije za namene bioindikacije omejen le na eno drevesno vrsto in na zgolj največ 18 dreves na posamezno lokacijo (po 6 dreves na vsaki od oddaljenosti od roba cestišča). Prav tako smo evidentiranje prisotnih vrst omejili na velikost popisne mrežice in tudi na prisotnost vrst iz obrazca za popisno metodo VDI. Za posamezno območje je torej pričakovano število prisotnih vrst epifitskih lišajev ob vključitvi vseh različnih vrst dreves, primer-nih za popise, in tudi vseh mikrohabitatnih posebnosti območja, bistveno večje. Vendar je zaradi standardizacije postopka ocene kakovosti zraka in možnosti primerjave dobljenih rezultatov z rezultati nekaterih

drugih raziskav, ki so potekale v Sloveniji in drugod po Evropi (predvsem izračuni indeksov zračne čistosti), zelo pomembno, da smo popise opravili skladno s predpisano metodologijo. Lokacije za popise so torej bile izbrane, a vključene v raziskavo le, če so bila obstoječa drevesa ustrezne vrste, da so bili popisi med seboj primerljivi in ni bilo manjše diverzitete lišajev zaradi ustreznih drevesnih podlag, kot npr. ugotavljata Coffey in Fahrig (2012).

Statistično značilnih soodvisnosti med številom evidentiranih vrst epifitskih lišajev in gostoto prometa (povprečnega letnega dnevnega prometa) nismo ugotovili, kar je posledica predvsem majhnega števila popisnih mest. Ob vključitvi podatkov o številu vrst na posamezni lokaciji tudi z osmih drugih lokacij po Sloveniji, kjer je v preteklosti popis epifitskih lišajev

ob državnih cestah že bil narejen (Poličnik in sod., 2009; Poličnik, 2011) (podatki o številu vrst so podani v Preglednici 3), pa ugotovimo visoko značilno soodvisnost števila evidentiranih vrst od gostote prometa (Spearmanov korelacijski koeficient rangov: $R = -0,78$; $p < 0,005$). Število evidentiranih vrst lišajev je večje na lokacijah z manjšo gostoto prometa; od drugih lokacij se po številu vrst razlikuje lokacija Struge, kjer je tudi gostota prometa izredno majhna.

Ugotovili smo, da na lokacijah, kjer med številom vrst ni statistično značilnih razlik (Črnova, Ljubija, Prihova), obstajajo značilne razlike v številu vrst med 1. in 2. popisnim pasom (za podrobnosti glej preglednico 4), ne pa tudi med 2. in 3. popisnim pasom. Zaradi tega predpostavljamo, da je na obravnavanih lokacijah največji vpliv prometa na število vrst epifitskih lišajev

Preglednica 2: Seznam evidentiranih vrst epifitskih lišajev (popisi po VDI-metodi) na posameznih lokacijah. Podani so tudi indeksi toksitolerance (To), reakcije skorje (R) in odpornosti proti hranilom (N) (indeksi N, R in To po Ellenberg in sod., 1992)

Table 2: List of epiphytic lichens (mapping according to the VDI method) at each location. Indexes of toxiterance (To), bark reaction (R) and eutrophication (N) are also given (indexes To, N, and R after Ellenberg et al., 1992)

