

OCENJEVANJE KAKOVOSTI ZRAKA NA IZBRANIH LOKACIJAH V MEŽIŠKI DOLINI Z UPORABO EPIFITSKIH LIŠAJEV

ASSESSMENT OF AIR QUALITY AT SELECTED LOCATIONS IN THE MEŽA VALLEY USING EPIPHYTIC LICHENS

Samar AL SAYEGH PETKOVŠEK¹, Teja STERŽE², Helena POLIČNIK³

(1) Fakulteta za varstvo okolja, samar.petkovsek@fvo.si

(2) Fakulteta za varstvo okolja, teja.sterze6@gmail.com

(3) Fakulteta za varstvo okolja, helena.policnik@gmail.com

IZVLEČEK

Na 12 izbranih lokacijah v Mežiški dolini smo spomladi leta 2022 opravili popis epifitskih lišajev z uporabo slovenske metode SI in nemške metode VDI. Z obema metodama se ocenjuje kakovost zraka na podlagi obstoječih rastnih tipov steljk in vrst epifitskih lišajev, na katere vplivajo predvsem plinasta onesnažila v zraku. Dodatno smo določali tudi indekse toksitolerance. Skupaj smo na prostostoječem drevju evidentirali 34 vrst epifitskih lišajev; 25 v Zgornji Mežiški dolini in 27 vrst epifitskih lišajev v Spodnji Mežiški dolini. Na podlagi izračuna povprečnega indeksa toksitolerance za posamezno lokacijo smo ugotovili, da na vseh lokacijah prevladujejo vrste, ki so manj občutljive za onesnaževanje. Največji indeks zračne čistosti, določen po metodi VDI, je bil izračunan za lokacijo Lom, sledita lokaciji Žerjav in Tolsti Vrh, kjer smo evidentirali tudi največje število vrst lišajev. Stanje lišajevske vegetacije na vseh obravnavanih lokacijah je primerljivo in kaže, da so lokacije srednje obremenjene s plinastimi onesnažili. V ospredje lahko postavimo lokaciji Dolgo Brdo in Preški Vrh, kjer je izpostavljenost plinastim onesnažilom velika do zmerna; na lokaciji Dolgo Brdo pa je bila tudi obrast lišajev revna. Izračunani indeksi zračne čistosti so sicer pokazali, da je kakovost zraka v Zgornji Mežiški dolini nekoliko boljša kot v Spodnji Mežiški dolini, vendar razlike niso statistično značilne.

Ključne besede: epifitski lišaji, kartiranje, bioindikatorji, onesnažen zrak, Mežiška dolina

ABSTRACT

In the spring of 2022, we conducted an inventory of epiphytic lichens at 12 selected locations in the Meža Valley using both the Slovenian SI and German VDI methods for assessing air quality. The appearance of epiphytic lichens is primarily influenced by gaseous air pollutants. Additionally, we determined toxicity tolerance indices. We recorded a total of 34 species of epiphytic lichens on free-standing trees, with 25 species in the Upper Meža Valley and 27 species in the Lower Meža Valley. Based on the calculation of the average toxicity tolerance index for each location, we found that all locations are dominated by species that are less sensitive to air pollution. The highest air purity index, determined by the VDI method, was calculated for Lom, followed by Žerjav and Tolsti Vrh, where we also recorded the largest number of lichen species. The condition of lichen vegetation at all examined locations is comparable, indicating moderate air pollution levels. Locations of particular concern include Dolgo Brdo and Preški Vrh, where exposure to gaseous pollutants is high to moderate. Dolgo Brdo also exhibited poor lichen coverage. The calculated indices of air purity showed that the air quality in the Upper Meža Valley is slightly better than that in the Lower Meža Valley, but the differences are not statistically significant.

Keywords: epiphytic lichens, mapping, bioindicators, polluted air, Meža Valley

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

DOI 10.20315/ASetL.132.2

Prispelo / Received: 02. 10. 2023

Sprejeto / Accepted: 05. 12. 2023



1 UVOD

1 INTRODUCTION

Onesnažen zrak, ki je med največjimi okoljskimi problemi, negativno vpliva na številne organizme, vključno s človekom (Al Sayegh Petkovšek in sod., 2014; Oliveira in sod., 2019; Osborne in sod., 2021; Boonpeng in sod., 2023). Eden izmed uveljavljenih načinov spremljanja kakovosti zraka je uporaba epifitskih lišajev, ki so med najbolj raziskanimi in uporabljenimi indikatorskimi organizmi (Nimis in sod., 2002; Boonpeng in sod., 2018; Abas, 2021). Biomonitoring z epi-

fitskimi lišaji je stroškovno ugodna metoda, ki jo lahko uporabljamo kot dopolnitev za ocenjevanje kakovosti zraka še zlasti tam, kjer je meritve težko opraviti oziroma je stroškovno zahtevna (Batič, 1991; Batič in Kralj, 1995; Jeran in sod., 2002, 2007; Poličnik in sod., 2004, 2008; Poličnik in Batič, 2007; Batič in sod., 2011; Protano in sod., 2017; Paoli in sod., 2019a, b; Boonpeng in sod., 2023; Cernat Popa in Rusanescu, 2023). Lišaji so dolgoživi organizmi, ki rastejo počasi in se pojavljajo posod po svetu. Nimajo korenin, a ker nimajo kutikule in listnih rež, hitro in enostavno sprejemajo vodo, hra-

nila in pline iz okoliškega zraka. Posledično so občutljivi za številne antropogene pritiske, kot so izpusti snovi (npr. žveplov dioksid, dušikovi oksidi, amonijev ion, kovine) v zrak, podnebne spremembe in spremembe v načinu gospodarjenja z gozdovi (Arndt in sod., 1987; Giordani, 2019; Boonpeng in sod., 2023). Pri tem so lahko lišaji odzivni in akumulacijski bioindikatorji.

Lišaji se izredno hitro odzovejo na poslabšanje kakovosti zraka (Riddell in sod., 2011; Paolli in sod., 2015; Carrilo in sod., 2022). Ob zelo onesnaženem zraku večina lišajev propade, ob manjši izpostavljenosti plinastim onesnažilom pa se spremenita številčnost lišajskih vrst in vrstna sestava, na podlagi slednjega lahko sklepamo na vrsto oziroma tip ter stopnjo onesnaženja (Loppi in sod., 2004; Jeran in sod., 2007; Poličnik in sod., 2008; Munzi in sod., 2010; Poličnik, 2011; Sampe in sod., 2020). Nekatere vrste lišajev prenesejo več dušikov spojin (nitrofilne vrste), druge pa ne (acidofilne vrste). Opaženo je bilo, da so na območjih, kjer so bile emisije dušikovih spojin večje, acidofilne vrste začele izginjati (Trinkaus, 2001; Wilfling in sod., 2003; Wolseley in sod., 2006; Poličnik, 2013).

Občutljivost lišajev za plinasta onesnažila, še posebej za žveplov dioksid, so zlasti v sedemdesetih in osemdesetih letih prejšnjega stoletja izkoristili med mnogimi biomonitoringi (Batič, 1991; van Dobben in sod., 2001; Poličnik, 2008). V zadnji desetletjih so se izpusti klasičnih onesnažil (npr. SO_2 , NO_x) v Evropi bistveno zmanjšali zaradi uspešnega nadzora nad emisijami iz industrijskih objektov (Gilbert, 1986; Richardson, 1988; Weldon in Grandin, 2021) in zaradi propada umazanih industrij oziroma njihovih selitev v nerazvite države. Slednje se kaže v izboljšanjem stanju lišajskih združb, vendar je lahko ponovna vzpostavitev bogate lišajske združbe upočasnjena. Na Švedskem so analizirali združbo epifitskih lišajev na stalnih mestih monitoringa v obdobju dvajsetih let in ugotovili, da se lišajska obrast počasi obnavlja kljub zelo velikemu upadu izpustov žveplovega dioksida (SO_x , SO_2) v obravnavanem obdobju (Weldon in Grandin, 2021). Weldon in Grandin (2021) sta poudarila, da popolno okrevanje lišajske obrasti zahteva več desetletij in da so lišaji dobri kazalci obnovitve lišajskih združb (vzpostavitev enake biotske pestrosti kot pred onesnaženjem) v okolici točkovnih virov in ne nujno v primerih obsežnega čezmejnega onesnaženja, kjer je treba upoštevati tudi lokalne vire. Enako so ugotovili za vplivno območje največjega termoelektrskega objekta v Sloveniji (Termoelektrarna Šoštanj), kjer se lišajska vegetacija še nekaj let po zmanjšanju emisij ni obnovila v celoti; občutljivejše vrste lišajev pa so se pojavljale le na lokacijah, ki so bile od termoelektrarne bolj oddaljene (Poličnik

in Batič, 2007; Poličnik, 2008; Poličnik in sod., 2008).

Za potrebe kvantifikacije okoljskih razmer z uporabo lišajev kot bioindikatorjev so v zgodovini razvili več metod. S kvantitativnim pristopom so določili indekse atmosferske čistosti (IAP– Index of Atmospheric Purity), ki združujejo podatke o številčnosti vrst z njihovo občutljivostjo in o okoljskih stresorjih (De Sloover in Le Blanc, 1968; Das in sod., 2013; Abas in sod., 2022; Rosli in Zulkifly, 2022). Celotno sestavo lišajske obrasti na lokaciji se prek formule preračuna na eno samo vrednost, ki izraža stanje.

Med zračnimi onesnažili, ki jih kopičijo lišaji v stelah, so tudi onesnažila v sledovih (npr. težke kovine, policiklični aromatski ogljikovodiki), ki jih praviloma na klasičnih merilnih postajah ne merijo. V tem primeru uporabljamo lišaje kot akumulacijske bioindikatorje za sledenje vnosa onesnažil v okolje z metodami aktivnega (presaditev epifitskega lišaja) ali pasivnega monitoringa (Pavšič Mikuž, 2005; Poličnik in Batič, 2007; Poličnik, 2008; Brunialti in Frati, 2014; Boonpeng in sod., 2023). V zadnjem desetletju (2011–2020) so raziskave/biomonitoringi z lišaji večinoma usmerjeni k spremljanju akumulacije onesnažil v lišajih. Skoraj 60 % vseh znanstvenih objav je bilo povezanih s tovrstnimi raziskavami, medtem ko se je z vplivom na raznovrstnost lišajev ukvarjalo 18 % analiziranih objav v relevantnih publikacijah (Abas, 2021).

