

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

MAGISTRSKO DELO

**OCENJEVANJE KAKOVOSTI ZRAKA V MEŽIŠKI DOLINI Z
LIŠAJI KOT BIOINDIKATORJI**

TEJA STERŽE

VELENJE, 2022

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

MAGISTRSKO DELO

**OCENJEVANJE KAKOVOSTI ZRAKA V MEŽIŠKI DOLINI Z
LIŠAJI KOT BIOINDIKATORJI**

TEJA STERŽE

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentorica: doc. dr. Samar Al Sayegh Petkovšek

Somentorica: dr. Helena Poličnik

VELENJE, 2022

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O MAGISTRSKEM DELU

Študentka Visoke šole za varstvo okolja **Teja Sterže** lahko izdela magistrsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

Ocenjevanje kakovosti zraka v Mežiški dolini z lišaji kot bioindikatorji.

Naslov magistrskega dela v angleškem jeziku:

Assessment of air quality in the Mežica Valley with lichens as bioindicators.

Mentorica: **doc. dr. Samar Al Sayegh Petkovšek.**

Somentorica: **dr. Helena Poličnik.**

Magistrsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom.

Pouk o pravnem sredstvu: zoper ta sklep je dovoljena pritožba na Senat VŠVO v roku 8 delovnih dni od prejema sklepa.



prof. dr. Boštjan Pokorny
dekan





IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **Teja Sterže**, vpisna številka 34200042,

študentka podiplomskega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtor/ica magistrskega dela z naslovom **Ocenjevanje kakovosti zraka v Mežiški dolini z lišaji kot bioindikatorji**, ki sem ga izdelala pod mentorstvom doc. dr. Samar Al Sayegh Petkovšek in somentorstvom dr. Helene Poličnik.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili FVO;
- so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili FVO;
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na FVO;
- je magistrsko delo jezikovno korektno in da je delo lektoriral mag. Tadej Ian;
- dovoljujem objavo magistrskega dela v elektronski obliki na spletni strani FVO;
- sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

Datum: ____ . ____ . ____

Podpis avtorja/ice: _____

ZAHVALA

Zahvaljujem se staršem za vso podporo in izrečene vzpodbudne besede na moji študijski poti, saj brez vaju danes ne bi bila tu, kjer sem.

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Samar Al Sayegh Petkovšek in somentorici dr. Heleni Poličnik za vse nasvete, ves vložen trud, čas in vso novo znanje, ki sta mi ga predali.

Hvala tudi mag. Tadeju Ianu, za lektoriranje naloge.

"Kadar si radoveden, najdeš mnogo zanimivih stvari."

Walt Disney

IZVLEČEK

Človeške dejavnosti imajo na okolje številne negativne vplive. Poleg spreminjanja delovnega in bivalnega okolja lahko ogrožajo tudi naše zdravje. V Zgornji Mežiški dolini je rudarjenje v preteklosti močno preoblikovalo dolino in hkrati pustilo posledice tudi na zdravju ljudi in okolju, kar se kaže še danes. Za ugotavljanje kakovosti zraka izvajamo tudi biomonitoring z bioindikatorskimi organizmi, ki odražajo stanje v okolju. Pogosto uporabljen bioindikatorski organizem so lišaji, za katere je značilno, da začnejo v onesnaženih območjih propadati in izginjati, ocena stopnje propadanja ali odsotnosti je pokazatelj kakovosti zraka.

V nalogi sem preučevala kakovost zraka v Mežiški dolini. Z dvema metodama (slovensko - SI in nemško - VDI) sem popisala številčnost različnih vrst lišajev, pokrovnost osnovnih morfoloških skupin lišajev in izračunala indekse zračne čistosti, s katerimi sem ocenila kakovost zraka na 12 lokacijah v Mežiški dolini. V Spodnji Mežiški dolini sem popise epifitskih lišajev izvedla na Šteharskem vrhu, Navrškem vrhu, Preškem vrhu, Lešah v smeri Volinjaka, na Brinjevi gori, Holmecu in na območju Dolgih Brd. V Zgornji Mežiški dolini je bil popis opravljen na Lomu pri Mežici, Onkraj Meže, Podkraju pri Mežici, v Žerjavu, Ludranskem vrhu in na Pristavi.

Rezultati so pokazali, da je stanje med Spodnjo in Zgornjo Mežiško dolino primerljivo in da je kakovost zraka zelo dobra. Rezultati popisa po SI metodi so pokazali, da je zrak na vseh lokacijah srednje onesnažen; nekoliko slabše stanje je le na območju Holmeca. VDI metoda je pokazala, da je stanje najboljše na območju Loma, najslabše pa na lokaciji Holmec.

KLJUČNE BESEDE: lišaj, biomonitoring, bioindikatorski organizem, zrak, onesnaženje.

ABSTRACT

Human activities have many negative effects on the environment. In addition to their influence on the working and living environment, they can also threaten our health. In the Upper Mežiška Valley, mining in the past has greatly changed the valley and at the same time had consequences for the health of people and the environment, which are still felt today. To determine air quality, we perform biomonitoring with bioindicator organisms that reflect the state of the environment. A commonly used organisms for this purpose are lichens, which begin to decay and disappear in polluted areas. Based on this, we can conclude what the air quality is.

In the assignment, I studied the air quality in Mežiška Valley. Using two methods (SI and VDI), I recorded the abundance of different types of lichens, the coverage of the basic morphological groups of lichens, and calculated air purity indexes which I used to evaluate the air quality in 12 locations in the Mežiška Valley. In Lower Mežiška Valley, I carried out a species inventory on Šteharski vrh, Navrški vrh, Preški vrh, Leše in the direction of Volinjak, Brinjeva gora, and Holmec, as well as in the area of Dolga Brda. In the Upper Mežiška Valley, the inventory was carried out at Lom, Onkraj Meža, Podkraj at Mežica, Žerjav, Ludranski vrh, and Pristava.

The results showed that the situation between Lower and Upper Mežiška Valley is comparable and that the air quality is very good. The results of the inventory using the SI method showed that the air in all locations is moderately polluted. The situation is slightly worse only in the area of Holmec. The VDI method showed that the situation is the best in the Lom area and the worst in the Holmec location.

KEYWORDS: lichen, biomonitoring, bioindicator organism, air, pollution.

KAZALO VSEBINE

1. UVOD	1
1.1. Opredelitev problema	1
1.2. Namen in cilji	1
1.3. Metode dela	1
1.4. Hipoteze	2
2. LIŠAJI KOT BIOINDIKATORJI	3
2.1. Biologija lišajev	3
2.2. Vpliv onesnažil na lišaje	6
2.2.1. Žveplo	7
2.2.2. Dušik	7
2.2.3. Težke kovine	8
2.3. Lišaji kot bioindikatorji	9
2.3.1. Pasivni biomonitoring	10
2.3.2. Aktivni biomonitoring	11
2.3.3. Prednosti in slabosti bioindikacije z lišaji	11
2.4. Lišaji v Sloveniji	12
2.4.1. Vplivi na vrstno sestavo	13
3. MATERIALI IN METODE	15
3.1. Območje raziskave in opis lokacij	15
3.1.1. Naravnogeografske in klimatološke značilnosti	17
3.1.2. Onesnaženost Mežiške doline	18
3.2. Ocena kakovosti zraka s pomočjo popisa prisotnosti epifitskih lišajev	22
3.2.1. SI metoda	23
3.2.2. VDI metoda	25
3.3. Statistične metode	26
4. REZULTATI IN RAZPRAVA	27
4.1. Popis vrst epifitskih lišajev (VDI metoda) in indeksi toksitolerance	27
4.2. Ocena kakovosti zraka	31
4.2.1. Popis vrst epifitskih lišajev na prostostoječem drevju	31
4.2.2. Popis vrst epifitskih lišajev v gozdu	36
4.2.3. Primerjava SI in VDI metode	39
4.3. Statistična primerjava	43
4.4. Analiza hipotez	44
5. POVZETEK	48
6. SUMMARY	50
VIRI IN LITERATURA	52

KAZALO SLIK

Slika 1: Osnovni morfološki tipi lišajev in njihova zgradba glede na prečni prerez steljke.....	3
Slika 2: <i>Lecanora</i> sp.	4
Slika 3: <i>Usnea</i> sp.	5
Slika 4: Poenostavljen prikaz (eko)sistemskih povezav med onesnaževalom in posledicami za bioindikacijo in biomonitoring.....	9
Slika 5: Karta pokrovnosti epifitskih lišajev na vseh drevesnih vrstah v letu 2007.	13
Slika 6: <i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr.	14
Slika 7: Prikaz lokacij popisa lišajev.	15
Slika 8: Leše.	16
Slika 9: Onkraj Meže.	17
Slika 10: Območje nekdanjega rudnika danes.	19
Slika 11: Povprečne koncentracije težkih kovin v različnih obdobjih na merilnem mestu Žerjav in v letu 2010 na ostalih merilnih mestih po Sloveniji. Z rdečo črto so na grafih prikazane ciljne letne vrednosti.	20
Slika 12: Delež vzorcev krvi triletnih otrok Zgornje Mežiške doline glede na vsebnost svinca (ciljna mejna vrednost programa je 100 µg/l krvi), 2004–2021).....	21
Slika 13: Barvna lestvica zračnih indeksov po VDI metodi.	25
Slika 14: Vzorčevalna mrežica za popis po VDI metodi.	26
Slika 15: <i>Candelariella xanthostigma</i> (Ach.) Lettau.	28
Slika 16: <i>Physcia adscendens</i> (Fr.) Oliv. (siv).	28
Slika 17: <i>Ramalina</i> sp.	29
Slika 18: <i>Parmelia sulcata</i> Taylor.	29
Slika 19: <i>Lecanora</i> sp.	30
Slika 20: Šteharski vrh.....	37
Slika 21: Lišajska obrast na Šteharskem vrhu v gozdu.....	37
Slika 22: Ludranski vrh	42
Slika 23: Žerjav.	42
Slika 24: Bogata lišajska obrast na Ludranskem vrhu.	45
Slika 25: Podkraj pri Mežici.	46
Slika 26: <i>Bryoria fuscescens</i> (Gyelnik) Brodo & D. Hawksw.	46
Slika 27: Navrški vrh.	47