Seznam vrst List of lichens	tip type	R	N	To	Črnova	Ljubija	Prihova	Struge
<i>Buellia punctata</i>	Skorjasti / Crustose	5	5	9		+	+	+
<i>Candelariella xanthostigma</i>		5	4	6	+	+	+	+
<i>Lecanora chlorotera</i>		6	4	6				+
<i>Lecanora conizaeoides</i>		2	x	9	+	+		
<i>Lecanora expallens</i>		4	4	9	+	+	+	+
<i>Lecanora pulicaris</i>		2	3	6	+			+
<i>Lepraria</i> sp.		3	3	9				+
<i>Ochrolechia</i> sp.		-	-	-			+	+
<i>Pertusaria amara</i>		3	2	5	+			+
<i>Candelaria concolor</i>		6	5	4	+	+	+	+
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	Listasti / Foliose	2	2	8			+	
<i>Hypogymnia physodes</i>		3	2	8		+		+
<i>Hypogymnia tubulosa</i>		3	3	6				+
<i>Parmelia caperata</i>		4	3	3				+
<i>Parmelia exasperatula</i>		5	4	6		+	+	+
<i>Parmelia glabratula</i>		3	3	6		+		
<i>Parmelia saxatilis</i>		3	2	7	+	+		
<i>Parmelia subargentifera</i>		7	6	3		+		+
<i>Parmelia subrudecta</i>		4	3	6				+
<i>Parmelia sulcata</i>		5	4	8		+	+	+
<i>Parmelia tiliacea</i>		5	4	5	+			+
<i>Parmeliopsis ambigua</i>		2	2	7				+
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>		7	7	7	+		+	+
<i>Physcia adscendens</i>		7	6	8	+	+	+	+
<i>Physcia aipolia</i>		7	5	4			+	+
<i>Xanthoria candelaria</i>		6	7	5		+	+	+
<i>Xanthoria parietina</i>		7	6	7		+	+	+
<i>Xanthoria polycarpa</i>		6	6	7	+	+		
<i>Evernia prunastri</i>	Grmičasti / Fruticose	3	3	6				+
<i>Pseudevernia furfuracea</i>		2	1	7				+
<i>Ramalina</i> sp.		-	-	-	+			
<i>Usnea</i> sp.		-	-	-				+
Indeks N					4,3	4,6	4,9	4,0
Indeks To					6,65	6,80	6,75	6,25
Št. vrst / No. of species	32				12	15	13	26

Preglednica 3: Število vrst lišajev na posamezni lokaciji in povprečne vrednosti indeksa odpornosti proti hranilom (N) in indeksa toksitolerantnosti (To) (indeksa N in To po Ellenberg in sod., 1992). Povzeto po Poličnik in sod., 2009

Lišaji/Lichens		Trzin	Starše	Medvode	Komenda	Frankolovo	Postojna	Mojstrana	Predjama
Indeks N		3,77	3,37	4,00	3,64	3,62	4,67	3,87	3,83
Indeks To		6,3	7,66	6,69	6,64	6,24	5,89	6,16	5,72
Št. Vrst/No. of species	46	11	10	13	12	26	19	27	25

manjši od ca. 100 m (2. popisni pas).

Število vrst epifitskih lišajev samo po sebi ni zadosti za ugotavljanje vpliva cest in prometa na kakovost zraka. Na lokaciji Struge, kjer je prometa bistveno manj kot na drugih lokacijah, smo ugotovili manjši indeks To, kar pomeni, da smo na tej lokaciji evidentirali več lišajev, ki so za onesnažen zrak bolj občutljivi. Prav tako smo ugotovili tudi manjši indeks N, kar kaže na to, da je na tej lokaciji tudi manj hranil, med njimi tudi dušika, ki izvira iz prometa. Nasprotno pa velja za preostale 3 lokacije (Črnovala, Ljubija in Prihova), kjer smo ugotovili večje indekse To, kar kaže, da na teh lokacijah uspevajo bolj toksitolerantne vrste. Prav tako so bili ugotovljeni tudi večji indeksi N, kar pomeni, da je na teh lokacijah tudi več vrst, ki so dušikoljubne in torej bolje uspevajo na območjih s povečanimi koncentracijami dušikovih spojin, torej tudi ob cestah, saj je promet eden glavnih virov dušikovih spojin v okolje (Gombert in sod., 2003).

Na obeh lokacijah z nekoliko večjo gostoto prometa (Črnovala in Ljubija) so bile evidentirane vrste epifitskih lišajev z večjimi indeksi toksitolerance (To); v primerih, ko je za vrsto značilen majhen indeks toksitolerance, pa je zanjo značilna večja odpornost oz. prilagodljivost na bazična onesnažila (večji indeks N), kot je to npr. *Candelaria concolor*.