Za (bio)indikacijo onesnaženosti zraka se lišaji v svetu uporabljajo od leta 1866 (Nylander, 1866), v Sloveniji pa od srede osemdesetih let prejšnjega stoletja (Batič in Kralj, 1989), ko so jih prvič uporabili pri popisu propadanja gozdov. V letih 1987, 1991, 1995 in 2000 je bila uporabljena najpreprostejša metoda popisa epifitskih lišajev, to je popis številčnosti in pokrovnosti rastnih tipov steljke lišajev (Batič in Kralj, 1989, 1995; Batič, 1991). Pozneje je bil popis v izbranih gozdnih ekosistemih dopolnjen s kartiranjem lišajskih vrst (Pohorje, Julijske Alpe, Snežnik, Zasavje) (Grube in sod., 1995, 1998; Prügger in sod., 2000; Vidergar-Gorjup in sod., 2002; Batič in sod., 2003; Mrak in sod., 2004; Prügger, 2005). Za popis stanja gozdov v letu 2007 so metodo modificirali tako, da so uporabili velikost popisne mreže in njeno namestitev po metodi VDI (Verein Deutsche Ingenieur); v tem primeru govorimo o t. i. ICP Forest metodi popisov lišajev (Jeran in sod., 2007; Batič in sod., 2011). Lišaji so bili uporabljeni tudi kot akumulacijski in odzivni bioindikatorji v okolici točkovnih virov (Poličnik in Batič, 2007; Poličnik, 2008; Ljubič Mlakar in sod., 2011) in prometnic (Poličnik, 2011, 2013).

Namen in cilji raziskave so na podlagi popisa lišajev na izbranih lokacijah v Spodnji in Zgornji Mežiški

dolini in z izračunom indeksov zračne čistosti (IAP) za posamezne lokacije oceniti kakovost zraka; opraviti primerjavo med izbranimi lokacijami ter uporabljenimi metodami (slovenska metoda SI in nemška metoda VDI). Osnovna hipoteza je bila, da je stanje lišajske vegetacije slabše na izbranih lokacijah v Zgornji Mežiški dolini v primerjavi z lokacijami v Spodnji Mežiški dolini zaradi preteklega rudarjenja in proizvodnje ter predelave svinčene rude, ko so bile poleg težkih kovin v okolju povečane tudi vsebnosti plinastih onesnažil. Opravljanje rudarske dejavnosti in predelave svinčeve rude se je kazalo na stanju okolja (Ribarič Lasnik in sod., 2002; Pokorny in sod., 2009; Al Sayegh Petkovšek in Pokorny, 2011; Al Sayegh Petkovšek in sod., 2015; Ivartnik in sod., 2015, 2017) in v meritvah svinca v krvi otrok (Hudopisk in sod., 2015). Območje Zgornje Mežiške doline je bilo leta 2007 zaradi velike vsebnosti svinca v okolju razglašeno kot degradirano območje (Odlok o območjih... , 2007). Določen je bil program okoljske sanacije za ožje območje Zgornje Mežiške doline (slika 2); program sanacije se je iztekel v letu 2022.

2 MATERIAL IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Območje raziskave in opis vzorčevalnih mest

2.1 Study area and description of sampling locations

Mežiška dolina je pokrajina ob reki Meži na Koroškem, ki meji na severu na Avstrijo. V zgornjem (zahodnem) delu sega s Peco in Olševo med vzhodne Karavanke, z Raduho ter Smrekovcem pa v Savinjske Alpe; s svojim spodnjim delom se dotika vzhodna Pohorja. Svojska lega in gore, ki jo obkrožajo, ustvarjajo v Mežiški dolini milo alpsko podnebje (povprečna letna temperatura 4–8 °C, letna količina padavin je od 1300 do 1500 mm). Na klimo v dolini vpliva tudi visoka Peca (2.125 m), ki je do 250 dni v letu pokrita s snegom, zato so zime v dolini razmeroma mrzle, poletja pa zmerno topla. Na severu so značilne karbonatne kamnine (dolomit, apnenec), na jugu pa silikatne (metamorfne kamnine). Vse vode v dolini zbira reka Meža, gozdovi pa pokrivajo skoraj 70 odstotkov vse površine. Silikatna tla so do višine 900 m večinoma prekrita s kisloljubnim bukovim gozdom, ki v hladnejših legah prehaja v predalpski jelovo-bukov gozd. Gozdni pas se zaključuje s smrekovim gozdom. Na karbonatnih tleh so se razvile rendzine in rjava tla, ki jih preraščajo bukovi gozdovi v nižjih prisojnih legah ter smrekovi gozdovi v višjih legah, kjer raste tudi macesen (Perko in Orožen Adamič, 1998). Zgornja Mežiška dolina, ki jo tvorita občini Mežica in Črna na Koroškem, je v večini zelo ozka, glo-

boka z malo ravninskega dela, v Spodnji Mežiški dolini (občini Ravne na Koroškem in Prevalje) pa je njeno dolinsko dno nekoliko širše (Špes, 1998).

V Mežiški dolini so stoletja rudarili, v začetku 19. stoletja pa so zgradili rudnik svinca in cinka na območju Žerjava. Posledica dolgoletne proizvodnje in predelave svinčeve rude, ki sega že v 16. stoletje, je onesnaženost okolja zlasti s svincom (Pb) in kadmijem (Cd). V letu 1908 so proizvedli 4000 ton svinca in hkrati v zrak izpustili 1000 ton dimnih plinov. Prvi sistem za filtracijo dimnih plinov je bil uveden v letu 1923, v šestdesetih in sedemdesetih letih prejšnjega stoletja pa so s sanacijskimi ukrepi dosegli, da se je količina od nekdanjih 5000 kg prahu na dan zmanjšala na 70 kg prahu na dan. Največja proizvodnja svinca je bila dosežena sredi sedemdesetih let 20. stoletja, ko so letno proizvedli 28.000 ton (Prpič-Majič, 1996; Kugonič, 1998). Leta 1988 so začeli Rudnik svinca in topilnico Mežica zapirati. Primarno proizvodnjo svinca je zamenjala predelava sekundarne svinčeve surovine. Družba TAB s svojimi hčerinskimi družbami proizvaja vse vrste svinčevih baterij in baterije Li-ion. V hčerinskem podjetju MPI reciklaža, ki ima sedež v Žerjavu, letno proizvedejo približno 30.000 ton svinca in zlitin iz odpada, v Črni na Koroškem pa je tovarna TAB za industrijske baterije. Najmlajše podjetje je podjetje Gradbeni material, kjer se ukvarjajo s predelavo nekdanje jalovine v gradbeni material. Našteti industrijski obrati prispevajo predvsem k emisijam žveplovih oksidov, prahu, organskih spojin in svinca ter njegovih spojin (preglednica 1; slika 2).

Tudi v Spodnji Mežiški dolini imajo sedež številni industrijski obrati, med katerimi sta z vidika emisij celotnega prahu najpomembnejši jeklarna Sij Metal Ravne in livarna Croning iz Raven na Koroškem. Jeklarna hkrati pomembno prispeva tudi k izpustom dušikovih oksidov in organskih spojin (preglednica 2; slika 2). Poleg naštetih točkovnih virov izpustov snovi v zrak (industrijski obrati) moramo pri vrednotenju vpliva onesnaženega zraka na lišajsko vegetacijo upoštevati tudi razpršene vire, ki so izpusti iz prometa in kmetijstva.

V Mežiški dolini potekajo stalne meritve kakovosti zunanjega zraka le na območju Žerjava. Letne ravni arzena, kadmija in svinca so višje kot na drugih merilnih mestih državi. V letu 2021 je bila prvič, odkar od leta 2009 opravljajo meritve, prekoračena letna mejna vrednost za svinec (Bec in sod., 2022). Avtorji monitoringa (Bec in sod., 2022) povezujejo to povečanje glede na pretekla leta z večjo količino emitiranega Pb in prenovo glavne ceste v Žerjavu ter resuspenzijo svinca iz kontaminirane zemlje. Hkrati so na istem merilnem

Preglednica 1: Emisije snovi (kg) iz izpustov iz industrijskih obratov v Zgornji Mežiški dolini za leto 2021 (Občina Črna na Koroškem, Občina Mežica) (vir: ARSO, 2023)**Table 1:** Emissions (kg) from industrial facilities in the Upper Meža Valley for the year 2021 (Municipality of Črna na Koroškem, Municipality of Mežica) (source: ARSO, 2023)