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Lokacije popisov epifitskih lišajev in njihove nadmorske višine.	23
Preglednica 2: Izračun IAP lokacije po VDI metodi.	25
Preglednica 3: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev po VDI metodi.	27
Preglednica 4: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Štebarski vrh – popis prostostojećih dreves.	31
Preglednica 5: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Preški vrh – popis prostostojećih dreves.	31
Preglednica 6: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Navrški vrh – popis prostostojećih dreves.	32
Preglednica 7: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Leše – popis prostostojećih dreves.	32
Preglednica 8: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Holmec – popis prostostojećih dreves.	32
Preglednica 9: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Brinjeva gora – popis prostostojećih dreves.	33
Preglednica 10: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Onkraj Meže – popis prostostojećih dreves.	33
Preglednica 11: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Lom – popis prostostojećih dreves.	34
Preglednica 12: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Podkraj pri Mežici – popis prostostojećih dreves.	34
Preglednica 13: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Ludranski vrh – popis prostostojećih dreves.	35
Preglednica 14: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Žerjav – popis prostostojećih dreves.	35
Preglednica 15: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Pristava – popis prostostojećih dreves.	36
Preglednica 16: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Štebarski vrh v gozdu.	38
Preglednica 17: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Brinjeva gora v gozdu.	38
Preglednica 18: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Podkraj pri Mežici v gozdu.	38
Preglednica 19: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Ludranski vrh v gozdu.	38
Preglednica 20: Primerjava onesnaženosti posameznih lokacij v gozdu VDI metodi.	39
Preglednica 21: Indeksi zračne čistosti po SI metodi po posameznih lokacijah.	40
Preglednica 22: Indeksi zračne čistosti po VDI metodi po posameznih lokacijah.	40
Preglednica 23: Primerjava razredov onesnaženosti posameznih lokacij po SI in VDI metodi.	40
Preglednica 24: Statistična primerjava Zgornje s Spodnjo Mežiško dolino.	43

KAZALO PRILOG

PRILOGA 1: Seznam identificiranih epifitskih lišajev na posameznih lokacijah.	1
--	---

1. UVOD

1.1. Opredelitev problema

Človeške dejavnosti, kot so na primer industrija, promet, kmetijstvo in ostale gospodarske panoge, imajo na okolje številne negativne učinke in hkrati zelo spreminjajo tudi naše delovno in bivalno okolje, kar lahko ogroža naše zdravje. Dober primer je spreminjanje okolja v Zgornji Mežiški dolini zaradi rudarjenja. Močno razvita rudarska panoga v preteklosti in industrija pridobivanja svinca ter reciklaža odpadnih akumulacij danes še vedno vplivata na kakovosti okolja in zdravja.

Onesnaženje zraka lahko uvrstimo med najpomembnejše in najnevarnejše dejavnike, ki vplivajo na naše zdravje in se jim skoraj ni mogoče izogniti. Z najslabšo kakovostjo zraka se srečujemo predvsem v velikih mestih, kjer je so koncentracije onesnažil povečane predvsem zaradi industrijske dejavnosti, prometa, kurišč ali drugih antropogenih dejavnosti (NIJZ, 2021).

Eden izmed ukrepov za preprečevanje zračnega onesnaževanja je monitoring, s katerim ugotavljamo vrste in koncentracije posameznih onesnažil skozi njihovo prostorsko in časovno razširjenost. Vedno bolj pogosta je uporaba biomonitoringa z bioindikatorskimi organizmi, ki s svojim uspevanjem na nekem območju odražajo vsebnosti in delovanje posameznega onesnažila v okolju. Med takšne organizme sodijo tudi epifitski lišaji, s katerimi lahko izvajamo pasivni ali aktivni biomonitoring onesnaženega zraka (Poličnik, 2008).

1.2. Namen in cilji

Namen naloge je bil 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. Z uporabo lišajev in izračunom indeksov zračne čistosti (IAP) sem določila kakovost zraka na posameznih lokacijah v Zgornji in Spodnji Mežiški dolini.

Cilj naloge je bil ugotoviti kakšna je kakovost zraka v Zgornji in Spodnji Mežiški dolini in, če se kakovost zraka med posameznimi lokacijami razlikuje.

1.3. Metode dela

Najprej sem za zbiranje teoretičnih podatkov uporabila analizo in opisno metodo, s katerima sem opisala problem in poglobila znanje o uporabnosti lišajev za bioindikacijo onesnaženega zraka.

Uporabljena je bila terenska eksperimentalna metoda. Na vseh izbranih lokacijah sem uporabila SI oz. slovensko metodo, s katero popisujemo številčnost in pokrovnost treh osnovnih morfoloških skupin epifitskih lišajev (listasti, grmičasti in skorjasti), na podlagi katerih spremljamo kakovost zraka in nemško VDI metodo, ki temelji na prisotnosti izbranih vrst epifitskih lišajev.

Za obdelavo podatkov je bila uporabljena analizna metoda, s katero sem iz zbranih podatkov poskušala ugotoviti, kakšna je kakovost zraka na posameznih lokacijah oz. delih doline in kaj je vzrok za to. To sem poskušala ugotoviti na podlagi znanih informacij, kateri dejavniki vplivajo na kakovost zraka na posameznih lokacijah oz. ali je na tistem območju prisotna kakršnakoli vrsta dejavnosti, ki bi na to lahko vplivala (npr. industrija, promet ...).

S pomočjo literature (Wirth, 1997) sem na osnovi rezultatov popisa prisotnih vrst z VDI metodo določila tudi povprečne indekse toksitolerance lišajev za posamezno lokacijo in s tem ugotovila, ali se na obravnavanem območju pojavljajo proti onesnaženju bolj odporne ali neodporne vrste.

S pomočjo programa SPSS sem za podatke, pridobljene po VDI metodi, opravila tudi statistično analizo ANOVA in preverila, ali se stanje v Zgornji Mežiški dolini v primerjavi s Spodnjo Mežiško dolino statistično razlikuje.

1.4. Hipoteze

Hipoteze, ki sem jih raziskala v nalogi:

- V Zgornji Mežiški dolini najdemo manj vrst lišajev, kar kaže na slabšo kakovost zraka v primerjavi s Spodnjo Mežiško dolino.
- Grmičaste lišaje najdemo na večini lokacij.
- Kakovost zraka v občini Ravne na Koroškem je najboljša na Šteharskem vrhu, najslabša pa na Navrškem vrhu.

2. LIŠAJI KOT BIOINDIKATORJI

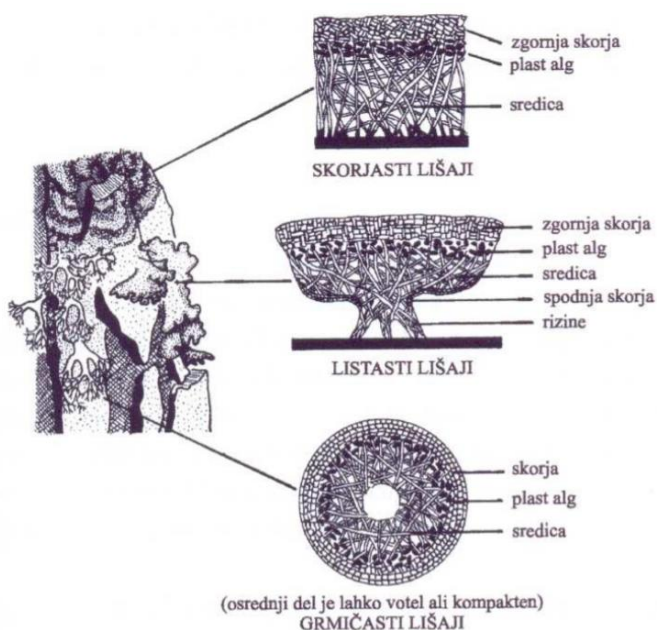
2.1. Biologija lišajev

Lišaji spadajo med steljčnice, ki jih sestavljata heterotrof in avtotrof, ki med seboj pa živita v simbiozi. Poznamo več kot 13.500 vrst lišajev (Pavšič Mikuz, 2005 po Wolterbeek s sod., 2003).

Zgrajeni so iz enega glavnega partnerja in enega ali več fotosintetskih partnerjev, ki je lahko zelena alga ali cianobakterija (Maguš, 2012 po Poličnik, 2008). Heterotrof ali tudi mikrobiont predstavlja 93 % lišaja in je gliva. Avtotrof ali fotobiont pa predstavlja 7 % lišaja in je najpogostejše zelena alga. Gliva in alga torej skupaj tvorita telo lišaja, ki ga imenujemo steljka, katere oblika je običajno odvisna predvsem od glive. Alga s procesom fotosinteze proizvaja organske snovi, s katerimi prehranjuje heterotrofno glivo. Gliva pa algi iz okolja črpa vodo in mineralne snovi ter ji nudi fizično zaščito; prav tako jo s pigmentnimi celicami, ki delujejo kot filter, varuje pred močno svetlobo (Pavšič Mikuz, 2005 po Ahmadjian, 1993).

Te lastnosti lišajem omogočajo prilagoditev na skrajne razmere in naseljevanje veliko več raznolikih habitatov, kot bi jih lahko naselili gliva ali alga sami (Kolenc, 2012 po Jovan, 2008). Razširjeni so po vsej zemeljski skorji, tudi v polarnih območjih, kjer ne najdemo drugega rastlinstva; pokrivajo velike površine, ki jim pravimo tundre. Tudi v gorah segajo mnogo višje kot druge rastline; na skalnih predelih jih razjedajo in pripravljajo tla za bolj razvite rastline (Detela in Tomažič, 1947).