S seznama evidentiranih vrst na posameznih lokacijah je razvidno, da so bile nekatere vrste lišajev evidentirane zgolj na lokaciji, ki je s prometom bistveno manj obremenjena od drugih lokacij (preglednica 2). Te vrste so: *Lecanora chlorotera*, *Lepraria* sp., *Hypogymnia tubulosa*, *Parmelia caperata*, *P. subrudecta*, *Parmeliopsis ambigua*, *Evernia prunastri*, *Pseudevernia*

Preglednica 4: Pregled značilnosti razlik v številu vrst med posameznimi popisnimi pasovi. Združeni so podatki za lokacije Črnovala, Ljubija in Prihova

Pas/ zone	LSD Test , vrednost p	
	2. pas / 2 nd zone	3. pas/ 3 rd zone
1. pas / 1 st zone	0,015997	0,029333
2. pas / 2 nd zone		0,652027

Table 3: Number of lichens species at each location and average indexes of eutrophication (N) and toxitolérance (To) (indexes after Ellenberg et al., 1992). Summarized after Poličnik et al., 2009

furfuracea in *Usnea* sp. Vse našete vrste lišajev (z izjemo *Parmelia caperata*) imajo relativno velik indeks toksitolerance, nekatere od njih pa imajo celo zelo velik indeks toksitolerance, zaradi česar bi jih lahko pričakovali tudi na bolj onesnaženih območjih (se pravi na preostalih treh lokacijah, tj. Črnovala, Ljubija, Prihova), vendar imajo zelo majhen indeks N, ki omejuje njihovo razširjenost na območjih povečanih vnosov dušika v okolje; takšni sta npr. *Pseudevernia furfuracea* (To: 7, N: 1) in *Parmeliopsis ambigua* (To: 7, N: 2). Obratno smo na vseh lokacijah (torej tudi tistih s povečano gostoto prometa) evidentirali za onesnažen zrak precej občutljivo vrsto *Candelaria concolor*, ki pa ima večjo toleranco na dušikova onesnažila (To: 4, N: 5).

3.1 Določevanje kakovosti zraka z uporabo SI-metode

3.1 Air quality assessment with the use of the SI method

V preglednici 5 podajamo rezultate izračunanih indeksov zračne čistosti na posameznih lokacijah in v posameznih popisnih pasovih. Iz rezultatov je razvidno, da je v 1. popisnem pasu drevje slabo obraslo z lišaji, lokacije uvrščamo v 4. oz. v enem primeru v 3. kakovostni razred, kar pomeni revno obrast z lišaji oz. zmerno obrast z lišaji in torej slabšo kakovost zraka. Na lokaciji Struge, kjer je gostota prometa zelo majhna (v povprečju le nekaj več kot 2.000 vozil dnevno), smo pričakovali večje število tako različnih vrst lišajev kot tudi večjo obrast debela. Razlog za manjše izračunane indekse zračne čistosti gre zagotovo iskati tudi v dejstvu, da so bila debela drevesa na pašnikih in jih je pašno govedo uporabljalo za drgnjenje, s čimer je bil

Table 4: Differences among number of species and mapping zone. Data for Črnovala, Ljubija and Prihova are joint

Preglednica 5: Indeksi zračne čistosti (IAP) in pripadajoči razredi zračne čistosti po posameznih lokacijah ob državnih cestah, in sicer ločeno za posamezen popisni pas in skupaj za vse tri popisne pasove

	IAP				Razred / Class			
	1. pas 1 st zone	2. pas 2 nd zone	3. pas 3 rd zone	skupaj together	1. pas 1 st zone	2. pas 2 nd zone	3. pas 3 rd zone	skupaj together
Črnova	5,83	14,7	19,0	13,8	4	3	3	3
Ljubija	1,67	21,7	23,3	15,5	4	3	3	3
Prihova	13,0	22,4	25,0	20,1	4	3	3	3
Struge	18,2*	25,0*	/	21,6	3	3	/	3

Opomba: *Na lokaciji Struge je bila v osrednjem delu debla obrast z lišaji močno zmanjšanja zaradi vpliva drgnjenja krav ob deblo in posledično sprotnega odstranjevanja vseh lišajev.