Zavezanci	Lokacija	Parametri*	Emisije (kg)**
Gradbeni materiali d.o.o.	Žerjav Črna na Koroškem	celotni prah	2,14
KAL d.o.o.	Mežica	celotni prah dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂ organske spojine, izražene kot skupni organski ogljik (TOC)	160,4 (+ 18,0) 213,12 (+ 64,0) 1.598 (+ 160)***
Gradbeni materiali d.o.o.	Žerjav Črna na Koroškem	celotni prah	2,14
MPI - RECIKLAŽA, D.O.O.	Žerjav Črna na Koroškem	ostalo anorganske spojine Cl, če niso navedene v I. nevarnostni skupini, izražene kot HCl arzen in njegove spojine (As) benzen celotni prah dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂ kadmij in njegove spojine, izražene kot Cd ogljikov monoksid (CO) organske spojine, izražene kot skupni organski ogljik (TOC) poliklorirani dibenzodioksini (PCDD) in poliklorirani dibenzofurani (PCDF) svinec in njegove spojine, izražene kot Pb vsota prašnate anorganske snovi II. vsota prašnate anorganske snovi III. vsota rakotvorne snovi I. in III. nevarnostna skupina vsota rakotvorne snovi I. nevarnostna skupina živo srebro in njegove spojine, izražene kot Hg žveplov oksidi (SO ₂ in SO ₃), izraženi kot SO ₂	10.187,36 13,83 (+ 1,00) 170,81 734,31 (+ 119) 21.640,30 1,78 163.759,43 3.768,34 2,92 x 10 ⁻⁶ (+ 12,00) 243,42 2,28 172,44 1,63 6,53 67.284,06
TAB, d.d. SPE TOPLA	Mušnik Črna na Koroškem	ostalo celotni prah dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂ ogljikov monoksid (CO) organske spojine, izražene kot skupni organski ogljik (TOC) svinec in njegove spojine, izražene kot Pb vsota anorg. spojin, ki so v parah ali v plinastem stanju II. nev. sk. vsota prašnate anorg. snovi II. in III.	175,04 369,68 (+ 16,00) 1.826,50 612,86 10,89 87,37 (+ 13,00) 2,19 2,19
TAB, d.d., TAB – SPE IB, Žerjav 67, 2393 Črna na Koroškem	Žerjav Črna na Koroškem	ostalo celotni prah dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂ ogljikov monoksid (CO) svinec in njegove spojine, izražene kot Pb žveplov oksidi (SO ₂ in SO ₃), izraženi kot SO ₂	44,70 148,14 (+ 11,00) 197,04 1.113,60 2,96 0,15
TAB-IPM	Žerjav Črna na Koroškem	celotni prah dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂ ogljikov monoksid (CO) organske spojine, izražene kot skupni organski ogljik (TOC) žveplov oksidi (SO ₂ in SO ₃), izraženi kot SO ₂	57,42 1.633,41 3,23 14,36 6.135,30

Opombe: * Navedli smo parametre, za katere so bili podani podatki za emisije > 0,0 kg. V sklopu obratovalnih monitoringov se spremljajo tudi nekateri drugi parametri. ** V oklepaju smo podali oceno razpršenih emisij. *** Emisije nekaterih onesnažil iz posameznih industrijskih obratov (npr. celoten prah, SO₂, NO_x, organske spojine), ki so se po velikosti razlikovale od emisij v drugih industrijskih obratih v Zgornji Mežiški dolini, smo označili krepko. Opombe se nanašajo tudi na preglednico 2.

mestu povprečne letne ravni PM₁₀ vseskozi nižje od mejne vrednosti.

Popise lišajev smo opravljali na 12 izbranih lokacijah v Zgornji in Spodnji Mežiški dolini v različni oddaljenosti od točkovnih virov (industrijski obrati) in tudi vzdolž prometnic, ki pa jih uvrščamo med občinske ce-

ste z manj prometa. V Zgornji Mežiški dolini je bil popis lišajev opravljen na Lomu pri Mežici, Onkraj Meže, v Podkraju pri Mežici, v Žerjavu, na Ludranskem Vrh in na Pristavi. V Spodnji Mežiški dolini smo popisali vrste epifitskih lišajev na območju Tolstega Vrha (kmetija Šteharnik), na Navrškem in Preškem Vrh, na Lešah v

Preglednica 2: Emisije snovi (kg) iz izpustov iz industrijskih obratov iz Spodnje Mežiške doline za leto 2021 (Občina Ravne na Koroškem, Občina Prevalje) (vir: ARSO, 2023)**Table 2:** Emissions (kg) from industrial facilities in the Lower Meža Valley for the year 2021 (Municipality of Ravne na Koroškem, Municipality of Prevalje) (source: ARSO, 2023)

Zavezanci	Lokacija	Parametri*	Emisije (kg)
Adteh d.o.o.	Prevalje	celotni prah dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂	313,76 (+ 32,00)** 76,32
Akers valji Ravne d.o.o.	Ravne na Koroškem	celotni prah dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂ organske spojine, izražene kot skupni organski ogljik (TOC)	23,6342 (+ 3,0) 570,96 38,025
CRONING LIVARNA d.o.o.	Ravne na Koroškem	baker in njegove spojine, izražene kot Cu celotni prah fenol formaldehid vsota vseh organskih spojin I. nevarnostna skupina vsota prašnate anorganske snovi II. in III. vsota prašnate anorganske snovi III. vsota rakotvorne snovi III. nevarnostna skupina	0,24 621,6 (+ 2.035) 220 42,0 311,6 0,24 0,24 170,5
ELEKTRO KOVINA-PLASTIKA TRATNIK, MAJA TRATNIK-HOBER S.P.	Prevalje	celotni prah organske spojine, izražene kot skupni organski ogljik (TOC)	2,86 7,06
GAMA X d.o.o.	Ravne na Koroškem	celotni prah	12,32 (+ 10,0)
JKP LOG D.O.O., Odlagališče nenevarnih odpadkov Lokovica	Lokovica Prevalje	dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂ ogljikov dioksid (CO ₂) žveplove oksidi (SO ₂ in SO ₃), izraženi kot SO ₂	11,02 64.851,0 0,24
Kocerod d.o.o. Dolga Brda 5c	Dolga Brda, Prevalje	metan (CH ₄) ogljikov dioksid (CO ₂)	(+ 33.596,0) (+ 92.390,0)
KOVINARSTVO GERDEJ, proizvodnja kovinskih izdelkov d.o.o.	Poljana, Prevalje	celotni prah dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂	12,8 200,0
Lek d.d.	Prevalje	celotni prah dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂ hlapne organske spojine, razen metana ogljikov monoksid (CO) organske spojine, izražene kot skupni organski ogljik (TOC) žveplove oksidi (SO ₂ in SO ₃), izraženi kot SO ₂	27,30 4.792,34 (+ 752,00) 3.757,88 232,29 67,06
Lesna vrata, d.o.o. »obrat« Prevalje	Prevalje	celotni prah dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂ ogljikov monoksid (CO) organske spojine, izražene kot skupni organski ogljik (TOC)	28,44 (+ 61,00) 1.005,87 146,57 14,74
OPREMA RAVNE d.o.o.	Ravne na Koroškem	celotni prah dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂ ogljikov monoksid (CO) organske spojine, izražene kot skupni organski ogljik (TOC)	42,74 (+ 8,00) 31,25 (+ 6,00) 50,40 (+ 10,00) 411,81 (+ 50,00)
PETROL d.d., Ljubljana, Ravne na Koroškem	Ravne na Koroškem	celotni prah dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂ ogljikov monoksid (CO)	0,186 18.581,81 5.803,48
SIJ Metal Ravne d.o.o.	Ravne na Koroškem	baker in njegove spojine, izražene kot Cu celotni prah dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂ fluor in njegove spojine, izražene kot HF fluoridi, lahkotopni, izraženi kot F krom in njegove spojine, izražene kot Cr mangan in njegove spojine, izražene kot Mn nikelj in njegove spojine, izražene kot Ni ogljikov monoksid (CO) organske spojine, izražene kot skupni organski ogljik (TOC) svinec in njegove spojine, izražene kot Pb vsota anorg. spojin, ki so v parah ali v plinastem stanju II. nev. sk. vsota anorg. spojin, ki so v parah ali v plinastem stanju III. nev. sk. vsota prašnate anorg. snovi I., II., III. vsota prašnate anorg. snovi II. vsota prašnate anorg. snovi II. in III. vsota prašnate anorg. snovi III.	4,68 7.119,09 (+ 9.096,0) 101.504,59 41,23 7,94 20,76 1,65 4,08 84.134,06 5.381,00 0,13 0,22 1,22 8,47 4,00 24,02 27,27

Zavezanci	Lokacija	Parametri*	Emisije (kg)
SIJ RAVNE SYSTEMS d.o.o.	Ravne na Koroškem	anorganske spojine Cl, če niso navedene v I. nevarnostni skupini, izražene kot HCl baker in njegove spojine, izražene kot Cu celotni prah dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂ mangan in njegove spojine, izražene kot Mn organske spojine, izražene kot skupni organski ogljik (TOC) vsota prašnate anorg. snovi II. In III vsota prašnate anorg. snovi III.	73,73 0,11 128,00 (+ 8,00) 75,60 0,21 670,38 0,32 0,32
TESNILA GK d.o.o.	Na produ Prevalje	celotni prah dušikovi oksidi (NO in NO ₂), izraženi kot NO ₂ ogljikov monoksid (CO) organske spojine, izražene kot skupni organski ogljik (TOC) žveplove oksidi (SO ₂ in SO ₃), izraženi kot SO ₂	22,50 569,20 138,80 363,35 794,00
TOVARNA MERIL KOVINE d.d. Dobja vas	Dobja vas Ravne na Koroškem	celotni prah	11,70
TRO – rezalna orodja d.o.o.	Prevalje	celotni prah	0,51
ZIP CENTER d.o.o.	Ravne na Koroškem	celotni prah organske spojine, izražene kot skupni organski ogljik (TOC)	37,43 322,00
ZOLLERN RAVNE d.o.o.	Ravne na Koroškem	celotni prah	6,24

smeri Volinjaka, na Brinjevi gori ter na območju Dolgih Brd (preglednica 3). Za raziskavo so bile izbrane lokacije na primerljivih nadmorskih višinah (med 500 in 840 m) in tiste, za katere smo ocenjevali, da je verjetno, da so izpostavljene emisijam onesnažil.

2.2 Popisi epifitskih lišajev in izračun indeksa zračne čistosti (IAP)

2.2 Epiphytic lichen mapping and determination of air purity indexes (IAP)

Popis vrst epifitskih lišajev je potekal aprila in maja leta 2022 na izbranih lokacijah na območju Zgornje in Spodnje Mežiške doline. Na vsakem raziskovalnem območju smo izbrali šest prostostojećih dreves, ki so praviloma rasla na pašnikih ali travnikih. Kjer prostostojećih dreves nismo našli, smo izbrali drevesa ob gozdnem robu. Drevesa smo izbrali na podlagi klasifikaci-

je nemške metode, ki po pH skorje določa tri skupine dreves (VDI 3799, 1995; Kirschbaum in Wirth, 1997).