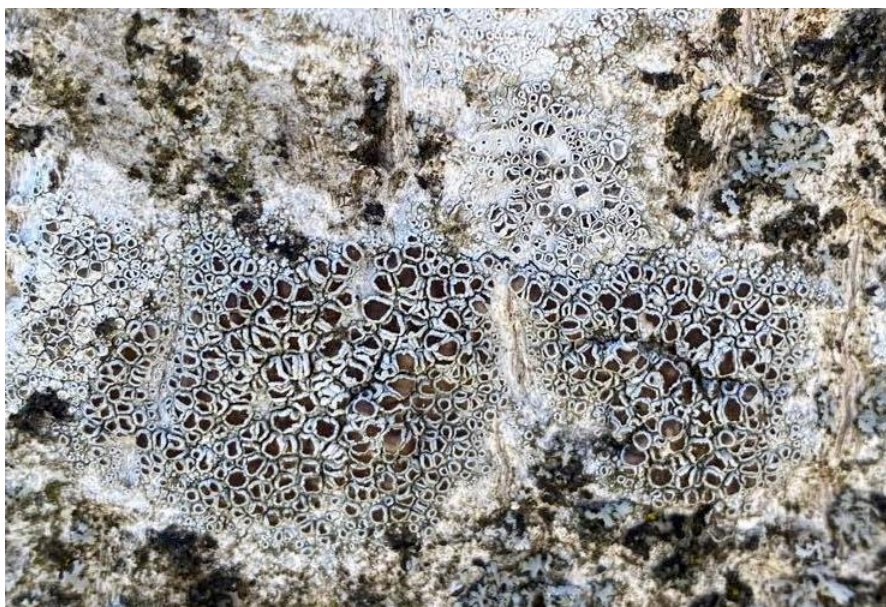
Delimo jih lahko glede na podlago, na kateri rastejo, ali glede na njihovo rastno obliko. Glede na podlago jih delimo na terestrične, ki jih najdemo na tleh, epilitske, ki jih najdemo na skalah in kamenju, ter epifitske, ki naseljujejo drevesa in grmovje. Po obliki (slika 1) jih delimo na skorjaste, listaste in grmičaste (Kolenc, 2012 po Blett in sod., 2003).



Slika 1: Osnovni morfološki tipi lišajev in njihova zgradba glede na prečni prerez steljke (vir: Pavšič Mikuž, 2005; po Ahmadjian, 1993).

Skorjasti lišaji

Skorjasti lišaj imajo steljko popolnoma pritrjeno na podlago in se zato pojavljajo kot lise (slika 2) različnih barv, na primer sive, bele, sivo-zelene, rjavo-zelene, rumeno-zelene. Za njihovo proučevanje običajno potrebujemo povečevalno steklo ali mikroskop. Zaradi najmanjše površine steljke, ki je posledično tudi najmanj izpostavljena zraku, je ta skupina lišajev tudi najmanj občutljiva na onesnažen zrak (Rudolf, 2014 po FITO-INFO, 2013).



Slika 2: *Lecanora* sp. (foto: T. Sterže, 2022).

Listasti lišaji

Steljka listastih lišajev je zeli podobna listu. Ker so na skorjo pritrjeni s rizinami (koreninam podobna tvorba), jih lahko s podlage (za razliko od skorjastih) brez težav odluščimo. Barva steljk je podobna kot pri skorjastih lišajih (rumena, siva, sivo-zelena, rjava, črna ...). Zaradi velikosti steljke, ki je med grmičastimi in skorjastimi, je njihova občutljivost na onesnažen zrak srednje velika (Rudolf, 2014 po FITO-INFO, 2013). Za to skupino je značilna tudi velika razlika v velikosti in velika vrstna pestrost lišajev. Steljka je običajno na robu narezana, krpata oz. razdeljena (Poličnik, 2008).

Grmičasti lišaji

Steljke vedno štrlijo stran od podlage (slika 3) in so lasaste, jermenaste, grmičaste, ploščate ali cilindrične oblike. Zaradi velikega razmerja med površino in volumnom je za njih značilno hitro sušenje in močenje (Poličnik, 2008). Ker je steljka velika in zato najbolj izpostavljena zraku, je ta skupina tudi najbolj občutljiva na onesnažen zrak. Značilne barve so rumena, siva, zelena, sivo-rjava in črna (Rudolf, 2014 po FITO-INFO, 2013).

Zaradi svojih lastnosti so za proučevanje vpliva onesnaženega zraka najbolj primerni epifitski lišaji, medtem ko sta ostali dve skupini bolj primerni za proučevanje elementov in kemikalij iz podlage, čeprav si morfološke in fiziološke karakteristike delita z epifitskimi vrstami. Lišaji so

dolgožive trajnice, ki imajo preprosto zgradbo, rastejo počasi in ohranjajo nespremenjeno morfologijo skozi čas. Zato so tudi zelo pogosti organizmi, ki jih najdemo na skoraj vseh območjih, razen morskih. Ker nimajo razvite povrhnjice in drugih organov, kot so listi, korenine ali deblo, lahko rečemo, da gre za adaptacijo, ki jim je omogočila pridobivanje hranil preko padavin in drugih virov iz ozračja. Ravno zaradi teh lastnosti so tudi dobri pokazatelji stanja zračnih onesnažil, saj jim omogočajo dobro absorpcijo neposredno iz zraka preko celotne površine telesa (Kolenc, 2012 po Blett in sod., 2003; Conti in Cecchetti, 2001; Batič in Mayrhofer, 1996).

V steljki lišaja se izvajajo pomembni metabolni procesi, kot so dihanje, fotosinteza in pri vrstah, kjer najdemo cianobakterije v vlogi fotobionta, še fiksacija dušika. Lišaji so prilagojeni na različne razmere glede svetlobe, temperature, vode in tudi dolžine dneva. Najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na njihovo rast, je voda, zato je tudi njihova rast najhitrejša ob padavinah, taljenju snega in ob oblačnih dnevih. Nujno potrebna je tudi izmenjava ciklov vlaženja in izsuševanja ter svetlobe in teme. Majhna vsebnost vode zavira dihanje glive, kar v kombinaciji s svetlobo omogoča rast fotobionta – alge. Lišaji so tolerantne vrste, zato ekstremne temperature, ki sicer lahko poškodujejo osnovne metabolne procese, ne pomenijo nujno propada steljke. Nekatere vrste se tudi zelo hitro prilagajajo na majhne ali visoke intenzitete svetlobe (Maguš, 2012 po Poličnik, 2008). Razlikujejo se tudi po tem, na kakšni podlagi rastejo, saj so odvisni predvsem od strukture in pH podlage (Rudolf, 2014 po Poličnik, 2010).

Takoj ko se steljka lišaja izsuši, nastopi stanje mirovanja, ki pa se lahko obudi v nekaj minutah. Razmnoževanje poteka pri glivah na spolni način, pri algah pa nespolno. Za razširjanje lišaja je bistveno vegetativno razmnoževanje – z odlomljenimi delci skupne steljke ali pa s tvorbo majhnih skupkov glive in njenega fotosintetskega partnerja, ki jih razširjajo veter, voda in majhne živali. Na osnovi fosilnih ostankov lahko sklepamo, da so se lišaji pojavili dokaj pozno, nekje pred začetkom novega zemeljskega veka (Mastnak, 2007).



Slika 3: *Usnea* sp. (foto: T. Sterže, 2022).

2.2. Vpliv onesnažil na lišaje

Lišaji so najbolj ogroženi zaradi onesnaženega zraka, pri čemer so v preteklosti največje težave predstavljale žveplove spojine, predvsem žveplov dioksid. Zaradi tega je še danes posledica obubožana epifitska lišajska flora v okolici večjih mest, termoelektrarn in starih industrijskih središč. Čeprav so izboljšanje tehnologij in sanacije večjih termoelektričnih objektov občutno zmanjšale emisije teh spojin, pa v zadnjih desetletjih naraščajo promet in izpusti številnih organskih spojin iz industrije, ki prav tako onesnažujejo ozračje, tla in vode. Na uspevanje lišajev še vedno vplivajo tudi dušikove spojine in ostanki biocidov iz kmetijske dejavnosti; prav tako ne smemo zanemariti škodljivih snovi, ki jih na naša območja prinašajo zračni tokovi in padavine, zlasti iz zahoda (npr. Italija). Zato so najbolj prizadeti lišaji na območju Snežnika, Trnovskega gozda in zgornjega Posočja, kar dokazuje tudi kartiranje na teh območjih. Poleg onesnaženega zraka pa se vpliv na lišajsko florijo kaže tudi s spremenjenimi načini rabe tal, pri čemer lahko izpostavimo predvsem uporabo kemičnih izdelkov v kmetijstvu, ki povzroča evtrofikacijo z mineralnimi in naravnimi gnojili in uporabo biocidov (Agencija RS za okolje, 2001).

Eden izmed prvih ukrepov v boju za čistejši zrak so bile kemijske meritve onesnaževalcev v zraku. Ker pa so takšne meritve vseh onesnaževalcev sorazmerno drage in skoraj neizvedljive, predvsem pa ne na zadostnem številu mest in dovolj visokemu številu ponovitev, so v svetu začeli iskati oz. gojiti organizme, ki s svojim videzom in uspevanjem odražajo delovanje posameznih onesnažil v zraku, tleh ali vodi. Takšnim organizmom pravimo bioindikatorji, med katere sodijo tudi lišaji (Batič, 1995 po ARNDT, 1987).

Elementi lahko vstopajo v notranjost lišajske steljke skozi površino v obliki mokrega ali suhega useda iz zraka, lahko pa prehajajo tudi s spiranjem s površine listov, debel in vej ali pa neposredno iz podlage. Sprejem delcev je odvisen od zgradbe steljke, njene površine in njene vlažnosti. Pomembno vlogo imajo tudi velikost delcev, kemijska oblika elementa, klimatske razmere (pH, veter, padavine), vrsta lišaja, njegova starost itd. (Poličnik, 2008 po Piervittori in sod., 1997; Sloof, 1993; Knops in sod., 1991; Nash, 1989).