Note: *At locations Struge epiphytic lichen vegetation was reduced owing to cows' rubbing against tree trunks.

odstranjen večji del lišajske vegetacije. Sklepamo, da bi bil indeks zračne čistosti večji, če na tej lokaciji ne bi bilo pašne živine. Prav tako je bila lokacija bolj senčna, saj na tem območju dolina že prehaja v ožji del (bolj sotesko), zaradi česar so tudi ekološke razmere za rast lišajev slabše. Na preostalih treh lokacijah (Črnova, Ljubija, Prihova) z večjo gostoto prometa smo sicer ugotovili razlike v izračunanih indeksih zračne čistosti, še posebej v 1. in 2. popisnem pasu, vendar so lokacije kljub temu uvrščene v iste kakovostne razrede; 1. pas uvrščamo v 4. kakovostni razred (revna obrast z lišaji in slaba kakovost zraka), medtem ko 2. in 3. popisni pas uvrščamo v 3. kakovostni razred (zmerna obrast z lišaji oz. zmerna onesnaženost zraka). Neodvisno od popisnega pasu pa vse 4 obravnavane lokacije uvrščamo v 3. kakovostni razred (zmerna obrast z lišaji). Z uporabo SI-metode torej zelo slabo ločimo med sabo vse 4 izmed obravnavanih lokacij, kar kaže na izjemno slabo občutljivost te metode.

Kljub navidezni odvisnosti indeksa IAP posamezne lokacije (za vse tri popisne pasove skupaj) od gostote prometa, le-te z uporabo statističnih metod nismo mogli dokazati, kar je najverjetneje posledica majhnega števila vzorčnih mest; ob upoštevanju podatkov o indeksih IAP tudi z drugih lokacij (Poličnik in sod., 2009)

Preglednica 6: Značilnost razlik med izračunanimi indeksi IAP na različnih lokacijah glede na oddaljenost od roba cestišča (Kruskal-Wallisov ANOVA oziroma Mann-Whitneyev U-test*)

Lokacija / Location	Kruskal-Wallis $H_{(2,18)}$	p
Črnova	12,89	0,0016
Ljubija	12,11	0,0023
Prihova	9,24	0,0098
Struge*	/	0,05

Table 5: Indexes of air purity (IAP) and classes of air quality at different locations along state roads, separated for each mapping zone and for all three zones together

ob cestah pa nam je to soodvisnost uspelo dokazati ($R = -0,53$, $p = 0,002$).

Na vsaki izmed izbranih lokacij smo naredili popise na 3 različnih oddaljenostih od roba cestišča – 3 različni popisni pasovi (izjema lokacija Struge). Rezultati statističnih analiz so podani v Preglednici 6.

Ugotovljamo, da na lokacijah Črnova, Ljubija in Prihova prihaja do značilnih razlik med posameznimi popisnimi pasovi; izračunani indeksi zračne čistosti so večji na od ceste bolj oddaljenih popisnih pasovih, torej 2. in 3. popisnem pasu. Na teh lokacijah nastajajo značilne razlike med 1. in 2. popisnim pasom, medtem ko razlik v vrednostih IAP- indeksov ni med 2. in 3. popisnim pasom. To pomeni, da je na teh lokacijah vpliv prometa sicer moč določiti, vendar zaradi zmerne gostote prometa (< 20.000 vozil dnevno) le-ta sega manj kot 100 m od roba cestišča. Na območjih z bistveno večjo gostoto prometa sega vpliv prometa na epifitsko lišajsko vegetacijo v bistveno širšem pasu (Poličnik in sod., 2009; Poličnik, 2011).

Na lokaciji Struge, kjer je gostota prometa zelo majhna, je bil že v 1. popisnem pasu izračunani indeks IAP zelo velik. Izračunani indeks je sicer v 2. popisnem pasu nekoliko večji kot v 1., vendar med njima ni statistično značilnih razlik oz. so le-te na meji statistične

Table 6: Significance of differences among IAP indexes at different locations considering distance from the roadside (Kruskal-Wallis ANOVA or Mann-Whitney U-test*)

Preglednica 7: Širine posameznih razredov za umestitev lokacij v razrede zračne čistosti na podlagi izračunanih LGW (Luft Gute Werke) vrednosti po VDI-metodi (VDI 3799, 1995)

Referenčni opis reference description	Razred Class	LGW	Opis Description of the class	Razred Class	LGW
zelo veliko onesnaženje very high exposure	1	0 – 12,5	zelo veliko onesnaženje very high exposure	1	0,00 – 7,85
veliko onesnaženje high exposure	2	12,6 – 25,0	zelo veliko do veliko onesnaženje very high to high exposure	2	7,86 – 15,70
zmerno onesnaženje moderate exposure	3	25,1 – 37,5	veliko do zmerno onesnaženje high to moderate exposure	3	15,71 – 23,55
majhno onesnaženje low exposure	4	37,6 – 50,0	zmerno onesnaženje moderate exposure	4	23,56 – 31,40
zelo majhno onesnaženje very low exposure	5	50,1 – 75	zmerno do majhno onesnaženje moderate to low exposure	5	31,41 – 39,25

značilnosti. To pomeni, da je na območjih z zelo majhnimi gostotami prometa vpliv le-tega na epifitsko lišajsko vegetacijo zanemarljivo majhen.