Najpogosteje je bilo izbrano sadno drevje, in sicer češnja (*Prunus avium* L.), sliva (*Prunus domestica* L. subsp. *domestica*) in hruška (*Pyrus communis* L.). Prvi dve vrsti spadata v skupino dreves s kisló skorjo, hruška pa v skupino drevesnih vrst z zmerno kisló skorjo. Ponekod smo vključili tudi nekatere listavce (lipovec – *Tilia cordata* Mill., gorski javor – *Acer pseudoplatanus* L. oziroma ostrolistni javor – *Acer platanoides* L. in vrste iz rodu *Quercus* sp.). Lipovec in gorski javor imata zmerno kisló skorjo; hraste pa uvrščamo v skupino dreves s kisló skorjo (Kirschbaum in Wirth, 1997). Izbrali smo drevesa primerne starosti; tj. obseg drevesa več kot 40 cm, brez poškodb debla in zunaj sadovnjakov, da bi se izognili mogočemu vplivu škropljenja na vrstno sestavo lišajev (Vidregar-Gorjup, 2002). Lišaje



Slika 1: *Xanthoria parietina* (levo) ter *Lecanora* sp. (desno) (foto: T. Sterže, 2022)



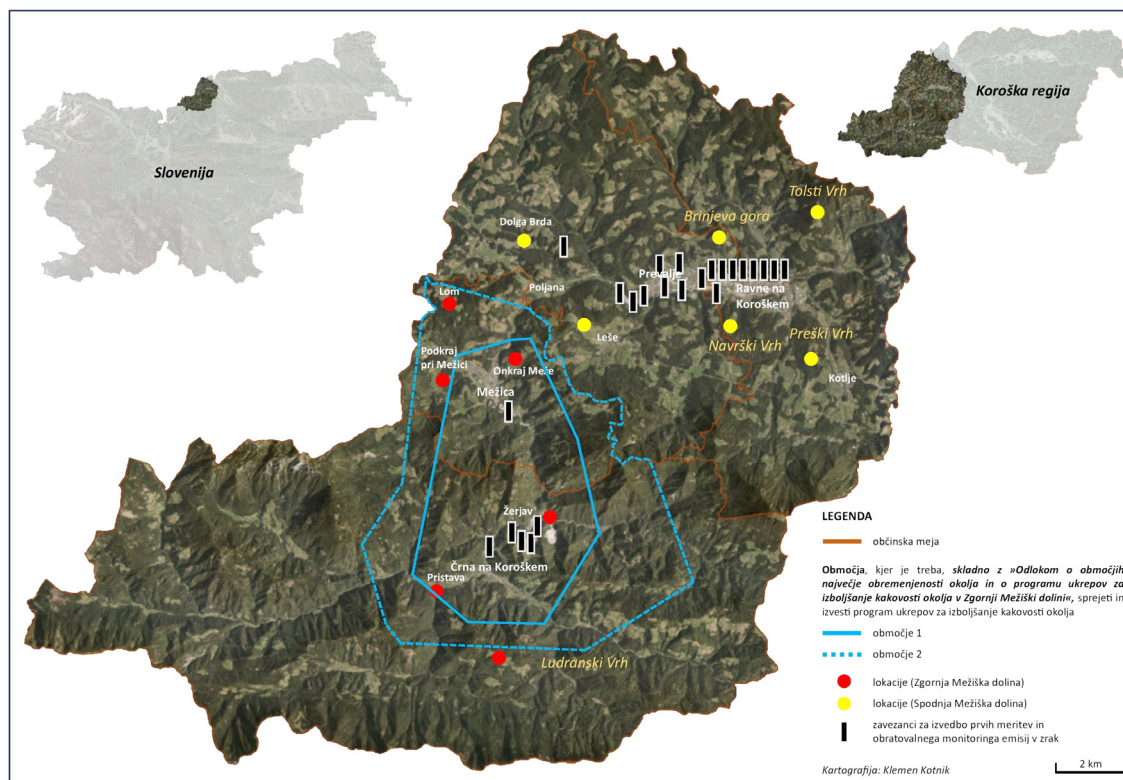
Fig. 1: *Xanthoria parietina* (left) and *Lecanora* sp. (right) (photo: T. Sterže, 2022)

Preglednica 3: Pregled lokacij popisov epifitskih lišajev na območju Mežiške doline

Lokacija*	Koordinate	Nadmorska višina	Mikrolokacija popisa
Onkraj Meže	N = 46,31311 E = 14,51460	574 m	Ob občinski cesti in na travnikih.
Lom pri Mežici	N = 46,32269 E = 14,50128	692 m	Ob občinski cesti in v okolici hiš.
Podkraj pri Mežici	N = 46,31143 E = 14,50009	615 m	Ob občinski cesti in na travnikih.
Žerjav	N = 46,29061 E = 14,52293	537 m	V središču naselja ob cesti v okolici šole, vrtca. Lokacija je oddaljena od regionalne ceste II. Reda okoli 300 m.
Pristava	N = 46,27564 E = 14,49555	598 m	Ob občinski cesti in na travnikih.
Ludranski Vrh	N = 46,26502 E = 14,51213	1.056 m	Ob občinski cesti in v okolici hiš ter samem vrhu v okolici Najevske lipe.
Tolsti Vrh	N = 46,33564 E = 14,58353	840 m	Pri kmetiji Štehamnik in ob gozdnem robu.
Navrški Vrh	N = 46,32032 E = 14,56376	560 m	Pri kmetiji Nadvar.
Preški Vrh	N = 46,31353 E = 14,58294	504 m	V neposredni bližini naselja Kotlje, v okolici Ivarčkega jezera in Prežihove bajte.
Brinjeva gora	N = 46,33299 E = 14,56224	723 m	Ob gozdnem robu in na travnikih pod Brinjevo goro; v okolici so kmetije.
Leše	N = 46,32046 E = 14,53205	532 m	Pri Leških cerkvah in ob travnikih v smeri Volinjaka.
Dolgo Brdo	N = 46,33240 E = 14,51577	536 m	V naselju Dolgo Brdo ob občinski cesti in v okolici hiš.

Table 3: Overview of selected locations for epiphytic lichen mapping in the Meža Valley

Opombe: * V prvi polovici preglednice so navedene lokacije iz Zgornje Mežiške doline; v drugi polovici pa lokacije iz Spodnje Mežiške doline.

**Slika 2:** Mežiška dolina s prikazanimi lokacijami za popis epifitskih lišajev in industrijskih objektov, ki so zavezanci za opravljanje monitoringa emisij v zrak**Fig. 2:** The Meža Valley with indicated locations for the survey of epiphytic lichens and industrial facilities that are obligated to conduct air emissions monitoring

Preglednica 4: Razredi zračne čistosti, širine posameznih razredov za umestitev lokacij v razrede zračne čistosti po metodah SI in VDI

Razred	IAP*/LGW**	Opis
Slovenska (SI) metoda		
5	0	Lišajska praznina.
4	1,0–13,5	Revna obrast z lišaji.
3	13,6–27,0	Zmerna obrast z lišaji.
2	27,1–40,5	Velika obrast z lišaji.
1	40,6–54,0	Bujna lišajska vegetacija.
Nemška (VDI) metoda		
5	50,1–75,0	Majhna do zelo majhna izpostavljenost onesnažilom.
4	37,6–50,0	Zmerna do majhna izpostavljenost onesnažilom.
3	25,1–37,5	Velika do zmerna izpostavljenost onesnažilom.
2	12,6–25,0	Velika izpostavljenost onesnažilom.
1	0–12,5	Zelo velika izpostavljenost onesnažilom.

Opombe: * IAP: indeks zračne čistosti po SI metodi; ** indeks zračne čistosti po VDI metodi (LGW- Luft Gute Werke).

smo v večini primerov določali na terenu z uporabo lupe in ustreznih določevalnih ključev (Wirth, 1995a, b; Wirth in Dull, 2000), tem virom sledi tudi poimenovanje vrst.

Uporabili smo dve metodi popisa epifitske lišajske vegetacije in določitve indeksov zračne čistosti (indeksi IAP) na istih izbranih drevesih, in sicer slovensko metodo SI ter nemško metodo VDI. Prva je enostavnejša in temelji na popisu številčnosti in pokrovnosti posameznih tipov lišajske steljke (Batič, 1991; Batič in

Kralj, 1995; Batič in sod., 2011). Pokrovnost se oceni za vsakega od treh tipov lišajev posebej (skorjasti, listasti in grmičasti) na treh višinskih stratumih dreves (dnišče, deblo in krošnja) na delu debla, ki je najbolj obrasel z lišaji. Pri metodi SI so širine posameznih razredov fiksne in vnaprej določene. Vrednosti indeksov so razdeljene v pet razredov zračne čistosti s širino razreda 13,5 (Batič, 1991; Batič in Kralj, 1995; preglednica 4).

Nemška metoda VDI temelji na popisu izbranih vrst epifitskih lišajev na najbolj obraslem delu debla, na ka-



Slika 3: Vzorčevalni mrežici za popis po VDI metodi (foto: S. Al Sayegh Petkovšek, 2022)



Fig. 3: Sampling grids for the survey according to the VDI method (photo: S. Al Sayegh Petkovšek, 2022)

terega se pritrdi mrežico v velikosti 50 x 20 cm (dva stolpiča), s kvadrati 10 x 10 cm (slika 3). Pri tej metodi se popisujejo vse vrste lišajev s seznama VDI, ki so znotraj mrežice. Popisanim lišajem pripišemo frekvenco pojavljanja F (0-10) (VDI 37990, 1995). Frekvenca 1 pomeni, da je bila posamezna vrsta zabeležena v enem kvadrantu; za posamezno drevo je torej maksimalna frekvenca 10 (na lokacijo torej 60). Na podlagi popisa po metodi VDI smo izračunali indeks zračne čistosti in lokacije uvrstili v pet razredov. Širine posameznega razreda zračne čistosti smo povzeli za srednjeevropsko območje, kjer širina razreda znaša 12,5 (preglednica 4) (VDI 3799, 1995).