Onesnaženje lahko na lišaje vpliva z motnjami v procesih, ki potekajo v njih, in s poškodbami lišajev. Med znanimi so vplivi na reprodukcijski potencial rast, zgradbo, fotosintezo ... (Poličnik, 2008 po Nash, 1996).

Ker lišaji rastejo mnogo počasneje kot druge višje razvite rastline, se sprememba v rasti steljke za ugotavljanje onesnaženosti zraka uporablja bolj redko. Večje razlike se zato pojavljajo v zgradbi lišajev, saj onesnažila povzročajo obledelost ali potemnelost steljke. Ostale spremembe v zgradbi lišajev so vrstno specifične (Poličnik, 2008 po Michailova in Scheidegger, 2001).

Za lišaje je značilno, da začnejo v onesnaženih območjih propadati in izginjati. Kot že omenjeno, so proti onesnaženju zraka zaradi največje površine steljke najbolj občutljivi grmičasti lišaji, zaradi česar v takšnih okoljih tudi najprej izginejo. V bolj onesnaženih območjih zato najdemo skorjaste, ki so najmanj občutljivi, ter listaste, ki so srednje občutljivi. Na podlagi prisotnosti vrst, ki rastejo na določenih območjih, lahko tudi sklepamo, kakšna je kakovost zraka. Večja pestrost in večja številčnost posamezne vrste načeloma pomeni bolj čist zrak. Na območjih, kjer je onesnaženost zelo velika, lišajev ne najdemo več; takrat govorimo o lišajski praznini (Šalej in sod., 2005).

Na podlagi že opravljenih študij lahko ugotovimo, da se jih večina osredotoča na žveplov dioksid (SO_2) in dušikove okside (NO_x), vendar lahko bioindikacijo z lišaji uporabljamo tudi za določevanje prisotnosti številnih drugih onesnažil, med katere sodijo na primer fluoridi, kovine, fosfor, radionuklidi, ozon, dioksini in druge organske zmesi (Kolenc, 2012 po Freitas in sod., 2011; Lisowska, 2011; Poličnik, 2008; van Dobben in sod., 2001). Nekatere vrste lišajev so se izkazale tudi kot učinkoviti bioindikatorji evtrofikacije oz. onesnaženja z naravnimi in mineralnimi gnojili, ki pridejo v ozračje predvsem iz kmetijskih dejavnosti (Kolenc, 2012 po Batič in Kralj, 1995).

2.2.1. Žveplo

Veliko raziskav v zadnjih desetletjih je bilo usmerjenih v proučevanje delovanja SO_2 in njegovih učinkov na lišaje, saj sodijo SO_2 , sulfit in sulfat med nekatere najbolj škodljivih onesnažil in glavnih onesnaževalcev, kar se je izkazalo tudi z izginjanjem lišajev v mestih in industrijskih conah (Kolenc, 2012 po Freitas in sod., 2011; Lisowska, 2011; Poličnik, 2008; Giordani, 2007).

V zadnjih tridesetih letih je bilo opravljenih več raziskav, ki so preučevale delovanje SO_2 in njegovih produktov na lišaje. Ugotovljeno je bilo, da vplivajo inhibitorno na fiksacijo dušika, na poškodbe celičnih membran, izmenjavo hranil, na koncentracije klorofila, zmanjšanje fotosinteze in respiracije, kar pa vodi do razbarvanja in smrti alge. Nekatere odpornejše vrste sicer tolerirajo tudi območja z višjimi koncentracijami, vendar lahko kljub temu pride do sprememb v notranji ali zunanji morfologiji (Kolenc, 2012 po Batič in sod., 2011; Freitas in sod., 2011; Blett in sod., 2003; Conti in Cecchetti, 2001).

2.2.2. Dušik

V zadnjih desetletjih so večji del zračnih usedlin poleg SO_2 povzročale tudi emisije NO_x , ki nastajajo pri izgorevanju fosilnih goriv in biomase ter v industrijskih in kmetijskih procesih. Zračne usedline so pomemben vir makro in mikrohranil za gozdne ekosisteme; hkrati lahko prevelik vnos le-teh v obliki anorganskega dušika povzroči evtrofikacijo vodnih ali kopenskih ekosistemov. Vsebnosti dušikovega dioksida v zraku so običajno precej manjše v gozdovih zunaj urbanih središč in se povečujejo v smeri urbanih gozdov (Vilhar in sod., 2017).

Nekatere vrste lišajev vežejo več oblik dušika, medtem ko ga druge vrste sploh ne vežejo. Vsebnost le-tega je odvisna od oddaljenosti od vira onesnaževanja. Možne neposredne reakcije na povečano odlaganje dušika so vrstno specifične; kažejo se v pospešeni rasti, zmanjšanju pokrovnosti in nekrozah. Evtrofikacija nekega območja lahko posredno vpliva tudi na razširjenost lišajev. V prej oligotrofnem okolju nato začnejo uspevati višje rastline, ki s svojo pospešeno rastjo vedno bolj zmanjšujejo dostop svetlobe, vetra in izmenjave zraka blizu tal; hkrati so podlaga za nekatere vrste lišajev. Naraščanje vlage in senca predstavljata ugodne razmere za rast rastlin, s katerimi se počasi rastoči lišaji ne morejo kosati (Maguš, 2012 po Franzen-Reuter in Frahm, 2007; Vagts in sod., 1994).

»Dušik lahko na lišaje vpliva posredno s spreminjanjem pH lubja ali neposredno s poseganjem v fiziološke lastnosti. Lišaji se ne odzivajo vedno neposredno na koncentracije

dušika v zraku, ampak na zvišan pH lubja, ki je posledica prisotnosti amonijaka (NH_3) v okolju. Zvišanje pH lubja je značilno za amonijak, medtem ko je za dušikovo kislino (HNO_3) značilno znižanje pH (Conti in Cecchetti, 2001; Jovan, 2008).« (Kolenc, 2012).

Različne oblike dušika imajo različne vire. Amonijak običajno izhaja iz podeželja, medtem ko so glavni viri dušikovih oksidov urbana območja. Prisotnost teh se lahko kaže tudi v povečani koncentraciji klorofila $a + b$, kar lahko posledično povzroči tudi rast oz. naselitev nekaterih dušikoljubnih vrst lišajev; s tem vpliva na sestavo lišajske združbe in povzroči propadanje steljk (Kolenc, 2012 po Poličnik in sod., 2010; Berryman in sod., 2009; Conti in Cecchetti, 2001).

V povezavi s kislimi padavinami je bila opravljena tudi študija vpliva z dušikovimi spojinami onesnaženega zraka na lišaje, kjer je bilo ugotovljeno, da imata glavno vlogo pri pojavljanju vrst NH_4^+ in NO_3^- , kjer je pomemben vir dušikovih spojin promet (Poličnik, 2013).

2.2.3. Težke kovine

Ena izmed tipičnih lastnosti lišajev je tudi ta, da se v njih kopičijo večje količine težkih kovin, ki lahko vanje prehajajo preko suhega (prah) ali mokrega useda (dež, sneg, megla), zato jih uporabljamo tudi kot kazalnike onesnaženosti zraka s težkimi kovinami (Nash, 1996).

Vsebnost kovin v lišajih je odvisna od številnih dejavnikov: koncentracije v zraku, sposobnosti privzema lišajev, sposobnostjo zadrževanja onesnažil, klimatskih razmer (padavine, veter), starosti, kroženja elementov v naravi itd. (Pavšič Mikuž, 2005 po Zechmeister in sod., 2003; Puckett, 1988).

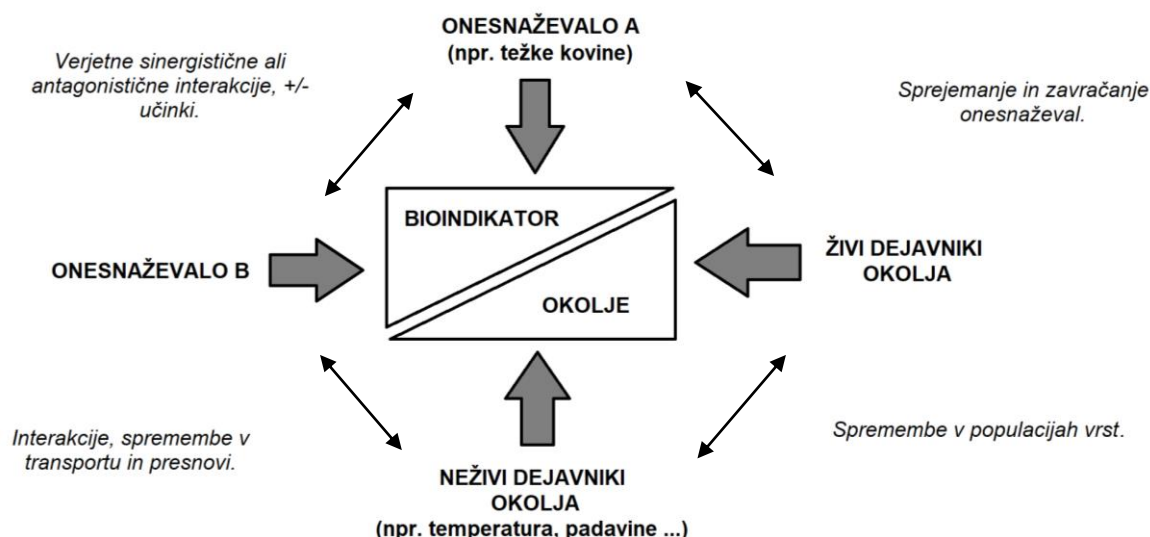
Starejši deli lišajskih steljk imajo večjo kapaciteto za izmenjavo kationov, zato so tudi vsebnosti težkih kovin v lišajih največje pri starejših delih. Prevzem težkih kovin je odvisen tudi od pH padavin in temperature zraka. Topnost težkih kovin narašča s padanjem pH, zato je prevzem v alge lišaja hitrejši; pri pH je 7, v glive pa pri pH je 5 (Pavšič Mikuž, 2005 po Zechmeister in sod., 2003; Brown, 1991; Folkenson, 1978).