3.2 Ocena onesnaženosti zraka s popisi lišajev po VDI-metodi

3.2 Estimation of air quality based on the mapping of lichens according to the VDI method

Po VDI-metodi smo za posamezne lokacije izračunali indekse zračne čistosti in jih nato razvrstili v različne razrede zračne čistosti, in sicer smo lahko lokacije razvrstili v štiri različne razrede, od zelo velikega onesnaženja (razred 1) do srednjega onesnaženja (razred 4). Širino razreda (razpon LGW – Luftgütwerte (vrednost zračne čistosti) vrednosti za posamezen razred) smo skladno z VDI-metodologijo izračunali na podlagi podatkov, pridobljenih v raziskavi in je v našem primeru znašala 7,85, medtem ko je referenčna širina 12,5; razponi posameznega razreda so podani v preglednici 7.

Za posamezne lokacije popisov smo izračunali indekse zračne čistosti, ki se gibljejo med 0 in 34,67 (preglednica 8). Pri tej metodi (VDI) v nasprotju s prejšnjo (SI) nižji razred pomeni slabšo kakovost zraka. Ugotovi-

Table 7: Range of air quality classes for the placement of locations into air quality class according to the calculated LGW values after the VDI method (VDI 3799, 1995)

vili smo, da so indeksi praviloma manjši na lokacijah z večjo gostoto prometa; obstaja statistično značilna negativna korelacija med tema parametroma (Spearmanov korelacijski koeficient rangov: $R = -0,31$, $p < 0,05$).

Iz rezultatov vrednosti LGW in pripadajočih razredov zračne čistosti je razvidno, da lahko posamezne popisne pasove znotraj iste lokacije uvrščamo v različne razrede, kar kaže na to, da je kakovost zraka na različnih oddaljenostih od roba cestišča različna. Na vseh treh lokacijah z nekoliko večjo gostoto prometa (Črno-va, Ljubija in Prihova) ugotavljamo najnižje razrede v 1. popisnem pasu, na lokacijah Črno-va in Ljubija celo razred 1, ki pomeni zelo veliko onesnaženje. Stanje na teh lokacijah in tudi na lokaciji Prihova se bistveno izboljša v 2. popisnem pasu (ca. 100 m od roba cestišča), v 3. popisnem pasu pa se ne spreminja več. To pomeni, da je močan vpliv prometa (pri gostoti < 20.000 vozil na dan) omejen na zelo ozek pas ob robu cestišča in na oddaljenosti 100 m od ceste ni več zaznati bistvenega negativnega vpliva gostote prometa na epifitsko lišajsko vegetacijo in torej tudi na kakovost zraka.

Prav tako kot z uporabo SI-metode smo tudi z uporabo VDI-metode ugotovili, da na lokaciji Struge promet nima pomembnega vpliva na lišajsko vegetacijo in

Preglednica 8: Vrednosti zračne čistosti (LGW) in pripadajoči razredi zračne čistosti (LGK) po nemški VDI- metodi po posameznih lokacijah, in sicer ločeno za posamezen popisni pas

	LGW			Razred / Class (LGK)		
	1. pas 1 st zone	2. pas 2 nd zone	3. pas 3 rd zone	1. pas 1 st zone	2. pas 2 nd zone	3. pas 3 rd zone
Črno-va	1,33	18,17	21,50	1	3	3
Ljubija	0	34,67	29,67	1	5	4
Prihova	13,83	26,40	29,80	2	4	4
Struge	24,67	24,60	/	4	4	/

Table 8: Air Quality Values (Luftgütwerte – LGW) and Air Quality Classes (Luftgüteklassen – LGK) after German VDI method at each location in different mapping zones