2.3 Statistične analize

2.3 Statistical analyses

S pomočjo programa SPSS (*Statistical package for the Social Sciences*) smo za podatke, pridobljene po VDI metodi, opravili tudi statistično analizo ANOVA in preverili, ali se stanje (število vrst) v Zgornji Mežiški dolini statistično razlikuje v primerjavi s Spodnjo Mežiško dolino.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Vrstna sestava epifitskih lišajev

3.1 Epiphytic lichen species composition

Na 12 izbranih lokacijah v Mežiški dolini smo popisali 34 vrst epifitskih lišajev (preglednica 5). Hkrati smo za vsako vrsto prikazali indeks toksitolerance, katerega razpon je med 1 (za toksične snovi v okolju zelo občutljive vrste) in 9 (zelo odporne vrste) ter indeks odpornosti na hranila z razponom od 1 (podlaga zelo revna s hranili, značilna zelo velika občutljivost za evτροφikacijo z mineralnimi snovmi) do 9 (zelo odporne vrste proti gnojilom) (Wirth, 1992). Seznam ne predstavlja popisa vseh obstoječih vrst na območju, saj smo popis opravili v sklopu metode VDI tako, da smo popisali lišaje na 6 drevesih (praviloma sadno drevje). Prav tako smo evidentiranje vrst omejili na popisne mrežice in na vrste iz obrazca za popisno metodo VDI. Za posamezno območje je torej pričakovano število vrst lahko bistveno večje.

Skupno smo na vseh 12 lokacijah evidentirali 34 vrst epifitskih lišajev. Najbolj pogoste vrste, popisane na vseh lokacijah, so bile: *Candelariella xanthostigma*, *Parmelia glabratula*, *Phlyctis argena* in *Physcia adscendens*. Indeks toksitolerance (preglednica 5) omenjenih vrst je med 5 in 8, kar pomeni, da so vrste bolj odporne proti onesnaženju. Vrsti *Physcia adscendens* in *Phlyctis argena* sta bolj nitrofilni vrsti oz. se pojavljata tam, kjer je več onesnaženja z dušikovimi spojinami. Na podlagi

tega lahko sklepamo, da so na celotnem obravnavnem območju dušikova onesnažila. Trinajst vrst lišajev se je pojavljalo posamič (le na eni lokaciji), nadaljnjih šest vrst lišajev pa na dveh od dvanajstih lokacij. Med njimi so vrste, ki so za onesnaževanje manj občutljive, in sicer: *Hypogymnia physodes* (Tolsti Vrh, Navrški Vrh), *Lecanora expallens* (Preški Vrh), *Lecanora hagenii* (Onkraj Meže) in *Lecanora conizaeoides* (Tolsti Vrh, Onkraj Meže). Za vrsto *L. conizaeoides* je značilno, da bolje uspeva v onesnaženem zraku; v Sloveniji pa te vrste ni v neonesnaženih območjih (van Dobben in sod., 2001; Poličnik, 2008). Evidentirane so bile tudi občutljive vrste lišajev, in sicer *Parmelia caperata* (Navrški Vrh), *Parmelia glabra* (Preški Vrh), *Parmelia pastillifera* (Preški Vrh, Leše) in *Parmelia subrudecta* (Lom).

Največje število popisanih epifitskih lišajev smo evidentirali na območju Tolstega Vrha ob kmetiji Šteharinik (17), najmanj pa na lokaciji Preški Vrh (9), oziroma Leše in Dolgo Brdo (10).

V Zgornji Mežiški dolini smo evidentirali 25 vrst epifitskih lišajev, v Spodnji Mežiški dolini pa dve vrsti več. Bolj kot število vrst je pomembna vrstna sestava lišajev, oziroma ali so lišaji občutljivi ali pa tolerantni za spremembe v okolju. Pogosto prihaja do nadomeščanja določene vrste lišaja z drugo (npr. nadomeščanje občutljivih vrst lišajev z bolj odpornimi vrstami), zmanjšanje pokrovnosti debla z lišaji ali poslabšanje stanja njihove steljke (Kapusta in sod., 2004; Poličnik, 2008). Za vsako lokacijo smo izračunali uteženo povprečje, ki nam pove povprečje toksitolerance za vrste, ki se pojavljajo na posamezni lokaciji. Na sedmih lokacijah (Tolsti Vrh, Dolgo Brdo, Onkraj Meže, Lom, Podkraj pri Mežici, Pristava, Ludranski Vrh) so se pojavljale vrste s povprečnim indeksom toksitolerance 7, kar pomeni, da so prevladovali vrste, ki so za onesnažen zrak manj občutljive; na preostalih lokacijah pa vrste s povprečnim indeksom toksitolerance 6. Povzamemo lahko, da so se upoštevale povprečne indekse toksitolerance na vseh v raziskavo vključenih lokacijah pojavljale vrste, ki so za onesnaževanje manj občutljive (bolj tolerantne vrste).

3.2 Ocena kakovosti zraka z uporabo indeksov zračne čistosti

3.2 Air quality assessment with the use of air purity indexes

Na podlagi določenih vrednosti indeksov zračne čistosti smo posamezne lokacije umestili v različne razrede zračne čistosti (preglednica 6). Z uporabo metode SI smo jih razvrstili v 3. razred, ki kaže na zmerno obrast z lišaji, le lokacija Dolgo Brdo je uvrščena v 4. razred, za katerega je značilna revna obrast lišajev. Naj-

Preglednica 5: Povprečne frekvence pojavljanja posamezne vrste lišaja na izbranih lokaciji po metodi VDI, indeksa toksitolerance (To) in odpornosti proti hranilom (N) (po Ellenberg in sod., 1992; Wirth, 1992)**Table 5:** Average frequencies of occurrence of lichen species at selected locations using the VDI method. The toxic tolerance index (To) and eutrophication index (N) after Ellenberg et al. (1992) and Wirth (1992) are also given for individual lichen species.

Št.	VRSTA	Indeksi		Zgornja Mežiška dolina						Spodnja Mežiška dolina					
		To	N	OM	LO	PM	LV	ŽE	PR	TV	PV	NV	LE	DB	BG
1.	<i>Candelariella xanthostigma</i>	6	4	3,0	6,3	3,0	5,6	9,0	5,5	8,2	2,0	9,0	10	9,0	7,0
2.	<i>Cetraria chlorophylla</i>	5	-									6,0			
3.	<i>Evernia prunastri</i>	6	3	1,0	1,0	1,0	2,0			3,5		2,0			
4.	<i>Hypogymnia physodes</i>	8	2							10		4,0			
5.	<i>Lecanora chlarotera</i>	6	4		1,0	7,0				1,5				1,0	1,0
6.	<i>Lecanora conizaeoides</i>	9	x	1,0						1,0					
7.	<i>Lecanora expallens</i>	9	4								3,7				
8.	<i>Lecanora hagenii</i>	8	-	1,0											
9.	<i>Lecanora pullicaris</i>	6	3		4,0	4,0	2,0		3,0			1,0			1,0
10.	<i>Lecanoria carpinea</i>	5	3	2,0		1,0	2,0			1,0	2,0			1,0	2,0
11.	<i>Lecidella elaeochroma</i>	6	4	6,0	1,0	3,0	3,5	5,3	1,0	6,0				2,0	3,3
12.	<i>Lepraria incana</i>	9	3	4,0	1,0	3,7	10		4,0	5,0				2,0	3,0
13.	<i>Ochrolechia</i> sp.	-	-												2,7
14.	<i>Parmelia acetabulum</i>	6	5										4,0		
15.	<i>Parmelia caperata</i>	3	3									1,0			
16.	<i>Parmelia exasperatula</i>	6	4					10							
17.	<i>Parmelia flaventior</i>	6	-					1,0							
18.	<i>Parmelia glabrata</i>	-	-	4,0	3,5	5,7	10	5,0	2,0	5,5	5,0	4,0	3,0	1,5	2,5
19.	<i>Parmelia glabra</i>	5	3								6,8				
20.	<i>Parmelia pastillifera</i>	3	4								2,5		7,0		
21.	<i>Parmelia saxatilis</i>	7	2							1,0		10			
22.	<i>Parmelia subargentifera</i>	3	6	1,0									2,0		
23.	<i>Parmelia subrudecta</i>	6	3		10										
24.	<i>Parmelia sulcata</i>	8	4	5,0	4,3	6,6	6,8	8,3	6,3	4,7		7,8	4,3	2,0	2,0
25.	<i>Parmeliopsis ambigua</i>	7	2		9,0					1,0					
26.	<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	8	7	8,3	10	2,0	3,5	1,0	1,0	2,0			1,0	1,0	3,0
27.	<i>Phlyctis argena</i>	6	6	7,0	10	7,0	5,0	10	7,5	6,6	7,5	4,5	9,6	5,0	10
28.	<i>Physcia adscendens</i>	8	6	8,8	8,4	10	10	9,0	4,3	8,3	8,0	2,7	6,3	8,8	7,0
29.	<i>Physcia stellaris</i>	4	-					1,0							
30.	<i>Platismatia glauca</i>	5	-						10						
31.	<i>Pseudevernia furfuracea</i>	7	1			3,0									
32.	<i>Usnea</i> sp.	-	-			1,0	1,0	7,0		1,0					
33.	<i>Xanthoria candelaria</i>	5	7	3,0	10					1,0		1,0	1,0		8,0
34.	<i>Xanthoria parietina</i>	7	6		7,0	1,0	1,0	3,0	3,0						
	LGW****			55,1	86,5	59,0	62,4	69,6	47,6	67,3	37,5	53,0	48,2	33,3	52,5
	ŠTEVILO VRST			14	15	15	13	12	13	17	9	12	10	10	13
	UTEŽENO POVPREČJE To			7	7	7	7	6	7	7	6	7	6	7	6

Opombe:

* To: Indeks toksitolerance: razpon od 1 (na toksične snovi v okolju zelo občutljive vrste) do 9 (zelo odporne vrste).

** N: Indeks odpornosti na hranila: razpon od 1 (podlaga zelo bogata s hranili, značilna zelo velika odpornost na evtrofikacijo z mineralnimi snovmi) do 9 (zelo odporne proti gnojilom); x: Vrsta bolje uspeva v onesnaženem zraku, v neonesnaženih območjih izgine.

*** Lokacije smo označili s kraticami in sicer: TV – Tolsti Vrh (Šteharinik), NV – Navrški Vrh, PV – Preški Vrh, LE – Leše, DB – Dolgo Brdo, BG – Brinjeva gora, OM – Onkraj Meže, LOM – Lom, PM – Podkraj pri Mežici, ŽE – Žerjav, PR – Pristava, LV – Ludranski Vrh.