»Prisotnost težkih kovin v okolju zmanjša številnost lišajev, osiromaši njihovo vrstno sestavo in povzroča morfološke spremembe steljk ali celo njihov propad. V odvisnosti od koncentracije in trajanja izpostavitve težke kovine povečajo propustnost celinih membran za kalijeve ione, zavirajo dihanje in vplivajo na hitrost vezave dušika (Tyler, 1989).« (Pavšič Mikuž, 2005).

Na metabolizem lišaja lahko vplivajo samo elementi, ki pridejo v notranjost celice. Manjše vrednosti lahko vplivajo le na fiziološki ali biokemični ravni – transpiracija, respiracija, fotosinteza brez vidnih simptomov. Večje vsebnosti kovin lahko povzročijo zmanjšanje rasti, vsebnosti klorofila in kot kloroze (Pavšič Mikuž, 2005 po Wolterbeek s sod., 2003).

2.3. Lišaji kot bioindikatorji

Okoljski onesnaževalci lahko prizadenejo biološke sisteme na različnih ravneh, od posameznih celic, organov, organizmov, populacije in do celotnega ekosistema. Občutljivost nekega organizma na posamezno snov se izkaže z morfološkimi ali fiziološkimi odzivi oz. spremembami vrst v nekem okolju, kjer živijo. Informacije o občutljivosti in specifičnosti vrst nam omogočajo ocenjevanje in načrtovanje spremljanja prisotnosti snovi v okolju (Markert in sod. 2003 po Wagner, 1992).



Slika 4: Poenostavljen prikaz (eko)sistemskih povezav med onesnaževalom in posledicami za bioindikacijo in biomonitoring (prilagojeno po Markert in sod., 2003, Markert, 1996).

Slika 4 prikazuje, kako onesnaževalo vpliva na organizem (bioindikator). Tako organizem kot onesnaževalec tesno sodelujeta tudi z drugimi deli ekosistema. Na življenjsko aktivnost organizma oz. bioindikatorja vplivajo številni biotski (živi) in abiotski (neživi) dejavniki, ki so izpostavljeni delovanju različnih onesnaževal v okolju. Onesnaževalo A lahko vpliva tudi na druge biotske dejavnike ekosistema, ki so lahko nanj odzovejo z večjo občutljivostjo kot bioindikator sam. Če se občutljivost odraža v spremembi gostote populacije bolj občutljivega organizma, lahko vpliva tudi na pojavnost bioindikatorskega organizma. Tu se pojavi vprašanje, ali lahko stanje nekega ekosistema ocenjujemo na podlagi enega samega bioindikatorskega organizma (Markert in sod., 2003 po Markert, 1996).

Bioindikacija je analiza oz. spremljanja stanja okolja s pomočjo živih sistemov (bioindikatorjev) – od organizma do celotnega ekosistema, s katero lahko ocenjujemo kakovost okolja in potencialne nevarnosti v nekem ekosistemu. V splošnem so bioindikatorji primerni organizmi ali skupine organizmov za kvalitativno ali kvantitativno ugotavljanje stanja okolja. Takšni organizmi naj bi se odzvali že v zgodnjih stopnjah njihove izpostavljenosti, kar bi nam omogočilo določanje pomembnih preventivnih ukrepov na posameznih onesnaženih območjih (Fränze, 2003).

V splošnem bioindikatorje delimo na odzivne ali reakcijske in akumulacijske. Prvi se na fizični ali kemični stres v okolju odzivajo relativno hitro in opazno, kar pomeni, da gre za sisteme z nizkim prilagodljivim potencialom. Ravno nasprotno pa je pri akumulacijskih bioindikatorjih, ki

morajo imeti zelo veliko odpornost proti okoljskim obremenitvam, kar jim posledično omogoča kopičenje in izločanje potencialno strupenih snovi brez poškodb (Fränzle, 2003).

Delimo jih tudi na pasivne in aktivne. Pasivni so tisti, ki so v okolju že prisotni, in na aktivne, ki jih v proučevano okolje prinesemo za namene študij. Od rastlinskih vrst se najpogosteje uporabljajo lišaji, mahovi, glive, smreke ali kar gozdni ekosistem kot celota. Uporabljamo lahko tudi živalske vrste, kjer se pogosto uporablja srnjad (*Capreolus capreolus*) (Jelenko, 2011; Jelenko in Pokorny, 2011; Pokorny in sod., 2004; Pokorny 2003). Če poenostavimo, aktivna bioindikacija vključuje namerno izpostavljenost gojenih organizmov, celic, ali organov za določeno časovno obdobje (Fränzle, 2003).

Ena izmed najstarejših in zelo pogosto uporabljenih bioindikatorskih vrst so tudi lišaji, ki jih obravnavamo oz. analiziramo glede na njihovo morfologijo, histologijo, ekologijo in fiziologijo v kratkoročnih in dolgoročnih obdobjih. Njihovo biološko učinkovitost največkrat ocenjujemo z merjenjem stopnje rasti, produktivnosti in reproduktivnosti, deformacij, razbarvanj, vsebnosti klorofila, geografskega pojavljanja, dihalne aktivnosti itd. (Wolterbeek in sod., 2003).

Ena izmed najstarejših metod bioindikacije onesnaženosti kopenskih ekosistemov, je ugotavljanje onesnaženosti z epifitskimi lišaji (Batič, 1995 po Hawksworth in Rose, 1976; Ferry, 1973; Skye, 1968).

Uporabnost lišajev kot kazalcev kakovosti zraka je lahko zelo različna, zato veljajo predvsem za splošne kazalce dolgotrajne onesnaženosti z žveplovim dioksidom, prahom in fluoridi. Dokazana je tudi njihova uporaba kot akumulatorji težkih kovin in radioaktivnih onesnaževalcev zraka; prav tako so se nekatere vrste izkazale kot dobri bioindikatorji evtrofikacije oz. onesnaženja z naravnimi in mineralnimi gnojili, ki jih v ozračje spušča kmetijska dejavnost (Batič, 1995 po Jeran in sod., 1994; Sochting, 1991; Marti, 1985; Hawksworth in Rose, 1976; Ferry, 1973; Skye, 1968).

Takšna metoda bioindikacije je zelo uporabna tudi v odročnih območjih, kjer je to pogosto zaradi manjkajoče infrastrukture tudi edina izvedljiva tehnika za spremljanje stanja okolja (Batič in sod., 2011).

2.3.1. Pasivni biomonitoring

Pri pasivnem monitoringu raziskujemo v okolju že prisotne organizme. Zelo pogoste so raziskave onesnaženosti zraka s težkimi kovinami v lišajih. Takšen biomonitoring poteka na obsežnejših območjih, katerih onesnaženost ugotavljamo. Glavna povzročitelja onesnaženosti zraka sta industrija in promet. Z analizo vsebnosti težkih kovin v lišajih, ki so na območju raziskovanja, lahko na podlagi vsebnosti le-teh sklepamo, katera dejavnost na obravnavanem območju največ prispeva k onesnaženosti (Poličnik, 2008).

Takšen pasivni biomonitoring je bil opravljen tudi v Sloveniji na nacionalni ravni, kjer je bilo ugotovljeno, da je največji vnos kovin v okolje v osrednje-severni Sloveniji, na Bovškem, Goriškem in v jugovzhodni Sloveniji. Ugotovljeno je bilo, da vsebnosti elementov nimajo direktnega negativnega vpliva na diverziteto lišajev, namenjeni pa so za določevanje najverjetnejših virov onesnaževanja (Poličnik, 2008 po Jeran in sod., 2002).

Lišaji so znani kot zelo dobri in učinkoviti organizmi za zaznavanje sprememb v okolju, saj dobro kopičijo težke kovine (Poličnik, 2008 po Loppi in Pirintsos, 2003). Toda zaradi neenakih sposobnosti kopičenja le-teh iz zraka, je pri ugotavljanju onesnaženosti in sledenju izpustov iz industrije zelo pomembna tudi izbira indikatorske akumulatorske vrste. Zato je pri raziskovanju onesnaženosti večjih območij potrebno izbrati tiste vrste lišajev, ki so prisotni na celotnem območju, saj lahko v nasprotnem primeru rezultate napačno interpretiramo (Poličnik, 2008 po Minganti in sod., 2003).

Prednost raziskovanja onesnaženosti zraka z lišaji je tudi možnost opravljanja analiz, kjer primerjamo vsebnosti težkih kovin iz zdajšnjega obdobja s tistimi iz preteklosti. Podatke lahko dobimo z določevanjem v lišajih iz herbarijskih zbir (Poličnik, 2008 po Zschau in sod., 2003; Loppi in sod., 2003). Zaradi njihove vsesplošne razširjenosti so uporabljeni tudi pri raziskovanju onesnaženosti vojnih območij, saj je bilo ugotovljeno, da so dobri akumulatorji urana iz zraka (Poličnik, 2008 po Golubev in sod., 2003).

2.3.2. Aktivni biomonitoring

Na območjih, kjer lišaji ne uspevajo, ali pa želimo spremljati količine elementov v točno določenem časovnem obdobju, uporabljamo aktivno metodo biomonitoringa, pri kateri presadimo lišaje na raziskovano območje (Poličnik, 2008 po Sloof, 1993; Gailey in sod., 1985; Herzig in sod., 1989; Pilegaard, 1979). Zelo pogosto se aktivni biomonitoring uporablja na območjih z večjimi točkovnimi viri onesnaževanja (npr. industrijska središča), kjer je zaradi tega naravna lišajska vegetacija okrnjena in številnih vrst ne najdemo več. Zato ugotavljamo kopičenje težkih kovin v steljkah presajenih izpostavljenih lišajev (Poličnik, 2008 po Jeran in Jačimović, 1997).