Preglednica 9: Parametri značilnosti razlik med izračunanimi indeksi zračne čistosti (LGW-vrednosti) na različnih lokacijah glede na oddaljenost od roba cestišča (Kruskal-Wallis ANOVA oziroma Mann-Whitneyev U-test*)

Lokacija	Kruskal-Wallis $H_{(2,18)}$	p
Črnova	12,27	0,0022
Ljubija	13,04	0,0015
Prihova	5,71	0,0575
Struge*	/	0,85

na kakovost zraka, lokacijo lahko uvrščamo v visok kakovostni razred, ki se z oddaljenostjo od roba cestišča ne spreminja več. Izmed vseh štirih obravnavanih lokacij z uporabo VDI-metode zaključujemo, da je najslabša kakovost zraka na lokaciji Črnova; tam je bilo najmanj različnih vrst lišajev, izračunani so bili najmanjši indeksi zračne čistosti in tudi gostota prometa je bila največja (prek 17.000 vozil).

Ugotavljali smo tudi občutljivost nemške VDI-metode za razlike med različnimi popisnimi pasovi na posameznih lokacijah. Rezultati statističnih analiz so podani v preglednici 9. Na lokacijah Črnova in Ljubija (gostoti prometa 17.396 oz. 9.000) je viden hiter porast v indeksih zračne čistosti že v 2. popisnem razredu, ugotovljene so bile tudi statistično značilne razlike. Med 2. in 3. popisnim pasom teh značilnih razlik ni. Na lokaciji Prihova, kjer je prometa že bistveno manj (v povprečju 5.279 vozil dnevno) so razlike med popisnimi pasovi na meji statistične značilnosti, statistično značilne so le med 1. in 3. popisnim pasom (ne pa tudi med 1. in 2. oz. 2. in 3. popisnim pasom). Na tej lokaciji z uporabo VDI-metode ugotavljamo manjši vpliv na kakovost zraka neposredno ob robu cestišča kot na prejšnjih dveh lokacijah (Črnova in Ljubija), indeksi zračne čistosti na 2. in 3. popisnem pasu pa so na teh treh lokacijah primerljivi. Še manjši pa je vpliv prometa na kakovost zraka na lokaciji Struge, kjer niti v 1. popisnem pasu nismo ugotovili negativnega vpliva prometa.

4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSIONS

(1) Iz dobljenih rezultatov popisov lišajev je razvidno, da je za večino iz prometa izhajajočih onesnažil značilen hiter used oziroma prenos na zelo kratke razdalje. Vpliv na epifitsko lišajsko vegetacijo je bil opazen le v ozkem pasu ob prometnicah, kjer je bil povprečni dnevni promet < 20.000 vozil; na območjih, kjer je bil promet zelo redek (lokacija Struge v Zgornji Savinjski dolini), negativnega vpliva nismo ugotovili niti v neposredni bližini cest.

(2) Z uporabo nemške (VDI) metode, ki temelji

Table 9: Significant differences among air quality values (LGW) at each location according to distance from the roadside (Kruskal-Wallis ANOVA or Mann-Whitney U-test*)

na popisu oz. evidentiranju vrst epifitskih lišajev, smo ugotovili, da promet oziroma onesnaževanje zaradi tega vpliva na vrstno sestavo epifitskih lišajev v bližini cest. Soodvisnosti med gostoto prometa in številom evidentiranih vrst sicer nismo ugotovili, kar je nedvomno predvsem posledica majhnega števila popisnih lokacij, smo pa ugotovili značilne razlike med posameznimi lokacijami, med katerimi zbuja pozornost predvsem lokacija Struge z zelo majhno gostoto prometa.

(3) Med različnimi popisnimi pasovi obstajajo razlike; z oddaljenostjo od roba cestišča se spreminja vrstna sestava epifitskih lišajev, in sicer je na večjih oddaljenostih od cest vedno več različnih vrst lišajev, pojavljati se začne tudi bolj občutljive in manj nitrofilne vrste. Bližje robu cestišča se pojavljajo za onesnažen zrak bolj odporne vrste epifitskih lišajev; prevladujejo nitrofilne vrste, saj je zaradi prometa povečana količina dušikovih spojin v zraku.