**** LGW: Indeks zračne čistosti po VDI metodi (LGW– Luft Gute Werke).

Preglednica 6: Rezultati izračunanih vrednosti indeksov zračne čistosti in pripadajoči razredi zračne čistosti na podlagi popisov lišajev po metodah SI in VDI na prostostojećem drevju

Table 6: Results of calculated air purity index values and corresponding air purity classes based on lichen surveys on free-standing trees using the SI and VDI methods

LOKACIJA	IAP*/LGW**	RAZRED	OPIS
Slovenska SI metoda popisov epifitskih lišajev			
Onkraj Meže	19,8	3	Zmerna obrast z lišaji.
Lom	19,5	3	Zmerna obrast z lišaji.
Podkraj pri Mežici	20,2	3	Zmerna obrast z lišaji.
Ludranski Vrh	21,3	3	Zmerna obrast z lišaji.
Žerjav	18,7	3	Zmerna obrast z lišaji.
Pristava	15,0	3	Zmerna obrast z lišaji.
Tolsti Vrh	20,1	3	Zmerna obrast z lišaji.
Preški Vrh	15,3	3	Zmerna obrast z lišaji.
Navrški Vrh	20,1	3	Zmerna obrast z lišaji.
Leše	16,0	3	Zmerna obrast z lišaji.
Dolgo Brdo	11,5	4	Revna obrast z lišaji.
Brinjeva gora	17,2	3	Zmerna obrast z lišaji.
Nemška VDI metoda popisa epifitskih lišajev			
Onkraj Meže	55,1	5	Majhna do zelo majhna izpostavljenost onesnažilom.
Lom	86,5	5	Majhna do zelo majhna izpostavljenost onesnažilom.
Podkraj pri Mežici	59,0	5	Majhna do zelo majhna izpostavljenost onesnažilom.
Ludranski Vrh	62,4	5	Majhna do zelo majhna izpostavljenost onesnažilom.
Žerjav	69,6	5	Majhna do zelo majhna izpostavljenost onesnažilom.
Pristava	47,6	4	Zmerna do majhna izpostavljenost onesnažilom.
Tolsti Vrh	67,3	5	Majhna do zelo majhna izpostavljenost onesnažilom.
Preški Vrh	36,6	3	Velika do zmerna izpostavljenost onesnažilom.
Navrški Vrh	53,0	5	Majhna do zelo majhna izpostavljenost onesnažilom.
Leše	48,2	4	Zmerna do majhna izpostavljenost onesnažilom.
Dolgo Brdo	33,3	3	Velika do zmerna izpostavljenost onesnažilom.
Brinjeva gora	52,5	5	Majhna do zelo majhna izpostavljenost onesnažilom.

Opombe: * IAP indeks zračne čistosti po SI metodi; ** Indeks zračne čistosti po metodi VDI (Luft Gute Werke). V prvi polovici preglednice za posamezno metodo so lokacije, uvrščene v Zgornjo Mežiško dolino; v drugi polovici pa lokacije iz Spodnje Mežiške doline.

večji indeks zračne čistosti (IAP = 21,3) je bil določen za lokacijo Ludranski Vrh. Slednje je bilo pričakovano zaradi največje nadmorske višine in večje oddaljenosti od virov onesnaženja. Najmanjši indeks (IAP = 11,5) je bil izračunan za lokacijo Dolgo Brdo.

Z uporabo metode VDI smo lokacije razvrstili v tri razrede, in sicer od 3. razreda (velika do zmerna izpostavljenost onesnažilom) na lokacijah Preški Vrh in Dolgo Brdo do 5. razreda (majhna do zelo majhna izpostavljenost onesnažilom) na vseh drugih lokacijah, z izjemo lokacij Pristava in Leše, ki sta uvrščeni v 4. razred (zmerna do majhna izpostavljenost onesnažilom). Največji indeks je bil določen za lokacijo Lom v občini Mežica (LGW = 86,5). V okolici ni večjega lokalnega vira onesnaženja (slika 2). Lokacija z drugim največjim

indeksom je bila Žerjav (LGW = 69,6), za katerega smo na podlagi podatkov o kakovosti zunanega zraka (Bec in sod., 2022) in podatkov o emisijah snovi v zrak (preglednica 1) pričakovali manjši indeks in s tem slabšo kakovost zraka. V letu 2021 so emisije Pb na območju Žerjava prvič prekoračile letno mejno vrednost (Bec in sod., 2022). Zagotovo bi bilo smiselno vsaj na tej lokaciji uporabiti lišaje kot akumulacijske bioindikatorje in določiti vsebnosti kovin v steljkah lišajev, saj je bilo že v preteklosti ugotovljeno, da so lišaji na tem območju izpostavljeni kovinam (Poličnik in Batič, 2007; Poličnik, 2008). V steljkah izpostavljenih lišajev (*Hypogymnia physodes*) na območju Žerjava je v obdobju 2001–2004 prišlo do večjega kopičenja kovin (arzen (As), Cd, Pb in cink (Zn)) v primerjavi z drugimi industrijskimi ob-

močji, kot so vplivna območja Termoelektrarne Šoštanj in Trbovlje ter Termoelektrarne toplarne Ljubljana. Še posebej izrazito je bilo kopičenje Pb (Poličnik, 2008). Lokaciji Žerjav je sledila lokacija Tolsti Vrh (LGW = 67,3), kjer smo v okolici kmetije Šteharnik evidentirali največjo število vrst lišajev.

Lokaciji z najmanjšim indeksom sta bili Dolgo Brdo (LGW = 33,3) in Preški Vrh (LGW = 36,6), ki geografsko spadata v Spodnjo Mežiško dolino. Lokacija Dolgo Brdo je bila tudi po metodi SI uvrščena v razred, za katerega je značilna revna obrast z lišaji. V neposredni okolici ni večjega vira onesnaženja, popise pa smo opravili ob občinski cesti, ki je okoli 500 m oddaljena od ceste, ki vodi do mejnega prehoda Holmec. Velja pa opozoriti, da je Poličnik (2013) ugotovila, da tudi pri cestah z zmerno gostoto prometa (< 20.000 vozil dnevno; natančneje med 17.300 in 5.200 vozili dnevno) emisije iz prometa sicer vplivajo na kakovost zraka oziroma vrstno sestavo lišajev, a le v ozkem pasu ob cesti (< 100 m). V bližini lokacije sta tudi Zbirni center Lokovica in odlagališče odpadkov Zmes, vendar menimo, da so njihovi vplivi na kakovost zraka minimalni (preglednica 1). Ker pa na obrast lišajev vendarle ne vplivajo samo plinasta onesnažila, temveč tudi (mikro)klimatski dejavniki (močno senčna lega), sklepamo, da so le-ti glavni vzrok za revnejšo obrast z lišaji; predvsem je za obrast z lišaji pomembno dovolj sončne svetlobe in tudi vlage v zraku. Nemška metoda VDI se je izkazala kot bolj občutljiva, saj smo prepoznali tri različne razrede zračne čistosti (3., 4. in 5. razred; preglednica 6), medtem ko smo po metodi SI kar 11 od 12 lokacij umestili v enak (3.) razred zračne čistosti; stanje je bilo v primerjavi z metodo VDI nekoliko slabše. Kljub manjši občutljivosti metode SI, ki je bila razvita v Sloveniji, jo lahko uporabimo kot dopolnilno metodo za hitro oceno kakovosti zraka in za ugotavljanje trendov, kar je v Sloveniji v preteklosti potekalo v okviru rednega popisa stanja gozdov (Batič in sod., 2011).

Upošteva rezultate popisov epifitskih lišajev na izbranih lokacijah v Mežiški dolini po obeh metodah smo ugotovili, da je stanje lišajske vegetacije na vseh obravnavanih lokacijah primerljivo in da so lokacije srednje obremenjene s plinastimi onesnažili, saj sta za večino lokacij (8/12) značilni majhna do zelo majhna izpostavljenost lišajev onesnažilom ter zmerna obrast z lišaji (11/12). V ospredje lahko postavimo lokaciji Dolgo Brdo in Preški Vrh, kjer je izpostavljenost onesnažilom velika do zmerna in je obrast lišajev revna (Dolgo Brdo). Izračunani indeksi zračne čistosti na prostostojećem drevju so sicer pokazali, da je kakovost zraka v Zgornji Mežiški dolini nekoliko boljša od

Spodnje Mežiške doline, vendar razlike niso statistično značilne ($p = 0,156$). Razlog za nekoliko slabšo kakovost zraka v tem delu Mežiške doline so najverjetneje gostejša poselitve, kmetijstvo in bolj s prometom in plinastimi onesnažili obremenjeno okolje.