Moramo pa pri uporabi aktivnega biomonitoringa upoštevati različne dejavnike, ki lahko vplivajo na odlaganje in kopičenje težkih kovin. Poleg izbire vrste lišaja je zelo pomembna tudi izbira lege in vpliv padavin na izbranem območju (Poličnik, 2008 po Ayrault in sod., 2007; Minganti in sod., 2003; Riga-Karandinos in Karandinos, 1998).

2.3.3. Prednosti in slabosti bioindikacije z lišaji

Bioindikacija z lišaji ima kar nekaj prednosti, na primer bioindikatorji zaradi svoje nemobilnosti odražajo stanje na konkretni lokaciji in ker nimajo razvite prave povrhnjice, lahko absorbirajo onesnažila iz zraka. Lišaji so izjemno dolgoživi organizmi, pri katerih zaradi medsebojnega razmerja med algo in glivo poškodovanost enega partnerja vpliva tudi na drugega. Razširjeni so po vsem svetu, tudi v ekstremnih okoljih; občutljivi so na širok spekter onesnažil in akumulirajo velike količine kovin brez vidnih poškodb, kar omogoča monitoring na velikih območjih. Biomonitoring z lišaji je cenovno bolj ugoden od drugih metod, saj za spremljanje ne potrebujemo naprav, ki so drage in potrebujejo vir energije. Razvitih je veliko metod, od enostavnih do bolj kompleksnih, zato jih lahko izvajajo tako začetniki kot strokovnjaki (Maguš, 2012 po Poličnik, 2008; Ahmadijan, 1993; Batič, 1984).

Nekatere glavne slabosti bioindikacije z lišaji so na primer težavna standardizacija izvedbe in ponovitve poskusov; prav tako je zaradi počasne rasti je težavnost merjenja in ugotavljanja

odzivov pri gojenju v laboratoriju večja. Odziva lišajev kot bioindikatorjev na ekosistemski ravni ni vedno lahko povezati z odzivom celega sistema in pomenom za človeka, kar lahko omejuje tudi ekonomsko upravičenost uporabe. Težave se lahko pojavijo tudi pri aktivni bioindikaciji zaradi počasne rasti lišajev; za primerljivost rezultatov moramo na vseh lokacijah uporabiti enako vrsto lišaja, kar pa je zaradi onesnaženega zraka lahko problem, saj imamo po posameznih ekoregijah različne vrstne sestave. Vplivi iz lokalnega vira lahko vplivajo na kontaminacijo lišajev, zaradi česar je včasih težko določiti vpliv regionalnega vira onesnažila (Maguša, 2012 po Poličnik, 2008; Kovač in sod., 2007).

2.4. Lišaji v Sloveniji

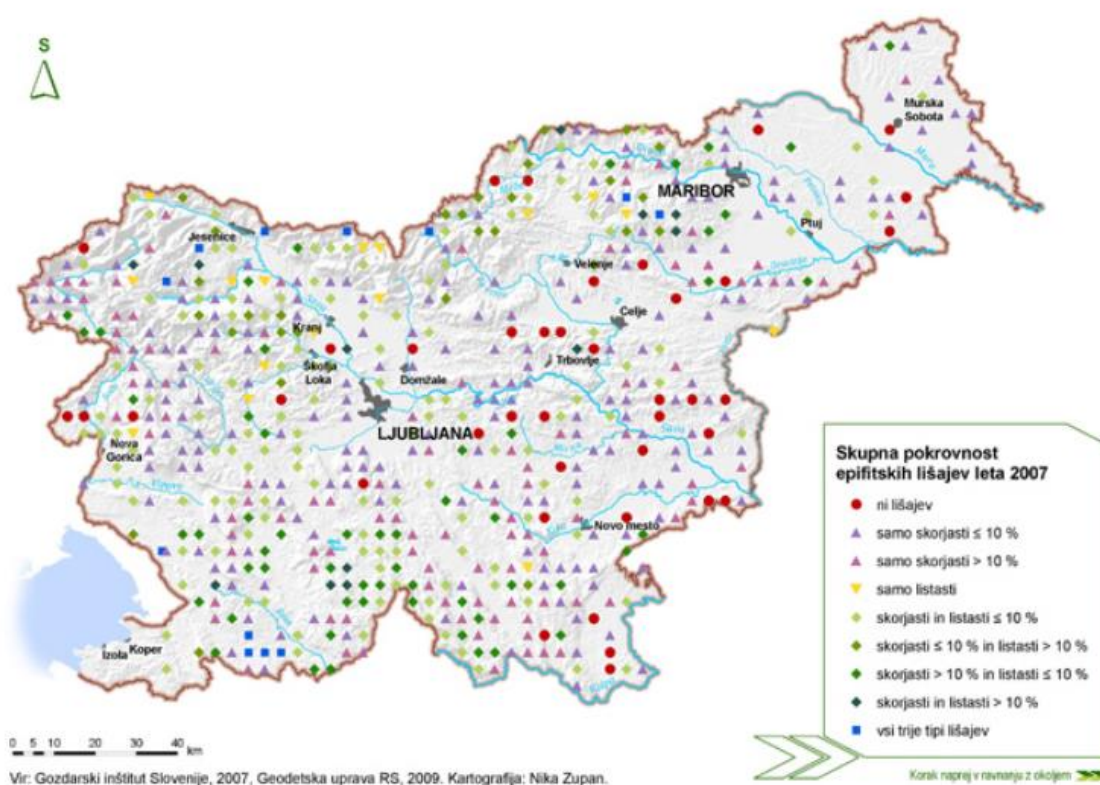
Začetki uporabe epifitskih lišajev in popisa propadanja gozdov segajo do leta 1985; ko so začeli izvajati popise prisotnosti, številčnosti in pokrovnosti skorjastih, listastih in grmičastih lišajev (Batič, 1995).

V Sloveniji so bili lišaji najprej uporabljeni kot indikatorji stanja zraka v okviru raziskovalne dejavnosti, ki jo je organiziralo Prirodoslovno društvo Slovenije v 70. letih prejšnjega stoletja, v katerem je sodelovalo veliko osnovnih in srednjih šol. Kot rezultat te akcije smo dobili prvo lišajsko karto Slovenije (Batič in sod., 2011 po Batič, 1984; Gosar, 1984; Batič 1984; Bračko, 1978; Skoberne, 1978).

Glavna organizacija, ki v Sloveniji spremlja in izvaja meritve onesnaženosti zraka, je Agencija Republike Slovenije okolje (ARSO), ki se na področju varovanja kakovosti zraka ukvarja predvsem s spremljanjem kakovosti zunanjega zraka, z zbiranjem podatkov o emisijah v zrak in z izvajanjem upravnih postopkov za zaščito kakovosti zunanjega zraka (Maguša, 2012 po ARSO, 2012). V okviru spremljanja okoljskih kazalcev in spremljanja, ter zmanjševanja negativnih vplivov onesnaženega zraka na gozdove se je v preteklih letih (2000 – 2007) onesnaženost zraka spremljala tudi s pomočjo epifitskih lišajev, katerih popis je izvajal Gozdarski inštitut Slovenije (ARSO, 2009).

V Sloveniji izvajamo bioindikacijo onesnaženosti okolja predvsem pri spremljanju pojava propadanja gozdov. Že ugotavljanje poškodovanosti drevesnih vrst lahko štejemo kot bioindikacijsko metodo, kjer na podlagi znakov poškodovanosti, kot so osutost dreves, sušenje, nepravilni razrast itd., ugotavljamo zdravstveno stanje in obseg poškodovanosti gozdov. Pri tem pojavu ima veliko vlogo tudi onesnaženost ali čistoča zraka v gozdu, ki jo določamo s popisom stanja epifitskih lišajev, ki v onesnaženem ozračju propadejo mnogo prej kot višje rastline in s tem jasno kažejo na kakovost zraka. S popisom različnih tipov lišajev in popisom vrst (številčnosti in pokrovnosti) določimo indekse zračne čistoče, kar uporabimo pri razlagi vzrokov propadanja drevja na tistem območju (Batič, 1995).

Gozdarski inštitut Slovenije izvaja redni monitoring gozdov oz. gozdno inventuro, s katero spremljamo stanje in spremembe vitalnosti gozdnega drevja. V okviru te opravljajo tudi popis lišajske vegetacije, ki jo uporabljamo kot bioindikacijo onesnaženega zraka (Maguša, 2012 po Monitoring gozdov ..., 2012).



Slika 5: Karta pokrovnosti epifitskih lišajev na vseh drevesnih vrstah v letu 2007 (vir: ARSO, 2009; po Gozdarski inštitut Slovenije, 2007).

Slika 5 prikazuje pokrovnost ter spremembe v pokrovnosti epifitskih lišajev za vse drevesne vrste po kategorijah, največ za bukev in smreko, iz popisa gozdov leta 2007. Glede na stanje, ki ga prikazuje slika, sta ohranjenost gozdov in kakovost zraka glede na stanje epifitskih lišajev na celotnem delu Slovenije slaba razen v gozdovih na višjih nadmorskih višinah v Alpah (ARSO, 2009).

2.4.1. Vplivi na vrstno sestavo

Bioindikacija z uporabo lišajev se je razvila na podlagi dolgotrajnih opazovanj povezav med onesnaženjem okolja in pojavljanjem različnih vrst lišajev. Raziskave so najbolj pogoste predvsem na območjih, kjer so povečane koncentracije SO_2 in kisle padavine (Poličnik, 2008 po Geebelen in Hoffmann, 2001; Häffner in sod., 2001; Hauck in sod., 2001; Giordani in sod., 2001; Showman, 1975; Hawksworth in Rose, 1970).