(4) Z uporabo slovenske (SI) metode smo tri lokacije v 1. pasu uvrstili v 4. kakovostni razred (revna obrast z lišaji), vsi drugi popisni pasovi na vseh lokacijah pa so bili uvrščeni v 3. kakovostni razred (zmerna obrast z lišaji), kar kaže na zelo slabo občutljivost te metode. Kljub tej majhni občutljivosti pa smo ugotovili razlike med posameznimi popisnimi pasovi in lahko ocenili, da vpliv prometa na cestah, kjer je gostota < 20.000 vozil dnevno, ne seže do 2. popisnega pasu (ca. 80 m od roba cestišča). SI-metoda je kljub preprostosti (temelji zgolj na oceni posameznih rastnih oblik epifitskih lišajev) dober kazalec onesnaženosti zraka ob cestah in jo je smiselno v tovrstne namene vsaj kot dopolnilno metodo uporabljati tudi v prihodnje.

(5) Po nemški (VDI) metodi smo kakovost zraka ocenjevali na podlagi popisov posameznih vrst epifitskih lišajev na deblu dreves. Ugotovili smo značilno negativno soodvisnost med gostoto prometa in izračunanimi vrednostmi zračne čistosti (LGW vrednosti). Na lokacijah Črnova, Ljubija in Prihova je opazen trend večanja LGW vrednosti z oddaljenostjo od roba cestišča, kar kaže, da z uporabo VDI-metode lahko ugotavljamo vpliv prometa na kakovost zraka ob cestah.

(6) Z obema uporabljenima metodama smo ugotovili, da na lokaciji Struge, kjer je gostota prometa izredno majhna, le-ta nima pomembnejšega vpliva na epifitsko lišajsko vegetacijo in torej tudi ne na kakovost zraka ob cesti.

(7) Ne glede na manjše razlike med metodama SI in VDI se je inventarizacija lišajev ob cestah pokazala kot primeren bioindikatorski pripomoček za ugotavljanje vpliva prometa na kakovost zraka tudi v manjšem prostorskem merilu (na mikrolokacijah). Vsi rezultati (število najdenih vrst, pojavljanje toksitolerantnih/občutljivih vrst, izračunani indeksi zračne čistosti po metodah SI in/ali VDI) namreč v splošnem kažejo na izrazite razlike v pestrosti lišajske flore v različnih gradientih onesnaženosti, in sicer: (i) med različno obremenjenimi odseki cest (večja pestrost v okolici manj obremenjenih odsekov); (ii) znotraj posameznih popisnih lokacij (naraščanje pestrosti lišajske vegetacije z oddaljenostjo od cestišča).

5 POVZETEK

5 SUMMARY

Epiphytic lichens as good passive reactive bioindicators were used for the assessment of air quality at locations along selected road sections. The latter have different traffic density. With the mapping at different distances from the roadside at each location, the traffic-related pollution impact area was assessed. Two different mapping methods were used, specifically the simple assessment of air quality, based on the assessment of frequency and coverage of different lichen growth forms (the SI method), and more demanding one, based on mapping of set of chosen lichen species (the VDI method). The indexes of air quality for each location and distance from the roadside as well as the classes of air quality were calculated.

The obtained data showed that traffic related pollutants have a specific transport and quick deposition to the near surroundings of the road area. The impact on the epiphytic lichen vegetation is visible only at a narrow line along the roads where the average daily traffic density was below 20,000 vehicles; at locations with very low traffic density (location Struge in the Upper Savinja Valley), the negative impact of traffic related pollutants was not observed even in the direct vicinity of the road. The epiphytic lichen species composition is dependent on traffic density; the significant differences were observed among locations of interest, where the location Struge (with very low traffic density) differs from other locations. The differences among various distances from the roadside are evident; the epiphytic lichen species composition is changing, high-

er number of different lichen species is present at a greater distance from the roadside, and there are more sensitive species and less nitrophilic species present. Species more resistant to the air pollution are present closer to the road, and due to traffic related nitrogen pollution, more nitrophilous species prevail. The results showed that the determination of air quality classes according to the Slovene method is not very sensitive; only 3 locations (counting micro locations, e.g. different distances from the roadside at each location) were placed in the 4th quality class, while all other locations were placed in the 3rd quality class. Although there were small differences among locations, the differences among different distances from the roadside could be determined; where the average daily traffic does not exceed 20,000 vehicles, the impact of traffic related pollution is within 100 m from the road. The second method used was the German VDI. The negative correlation between traffic density and calculated values of air purity (LGW – Luftgütewerte) was determined. At locations Črnova, Ljubija and Prihova, the trend of increasing LGW values was observed depending on distance from the roads.