4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSIONS

Na podlagi opravljenega popisa epifitskih lišajev aprila in maja 2022 na 12 izbranih lokacijah v Mežiški dolini z uporabo slovenske metode SI in nemške metode VDI lahko zaključimo:

- Na območju raziskave smo z uporabo metode VDI evidentirali 34 vrst epifitskih lišajev. Najbolj pogoste vrste, popisane na vseh lokacijah, so *Candelariella xanthostigma*, *Parmelia glabratula*, *Phlyctis argena* in *Physcia adscendens*, ki imajo indeks toksitolerance med 5 in 8, kar pomeni, da so vrste bolj odporne proti onesnaženju. Zadnji dve vrsti (*Physcia adscendens* in *Phlyctis argena*) sta nitrofilni vrsti oz. se pojavljata tam, kjer je okolje obremenjeno z dušikovimi spojinami. Ob upoštevanju vseh vrst smo na podlagi izračuna povprečnega indeksa toksitolerance za posamezno lokacijo potrdili, da na vseh lokacijah prevladujejo vrste, ki so bolj tolerantne do onesnaževanja. Le posamič se pojavljajo tudi vrste, ki so bolj občutljive za onesnažen zrak: *Parmelia caperata* (Navrški Vrh), *Parmelia glabra* (Preški Vrh), *Parmelia pastillifera* (Preški Vrh, Leše) in *Parmelia subrudecta* (Lom).
- Potrdili smo večjo občutljivost metode VDI, saj smo lokacije uvrstili v tri različne razrede zračne čistosti, medtem ko smo po metodi SI kar 11 od 12 lokacij umestili v enak razred. Največji indeks zračne čistosti, določen po metodi VDI, je bil izračunan za lokacijo Lom pri Mežici (LGW = 86,5), kjer ni večjega lokalnega vira onesnaženja. Lokacija z drugim največjim indeksom je Žerjav (LGW = 69,6) za katerega smo na podlagi podatkov o kakovosti zunanega zraka in podatkov o emisijah snovi v zrak pričakovali manjši indeks zračne čistosti in s tem slabšo kakovost zraka. Zagotovo bi bilo smiselno vsaj na tej lokaciji dopolniti našo raziskavo z določanjem vsebnosti težkih kovin v steljkah lišajev (akumulacijska bioindikacija). Lokaciji Žerjav sledi lokacija Tolsti Vrh (LGW = 67,3), kjer smo v okolici kmetije Šteharnik evidentirali največje število vrst lišajev.
- Upošteva rezultate popisov epifitskih lišajev na izbranih lokacijah v Mežiški dolini po obeh metodah smo ugotovili, da je bilo stanje lišajske vegetacije na vseh obravnavanih lokacijah primerljivo

in da so lokacije srednje obremenjene s plinastimi onesnažili. V ospredje lahko postavimo lokaciji Dolgo Brdo in Preški Vrh, kjer stanje lišajev kaže, da je izpostavljenost plinastim onesnažilom velika do zmerna. Izračunani indeksi zračne čistosti na prostostoječem drevju so sicer pokazali, da je kakovost zraka v Zgornji Mežiški dolini nekoliko boljša kot v Spodnji Mežiški dolini, vendar razlike niso statistično značilne. Slednje povezujemo z gostejšo poselitvijo, prometom in večjimi izpusti plinastih onesnažil na območju Spodnje Mežiške doline, kamor sodita občini Ravne na Koroškem in Prevalje.

- Z opravljeno raziskavo smo pridobili podatke o kakovosti zraka na izbranih lokacijah v Mežiški dolini, ki so za to območje redki. Mežiška dolina, z izjemo Žerjava, kjer pa ne merijo vseh parametrov, ni vključena v državno merilno mrežo za spremljanje kakovosti zunanjega zraka. Po našem vedenju je to prva raziskava z uporabo lišajev kot odzivnih biondikatorjev (z izjemo popisa gozdov) na območju Mežiške doline in lahko prispeva k oceni stanja okolja na tem območju.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

In the spring of 2022, we conducted a survey of epiphytic lichens at 12 selected locations in the Meža Valley using the Slovenian SI and the German VDI methods. The study aimed to assess air quality based on the lichen inventory and by calculating the Air Purity Index (IAP) for each location. It also aimed to compare the selected locations and methods used (the Slovenian SI method and the German VDI method). The basic hypothesis was that the condition of lichen vegetation would be worse in the Upper Meža Valley compared to the Lower Meža Valley due to past mining and the production and processing of lead ore. Part of the Upper Meža Valley was declared as a degraded area in 2007 due to the high levels of lead in the environment, and an environmental remediation program was defined for this area.

We identified a total of 34 species of epiphytic lichens in the research area. The most common species across all locations were *Candelariella xanthostigma*, *Parmelia glabratula*, *Phlyctis argena* and *Physcia adscendens*, all of which have a toxic tolerance index between 5 and 8, indicating greater resistance to pollution. *Physcia adscendens* and *Phlyctis argena* are nitrophilic species and occur where the environment is burdened with nitrogenous compounds. Considering all species and based on the calculation of the avera-

ge toxic tolerance index for each location, we confirmed that all locations are dominated by species with greater pollution tolerance. However, there were also species that are more sensitive to polluted air, such as *Parmelia caperata* (Navrški Vrh), *Parmelia glabra* (Preški Vrh), *Parmelia pastillifera* (Preški Vrh, Leše) and *Parmelia subrudecta* (Lom).

We confirmed the higher sensitivity of the VDI method, as it classified the locations into three different classes of air quality, whereas the SI method placed 11 out of 12 locations in the same class. The highest air purity index, determined by the VDI method, was calculated for the Lom location (LGW = 86.5), where there is no major local source of pollution. The second highest index was recorded at Žerjav (LGW = 69.6), despite our initial expectations of a lower index of air of air purity due to air quality and emissions data. At least for the Žerjav location, it would be sensible to supplement our research by determining the heavy metal content in lichens (accumulation bioindication). The Žerjav location was followed by the Tolsti Vrh location (LGW = 67.3), where we recorded the largest number of lichen species.

According to the results of epiphytic lichen inventories at selected locations in the Meža Valley using both methods, we found that the condition of the lichen vegetation at all of the locations was comparable and that the air quality was good. Most locations (8/12) were characterized by low to very low lichen exposure to pollutants and moderate lichen coverage (11/12). Two locations stood out: Dolgo Brdo and Preški Vrh, where lichen exposure to pollutants was high to moderate. Calculated air purity indices on free-standing trees showed that the air quality in the Upper Meža Valley was slightly better than that in the Lower Meža Valley, but the differences were not statistically significant. We attribute this to higher population density, increased traffic, and greater emissions of gaseous pollutants in the Lower Meža Valley, which includes the municipalities of Ravne na Koroškem and Prevalje.

Through this study, we obtained rare data on air quality at selected locations in the Meža Valley. The Meža Valley, with the exception of Žerjav, is not included in the national measurement network for monitoring outdoor air quality. To our knowledge, this research represents the first use of lichens as responsive bioindicators (excluding forest inventory) in the Meža Valley area, and it has the potential to contribute to the assessment of the state of the environment in this area.

VIRI

REFERENCES

- Abas A. 2021. A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges. *Ecological Indicators*, 121: 107197.
- Abas A., Asnawi N.H., Aiyub K., Awang A., Abdullah S.R. 2022. Lichen Biodiversity Index (LBI) for the assessment of air quality in an industrial city in Pahang, Malaysia. *Atmosphere*, 13: 1905. <https://doi.org/10.3390/atmos13111905>
- Al Sayegh Petkovšek S., Kopušar N., Tome D., Kryštufek B. 2015. Risk assessment of metals and PAHs for receptor organisms in differently polluted areas in Slovenia. *Science of the Total Environment*, 532: 404–414.
- Al Sayegh Petkovšek S., Mazej Grudnik Z., Pandics T., Paldy A. 2014. Assessment of health effects of ozone, PM_{2.5} and PM₁₀ in the Šalek Valley (Slovenia) in comparison with selected Central European areas. *Central European Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 20, 1–2: 103–118.
- Al Sayegh Petkovšek S., Pokorny B. 2011. Obremenjenost trosnjakov užitnih vrst gliv iz Šaleške in Zgornje Mežiške doline z izbranimi kovinami (Cd, Hg, Pb, As), s poudarkom na oceni tveganja za prehranjevanje ljudi. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 94: 21–38.
- Arndt U., Nobel W., Schweizer B. 1987. Bioindikatoren: Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer: 388 str.
- ARSO. 2023. <https://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/onesna%20beevanje%20zraka/> (1. 9. 2023).
- Batič F. 1991. Bioindikacija onesnaženosti zraka z epifitskimi lišaji. *Gozdarski vestnik*, 49, 5: 248–254.
- Batič F., Kastelec D., Skudnik M., Kovač M. 2011. Analiza stanja lišajev v popisu stanja gozdov v letu 2007. *Gozdarski vestnik*, 69, 5/6: 312–321.
- Batič F., Kralj A. 1995. Bioindikacija onesnaženosti ozračja v gozdovih z epifitskimi lišaji. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 47: 5–56.
- Batič F., Kralj, T. 1989. Bioindikacija onesnaženosti zraka z epifitsko lišajsko vegetacijo pri inventurah propadanja gozdov. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 34: 51–70.
- Batič F., Mavsar R., Jeran Z. 2003. Epiphytic lichens as air quality indicators in forest stands. *Ekológia*, 22, 1: 47–49.
- Bec D., Ciglencečki D., Dolšak Lavrič P., Gjerek M., Koleša T., Logar M., Matavž L., Murovec M., Rus M., Žabkar R. 2022. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2021. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Boonpeng C., Sangiamdee D., Noikrad S., Boonpragob K. 2023. Lichen biomonitoring of seasonal outdoor air quality at schools in an industrial city in Thailand. *Environmental Science and Pollution Research*, 30: 59909–59924. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26685-z>
- Boonpeng C., Sriviboon C., Polyiam W., Sangiamdee D., Watthana S., Boonpragob K. 2018. Assessing atmospheric pollution in a petrochemical industrial district using a lichen-air quality index (LiAQI). *Ecological Indicators*, 95: 589–594. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.012>
- Brunialti G., Frati L. 2014. Biomonitoring of nine elements by the lichen *Xanthoria parietina* in Adriatic Italy: a retrospective study over a 7-year time span. *The Science of The Total Environment*, 387, 1–3: 289–300.
- Carrillo W., Calva J., Benitez A. 2022. The Use of bryophytes, lichens and bromeliads for evaluating air and water pollution in an Andean City. *Forests*, 13, 1607. <https://doi.org/10.3390/f13101607>
- Cernat Popa M.M., Rusanescu C.A. 2023. The efficiency of lichens in air biomonitoring in Teleorman county. *Atmosphere*, 14, 1287. <https://doi.org/10.3390/atmos14081287>
- Das P., Joshi S., Rout J., Upreti D.K. 2013. Lichen diversity for environmental stress study: application of index of atmospheric purity (IAP) and mapping around a paper mill in Barak Valley, Assam, northeast India. *Tropical Ecology*, 54, 3: 355–364.
- de Sloover J., le Blanc F. 1968. Mapping of atmospheric pollution on the basis of lichen sensitivity. V: *Proceedings of Symposium on Recent Advances in Tropical Ecology*. Misra R., Gopal B. (ur.). Banaras Hindu University.
- Ellenberg H., Weber H. E., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulißen D. 1992. *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. (Scripta Geobotanica, 18). Göttingen, Erich Goltze.
- Gilbert O.L. 1986. Field evidence for an acid rain effect on lichens. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 40: 227–231.
- Giordani P. 2019. Lichen diversity and biomonitoring: a special issue. *Diversity*, 11, 9, 171. <https://doi.org/10.3390/d11090171>.
- Grube M., Batič F., Mayrhofer H. 1995. Contributions to the lichen flora of Slovenia I: Epiphytic lichens of the Snežnik area. *Herzogia*, 11: 189–196.
- Grube M., Mayrhofer H., Batič F. 1998. Contributions to the lichen flora of Slovenia III: Epiphytic lichens from Goteniški Snežnik and Krokar Area. *Herzogia*: 181–188.
- Hudopisk N., Ivartnik M., Pavlič H. 2015. Življenje s svincem – primerjava obremenjenosti otrok s svincem po conah in predlogi ukrepov za zmanjšanje izpostavljenosti. Nacionalni inštitut za javno zdravje, Elektronske novice s področja nalezljivih boleznih in okoljskega zdravja, 7: 22–29.
- Ivartnik M., Kovač N., Pavlič H., Simetinger M., Hudopisk N., Ferlin I., Hočevnar B. 2015. Visoke vsebnosti svinca v Zgornji Mežiški dolini. Nacionalni inštitut za javno zdravje, Elektronske novice s področja nalezljivih boleznih in okoljskega zdravja, 4: 33–38.
- Ivartnik M., Pavlič H., Hudopisk N., Simetinger M., Ploder J., Hrenič Š. 2017. Poročilo o izvajanju programa ukrepov za izboljšanje kakovosti okolja v Zgornji Mežiški dolini za leti 2016 in 2017. Nacionalni inštitut za javno zdravje, Območna enota Ravne.
- Jeran Z., Jacimovic R., Batic F., Mavsar R. 2002. Lichens as integrating air pollution monitors. *Environmental Pollution*, 120: 107–113.
- Jeran Z., Mrak T., Jačimovič 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*. Stuttgart, E. Ulmer.
- Kugonič N. 1998. Posnetek stanja onesnaženosti tal in rastlinskega materiala na območju Zgornje Mežiške doline. (Erico, DP-313/98). Velenje, ERICo Velenje.
- Ljubič Mlakar T., Kotnik J., Jeran Z., Vuk T., Mrak T., Fajon V. 2011. Biomonitoring with epiphytic lichens as a complementary method for the study of mercury contamination near a cement plant. *Environmental Monitoring Assessment*, 181: 225–241.
- 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.
- Mrak T., Mayrhofer H., Batič F. 2004. Contributions to the lichen flora of Slovenia XI : Lichens from the vicinity of Lake Bohinj (Julian Alps). *Herzogia*, 17: 107–127.
- 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*, 73, 2: 1785–1788. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.07.042>