Na podlagi vrstne sestave lišajev in tudi prisotnosti posamezne rastne oblike na nekem območju lahko sklepamo na vrsto onesnaženja in stopnjo onesnaženja, kot je na primer onesnaženje z dušikovimi ali žveplovimi oksidi (Poličnik, 2008 po Motiejunaite, 2007; van Herk, 2004; Loppi in sod., 2004; Kapusta in sod., 2004; Jeran in sod., 2007; van Herk in sod., 2003). V svetu so se izvajale že številne raziskave, ki kažejo, da so na primer na območjih, kjer je prišlo do povečanja dušikovih emisij, prišlo do izginjanja kisloljubnih vrst

epifitskih lišajev; prevladovati so začele nitrofilne vrste (slika 6) (Poličnik, 2008 po Wolseley in sod., 2006). Prav tako raziskave kažejo na očitno poslabšanje stanja in izginjanje vrst ob povečevanju količin SO_2 ter na ponovno izboljšanje ob znižanju emisij le-teh (Poličnik, 2008 po Grill in sod., 1988).



Slika 6: *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. (foto: T. Sterže, 2022).

Poleg onesnažil na pojavljanje lišajev vplivajo tudi tip in spremembe rabe prostora, kjer so raziskave pokazale, da pestrost lišajev upada glede na tip podlage in rabo prostora – od gozdnatih do kmetijskih površin. Na gozdnih površinah najdemo veliko vrstno pestrost lišajev in odsotnost nitrofilnih vrst, medtem ko za kmetijske površine velja ravno obratno – torej prisotnost nitrofilnih vrst in odsotnost kisloljubnih ter majhno vrstno bogastvo v monokulturnih nasadih. Vrstna sestava je odvisna tudi od starosti in sestave gozda (Poličnik, 2008 po Geiser in Neitlich, 2007; Paoli in sod., 2006; Stofer in sod., 2006; Stofer in sod., 2006; Wolseley in sod., 2006; Saipunkaew in sod., 2005; Hyvärinen in sod., 1992).

Kot omenjeno, je diverziteta lišajev odvisna tudi od starosti in sestave gozda; vpliva tudi stanje drevesa oz. gozda. Kot ugotovljeno, je diverziteta v primerjavi z zdravimi drevesi večja na tistih, ki propadajo. Razlog so verjetno manjše koncentracije ionov onesnažil v toku po deblu pri poškodovanih drevesih, saj je pri takšnih drevesih zaradi pomanjkanja iglic manjši tudi privzem onesnažil iz zraka (Poličnik, 2008 po Hauck, 2003; Hauck in sod., 2002; Volker, 2002).

Epifitski lišaji obcestnega drevja so dober pokazatelj evtrofikacije (predvsem vpliva dušikovih spojin), kar predstavlja tveganje za vegetacijo, zemljo in pitno vodo. Z analizami težkih kovin v lišajih lahko ugotavljamo tudi vpliv prometa na onesnaženje s težkimi kovinami (Poličnik, 2008 po van Herk, 2002; Tuba in Csintalan, 1993).

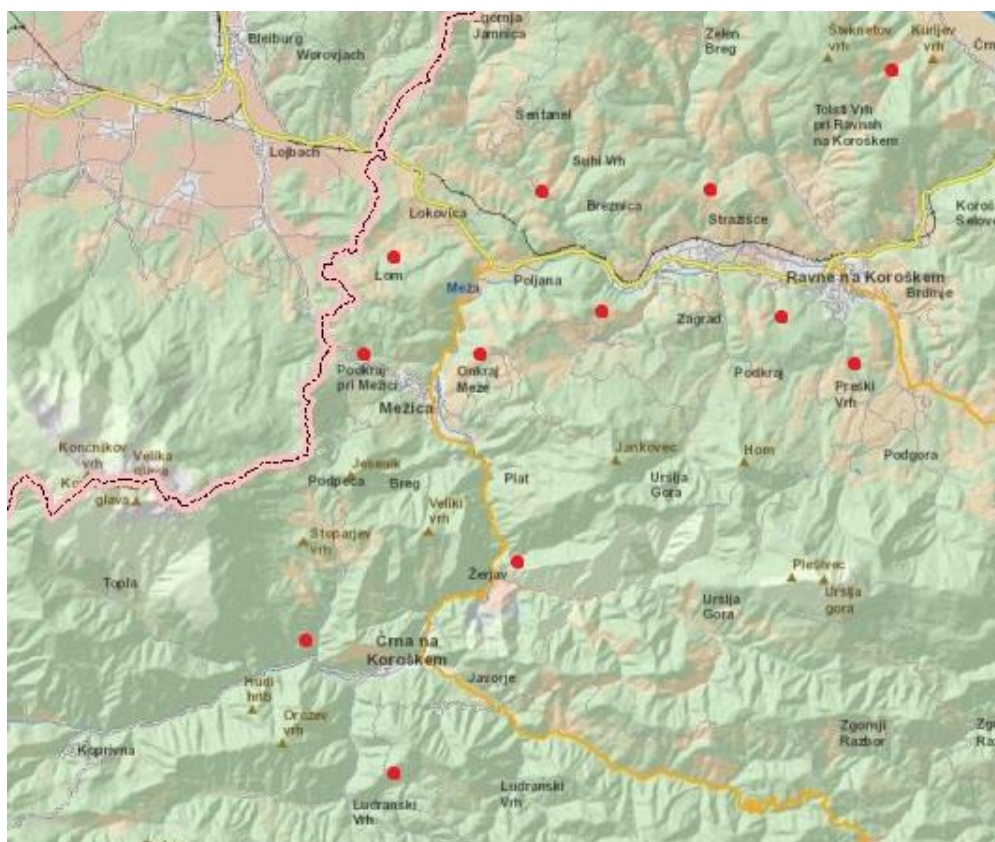
3. MATERIALI IN METODE

Na izbranih lokacijah sem uporabila SI oz. slovensko metodo, s katero popisujemo številčnost in pokrovnost treh osnovnih morfoloških skupin epifitskih lišajev (listasti, grmičasti in skorjasti), na podlagi katerih spremljamo kakovost zraka, in nemško VDI metodo, ki temelji na prisotnosti izbranih vrst epifitskih lišajev.

Za obdelavo podatkov sem uporabila analizno metodo, s katero sem iz zbranih podatkov poskušala ugotoviti, kakšna je kakovost zraka na posameznih lokacijah.

3.1. Območje raziskave in opis lokacij

Obravnavano območje obsega vse občine v Zgornji in Spodnji Mežiški dolini (slika 7). V Spodnji Mežiški dolini sem popis vrst izvedla na Šteharskem vrhu, Navrškem vrhu in Preškem vrhu, ki spadajo v občino Ravne na Koroškem, v Prevaljah pa sem terenski del izvajala na Lešah v smeri Volinjaka, Brinjevi gori in Holmecu, na območju Dolgih Brd. V Zgornji Mežiški dolini je bil popis lišajev izveden na Lomu pri Mežici, Onkraj Meže in v Podkraju pri Mežici, v Črni na Koroškem pa v Žerjavu, Ludranskem vrhu in na Pristavi.



Slika 7: Prikaz lokacij popisa lišajev (vir: Atlas okolja, 2021).

Štebarski vrh: leži na 1018 m nadmorske višine, na jugovzhodnem delu Strojne, med rekama Mežo in Dravo. Popis se je izvajal pri kmetiji Štebarnik in ob gozdnem robu.

Navrški vrh: 560 m nadmorske višine; popis se je izvajal pri kmetiji Nadvar.

Preški vrh: 504 m nadmorske višine, popis se je izvajal v neposredni bližini naselja Kotlje, v okolici Ivarčkega jezera in Prežihove bajte.

Brinjeva gora: 723 m nadmorske višine; popis se je izvajal ob gozdnem robu in na travnikih pod Brinjevo goro; v okolici so kmetije.

Leše: 532 m nadmorske višine; popis se je izvajal pri Leških cerkvah in ob travnikih v smeri Volinjaka (slika 8).

Holmec: 536 m nadmorske višine; popis se je izvajal v naselju Dolga brda na sadnem in samostoječem drevju ob cesti in tamkajšnjih hišah.

Onkraj Meže: 574 m nadmorske višine; popis se je izvajal na samostoječem drevju ob cesti in na travnikih (slika 9).

Lom: 692 m nadmorske višine; popis se je izvajal na sadnem in samostoječem drevju ob cesti in tamkajšnjih hišah.

Podkraj pri Mežici: 615 m nadmorske višine; popis se je izvajal na samostoječem drevju ob cesti in na travnikih.

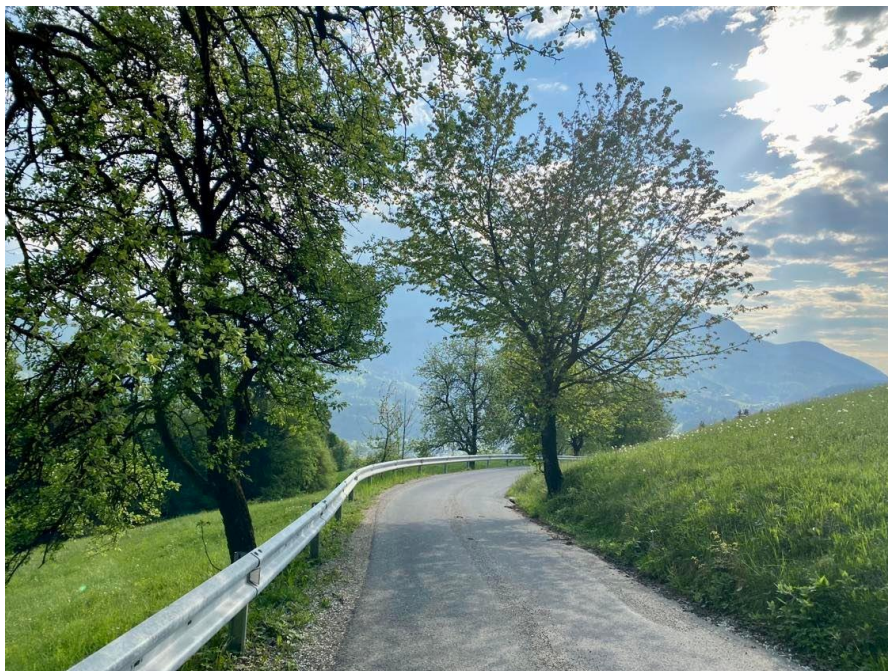
Žerjav: 537 m nadmorske višine, popis se je izvajal v centru naselja ob glavni cesti v okolici šole in vrtca.