Very sensitive species (e.g. genus *Lobaria*, *Anaptychia*, *Ramalina*) are no longer present along most roads; the majority of traffic impact on air quality is visible near roads, but the impact is to minor extent visible also further away from roads, but the impact from other pollution sources is greater and not so easily identified. We conclude that at locations with moderate traffic density (average daily traffic < 20,000) traffic-related emissions exert influence on air quality, but the impact is limited to a narrow zone along the roads (< 100 m). The epiphytic lichen species composition, the number of different lichen species, as well as calculated indexes of air purity according to two different methods indicate influence of traffic-pollution in the first mapping zone (adjacently to roads), with the impact level decreasing with the distance from the roads.

6 VIRI

6 REFERENCES

- Augusto S., Maguas C., Matos J., Pereira M. J., Soares A., Branquinho C. 2009. Spatial modeling of PAHs in lichens for fingerprinting of multisource atmospheric pollution. *Environmental Science & Technology* 43, 20: 7762–7769.
- Batič F. 1991. Bioindikacija onesnaženosti zraka z epifitskimi lišaji. *Gozdarski vestnik* 49: 248-254
- Batič F., Kralj T. 1995. Bioindikacija onesnaženosti ozračja v gozdovih z epifitskimi lišaji. *Zborn. gozdarstva in lesarstva* 47: 45–56.
- Coffey H. M. P., Fahrig L. 2012. Relative effects of vehicle pollution, moisture and colonization sources on urban lichens. *Journal of Applied Ecology* 49, 6: 1467–1474.

- Ellenberg H., Weber H. E., Düll R., Wirth W., Werner W., Paulišen D. 1992. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica, Vol. 18.
- 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. *Environmental Pollution* 123: 281–290.
- Hawksworth D.L., Rose F. 1976. Lichens as pollution monitors. London, Edward Arnold.
- Jeran Z., Mrak T., Jačimović R., Batič F., Kastelec D., Mavsar R., Simončič P. 2007. Epiphytic lichens as biomonitors of atmospheric pollution in Slovenian forests. *Environmental Pollution* 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.
- 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). *Science of the Total Environment* 326: 113–122.
- Motiejunaite J. 2007. Epiphytic lichen community dynamics in deciduous forests around a phosphorus fertilizer factory in Central Lithuania. *Environmental Pollution* 146: 341–349.
- Munzi S., Pisani T., Paoli L., Loppi S. 2010. Time- and dose-dependency of the effects of nitrogen pollution on lichens. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, doi:10.1016/j.ecoenv.2010.07.042.
- 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 str.
- Poličnik H., Kopušar N., Savinek K., Pokorny B. 2009. Vpliv prometa na okolje v bližini večjih prometnic na podlagi analize onesnaženosti tal in bioindikatorjev. Končno poročilo. ERICO Velenje, 78 str.
- Trinkaus P. 2001. Wiederbesiedlung weiter Bereiche des Grazer Stadtgebietes durch *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. *Joannea Bot.* 2: 5–11.
- van Dobben H.F., Wolterbeek H.Th., Wamelink G.W.W., Ter Brak C.J.F. 2001. Relationship between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollutants. *Environmental Pollution* 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. 2002. Epiphyte on wayside trees as an indicator of eutrophication in the Netherlands. V: *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*. Nimis P.L., Scheidegger C., Wolseley P.A. (ur.). Kluwer Academic Publishers, str. 285–289.
- 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*. str. 13–20.
- van Herk C.M., Mathijssen-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.
- Vidregar Gorjup N. 1998. Bioindikacija onesnaženosti zraka v Zasavju. Magistrsko delo. 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 str.
- 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.
- Wolseley P., James P.W., Theobald M.R., Sutton M.A. 2006a. Detecting changes in epiphytic lichen communities at sites affected by atmospheric ammonia from agricultural sources. *Lichenologist* 38: 161–176.