- Nimis P., Scheidegger C., Wolsey P. 2002. Monitoring with lichens – monitoring lichens. Springer.
- Nylander W. 1866. Circa novum in studio *Lechenum criterium chemicum*. Flora (Jena), 49: 198–201.
- Odlok o območjih največje obremenjenosti okolja in o programu ukrepov za izboljšanje kakovosti okolja v Zgornji Mežiški dolini. 2007. Uradni list RS, št. 119/07 in 44/22 – ZVO-2.
- Oliveira M., Slezakova K., Delerue-Matos C., Pereira M.C., Morais S. 2019. Children environmental exposure to particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons and biomonitoring in school environments: a review on indoor and outdoor exposure levels, major sources and health impacts. *Ecological Indicators*, 124: 180–204. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.052>
- Osborne S., Uche O., Mitsakou C., Exley K., Dimitroulopoulou S. 2021. Air quality around schools: part I - a comprehensive literature review across high-income countries. *Environmental Research*, 196, 110817. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110817>
- Paoli L., Fačkovcova Z., Guttova A., Maccelli C., Krešanova K., Loppi S. 2019a. Evernia goes to school: bioaccumulation of heavy metals and photosynthetic performance in lichen transplants exposed indoors and outdoors in public and private environments. *Plants*, 8, 5, 125. <https://doi.org/10.3390/plants8050125>
- Paoli L., Maccelli C., Guarnieri M., Vannini A., Loppi S. 2019b. Lichens “travelling” in smokers’ cars are suitable biomonitors of indoor air quality. *Ecological Indicators*, 103: 576–580. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.058>
- Paoli L., Munzi S., Guttova A., Senko D., Sardella G., Loppi S. 2015. Lichens as suitable indicators of the biological effects of atmospheric pollutants around a municipal solid waste incinerator (S Italy). *Ecological Indicators*, 52: 362–370. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.018>
- Pavšič Mikuž P. 2005. Kovine in mikroelementi v mahovih in epifitskih lišajih na območju Slovenije: magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
- Perko D., Orožen Adamič M. 1998. Slovenija. Pokrajine in ljudje. Ljubljana, Mladinska knjiga.
- Pokorny B., Jelenko I., Kierdorf U., Kierdorf H. 2009. Roe deer antlers as historical bioindicators of lead pollution in the vicinity of a lead smelter, Slovenia. *Water Air Soil Pollution*, 203: 317–324.
- Poličnik H. 2011. Vpliv prometa na vrstno sestavo epifitskih lišajev. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 96: 13–22.
- Poličnik H. 2013. Uporaba epifitskih lišajev kot kazalnikov kakovosti zraka ob izbranih testnih odsekih cest v Sloveniji. *Acta Silvae et Ligni*, 101: 13–22. <https://doi.org/10.20315/ASetL.101.2>
- Poličnik H., Batič F. 2007. Ali stanje lišajske flore že kaže na spremembo kakovosti zraka v Šaleški dolini po izgradnji čistilnih naprav v termoelektrarni Šoštanj? *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 82: 15–23.
- Poličnik H., Batič F., Ribarič Lasnik C. 2004. Monitoring of short-term heavy metal deposition by accumulation in epiphytic lichens (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.). *Journal of Atmospheric Chemistry*, 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. *Environmental Pollution*, 151: 395–400.
- Poličnik H. 2008. Ugotavljanje onesnaženosti zraka s kartiranjem epifitskih lišajev in z analizo akumulacije težkih kovin: doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
- Protano C., Owczarek M., Antonucci A., Guidotti M., Vitali M. 2017. Assessing indoor air quality of school environments: transplanted lichen *Pseudovernia furfuracea* as a new tool for biomonitoring and bioaccumulation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 7. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6076-2>
- Prpić-Majić D. (ed.). 1996. Istraživanja olova, kadmija i cinka u dolini rijeke Meže. **Zagreb, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada.**
- Prügger J. 2005. Lišajska flora Snežnika in Javornikov = Die Flechtenflora des Sneznik und der Javorniki mit besonderer Berücksichtigung der epiphytischen Arten. Ljubljana, Gozdarski institut Slovenije, Silva Slovenica.
- Prügger J., Mayrhofer H., Batič F. 2000. Beiträge zur Flechtenflora von Slowenien IV: die Flechten des Trnovski gozd. *Herzogia*, 14: 113–143.
- Ribarič Lasnik C., Eržen I., Kugonic N., Pokorny B., Končnik D., Svetina M., Justin B., Druks P., Bole M., Rošar-Drev A., Vetrh M., Flis J., Kotnik K., Mavsar R., Pačnik L., Savinek K. 2002. Primerjalna študija onesnaženosti okolja v Zgornji Mežiški dolini med stanji v letih 1989 in 2001. Velenje, ERICo Velenje.
- Richardson D.H.S. 1988. Understanding the pollution sensitivity of lichens. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 96: 31–43.
- Riddell J., Jovan S., Padgett P.E., Sweat K. 2011. Tracking lichen community composition changes due to declining air quality over the last century: the Nash legacy in Southern California. *Bibliotheca Lichenologica*, 106: 263–277.
- Rosli N.S., Zulkifly S. 2022. Application of Index of Atmospheric Purity (IAP) along elevation gradients in Gunung Jerai, Kedah, Malaysia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 496. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10108-6>
- Sampe D.A.F., Awuy J.M.D., Mustikaning Sekar T.K., Wijaya S.F., Ananda A.Z., Marella D.T., Mahanaim Tampubolon P., Lestari R. 2020. Pilot study of air quality index assessment of nitrogen pollutant using lichen as bioindicators in Jakarta and Depok, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 211, 02014. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021102014>
- Špes M. 1998. Degradacija okolja kot dejavnik diferenciacije urbane krajine. (*Geographica Slovenica*, 30). Ljubljana, Inštitut za geografijo.
- Trinkaus P. 2001. Wiederbesiedlung weiter Bereiche des Grazer Stadtgebietes durch *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. *Joannea Botanik*, 2: 5–11.
- Van Dobben H.F., Wolterbeek H.T., 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.
- 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. Verein Deutscher Ingenieure.
- Vidregar – Gorjup N., Batič F., Mayrhofer H. 2002. Contributions to the lichen flora of Slovenia VII.: Epiphytic lichens from Zasavje. *Herzogia*, 15: 79–90.
- Weldon J., Grandin U. 2021. Weak recovery of epiphytic lichen communities in Sweden over 20 years of rapid air pollution decline. *Lichenologist* 53: 203–213. <https://doi.org/10.1017/S0024282921000037>
- 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.
- Wirth V. 1992. Zeigerwerte von Flechten. V: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Ellenberg H., Weber H.E., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulißen D. (*Scripta Geobotanica*, 18). Göttingen, Erich Goltze: 215–237.
- Wirth V. 1995a. Flechtenflora. Bestimmung und oekologische Kennzeichnung der Flechten Suedwestdeutschlands und angrenzender Gebiete. 2. Aufl. Stuttgart, Ulmer.
- Wirth V. 1995b. Die Flechten Baden-Württembergs, Teil 1 und 2. 2. Aufl. 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. 2006. Detecting changes in epiphytic lichen communities at sites affected by atmospheric ammonia from agricultural sources. *Lichenologist*, 38: 161–176.