Pristava: 598 m nadmorske višine; popis se je izvajal ob cesti in na travnikih.

Ludranski vrh: 1056 m nadmorske višine, popis se je izvajal na samostoječem drevju ob cesti in tamkajšnjih hišah ter samem vrhu v okolici Najevske lipe.



Slika 8: Leše (foto: T. Sterže, 2022).



Slika 9: Onkraj Meže (foto: T. Sterže, 2022).

3.1.1. Naravnogeografske in klimatološke značilnosti

Obravnavano območje Mežiške doline leži na severu Slovenije, na meji z Avstrijo, kjer prevladuje pretežno hriboviti svet. Na območju se končajo Karavanke, ki počasi prehajajo v Pohorje, zaradi česar se je izoblikovala velika geološka kot tudi geomorfološka raznolikost pokrajine, ki spada pod alpski svet s celinsko-gorskim podnebjem (Rožič, 2016 po Perko, 1998).

Kamninska sestava je zelo raznolika; na vzhodnem delu se najdejo tako karbonatne kot tudi silikatne kamnine, medtem ko na južnih delih prevladujejo metamorfne in magmatske kamnine (Rožič, 2016).

Mežiška dolina je zelo ozka dolina. Zaradi intenzivnih gradenj v zadnjih letih spada spodnja Mežiška dolina z naselji Prevalje in Ravne na Koroškem v najbolj naseljeni del Mežiške doline (Praprotnik, 2008).

Tudi podnebje je zelo raznoliko, po različnih delih Koroške se razlikuje. Zgornja Mežiška dolina prejme največjo letno količino padavin; prav tako ima Mežiška dolina v primerjavi z drugimi dolinami Koroške največjo relativno vlažnost, najmanjšo oblačnost in najvišje hitrosti vetra (Praprotnik, 2008). Zgornji del Mežiške doline z izstopajočima vrhovoma Pece in Uršlje gore ima značilno alpsko podnebje, z nižjimi temperaturami in večjimi količinami padavin, dolgimi in mrzlimi zimami in krajšimi poletji. Letna temperatura na nižjih predelih, kot je na primer Občina Mežica, se giblje med 5 in 7 stopinjami Celzija. Zaradi visokih nadmorskih višin so temperaturne razlike velike; z večanjem nadmorske višine temperatura pada (Zavod za gozdove Slovenije, 2020).

Zaradi pestre geološke podlage imamo na območju veliko rastiščno pestrost. Vegetacijska doba na obravnavanem območju traja približno pol leta in se z nadmorsko višino krajša.

Količina in razporeditev padavin ugodno vplivata na razvoj vegetacije. Gozdna krajina je prevladujoča krajina na izbranem območju. Kjer ni gozda, se pojavljajo tudi kmetijske površine. Naravna rastišča omogočajo razvoj mešanih gozdov z večjim deležem listavcev. Gozdni kompleksi predstavljajo predvsem varovalno funkcijo. Človekov vpliv skozi desetletja se poleg degradacije tal kaže tudi v degradaciji vegetacije (Zavod za gozdove Slovenije, 2020).

Podatki Ministrstva za okolje in prostor kažejo, da območja Natura 2000 obsegajo okoli 27 % površine regije. Največji deleže površin v območjih Natura 2000 na Koroškem imajo občine Ribnica na Pohorju (51,5 %), Mislinja (42,6 %) in Črna na Koroškem (51,5 %), najmanj pa občine Mežica (2,5 %), Prevalje (6,1 %) in Ravne na Koroškem (8,7 %) (RRA Koroška, 2014).

Tudi med živalskimi vrstami je pestra biotska raznovrstnost, na kar kažejo tudi številna zavarovana, posebna varstvena in ekološko pomembna območja, ki zahtevajo skrbno načrtovanje. Območje predstavlja večji del življenjskega prostora divjadi, ki ga obravnavamo v okviru Pohorskega lovsko upravljaljskega območja. Reliefne značilnosti in preplet gozdnih in travnih površin predstavlja pestro življenjsko okolje. Ekološko najbolj vplivna in konfliktna živalska vrsta je jelenjad (*Cervus elaphus*), v manjšem številu tudi divji prašič (*Sus scrofa*) (Zavod za gozdove Slovenije, 2020).

3.1.2. Onesnaženost Mežiške doline

Okoljsko problematiko Mežiške doline zaznamuje dolgoletno rudarjenje s svincom, ki ima večstoletno tradicijo. Prvi zapisi, ki omenjajo rudo, segajo v leto 1424. Uspešna gospodarska panoga je bila v takratnih časih ključna za razvoj okoliških krajev, še danes pa je s tovarno akumulatorskih baterij na tem območju izjemno pomembna za lokalno gospodarstvo (Ribarič Lasnik in sod., 2002).

Z razvojem industrije je rasla tudi poraba svinca, katerega koncentracije so se več desetletij nalagale v okolju. Svinec je s svojimi toksičnimi učinki eden izmed najnevarnejših elementov, ki je v okolju zelo obsojen in se lahko tam obdrži tudi več sto let. S svojimi učinki vpliva na zdravje ljudi, še posebej otrok; onesnažena ni samo zemlja, temveč tudi zrak, po katerem se lahko prenaša na večje razdalje (Hovnik, 2020).

Lastnosti reliefa, kot je na primer ozka in zaprta dolina, je h kopičenju svinca na tem območju še dodatno pripomogla; poleg emisij svinca so okolje še dodatno obremenjevali promet in razna individualna kurišča. Zaradi zaprtosti doline je večina emisij ostala v dolini in se tako kopičila v okolju. Čeprav so emisije danes precej manjše, so posledice nekdanje dejavnosti zaradi obstojnosti svinca vidne še danes (Ribarič Lasnik in sod., 2002).

V letih so bile opravljene številne raziskave o vplivu svinca in kadmija na okolje in zdravje ljudi; skupna ugotovitev vseh je bila, da je obremenjenost na tem območju precej večja kot drugje v državi. Ugotovljene so bile presežene vrednosti svinca v prašnih usedlinah, v stanovanjskem in cestnem prahu, prekomerno onesnaženje nekaterih površinskih vodotokih. Prekomerne vsebnosti so bile najdene tudi pri živalskem mesu (kokošje meso in jetra, rumenjak, goveja jetra in ledvice, mleko, ribe, divjad) in pri nekaterih vrtninah, ki so bile po

oceni rezultatov celo neprimerne za uživanje (na primer rdeča pesa in endivija). Pri gozdnih sadežih je bila najbolj problematična visoka vsebnost kadmija (Ribarič Lasnik in sod., 2002).

Pri vplivih na ljudi je bilo ugotovljeno, da življenje na območju Zgornje Mežiške doline predstavlja večje tveganje za vnos svinca v količinah, ki lahko škodujejo zdravju; najbolj izpostavljeni so mlajši otroci, ki s svojim vedenjem v telo vnesejo večje količine, ki lahko ogrozijo njihov razvoj in zdravje. Življenjska doba na tem območju je krajša, predvsem pri moških, čemur lahko verjetno pripišemo tudi vpliv poklicne izpostavljenosti. Prav tako so na tem območju zaznali pogostejše pojavljanje rakastih obolenj; najbolj izpostavljeni sta občini Črna in Mežica (Ribarič Lasnik in sod., 2002).

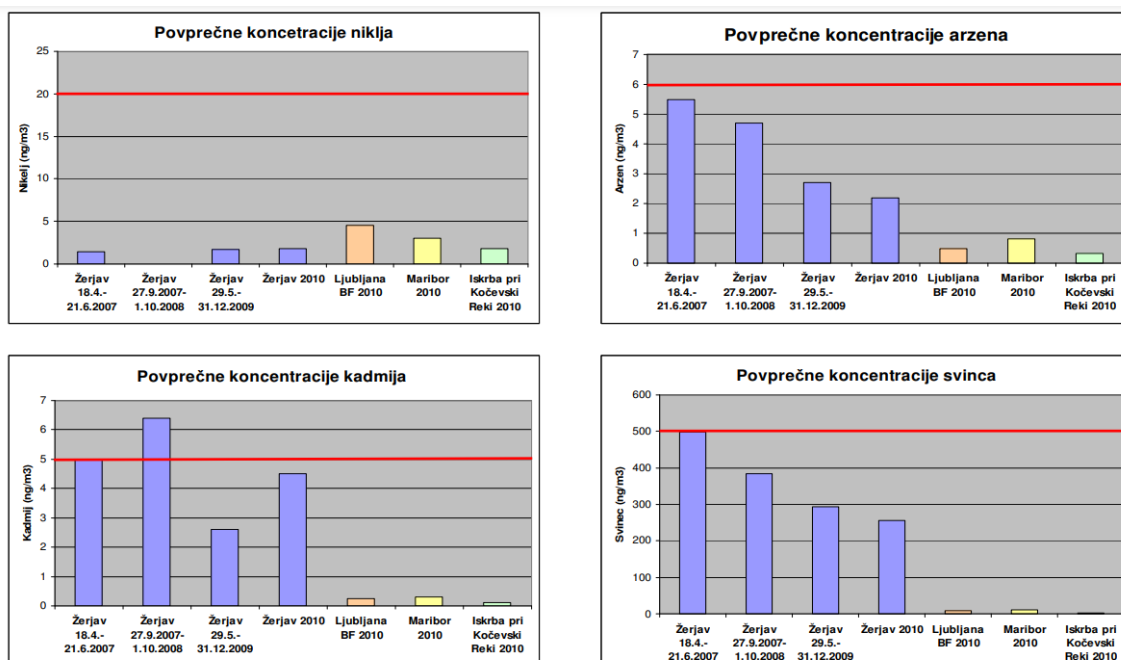
»Na območju nekdanjega rudnika (slika 10) še vedno delujejo tri podjetja, ki delajo s svincem in predstavljajo trenutno najpomembnejše emisijske vire, ki pa v okolje emitirajo precej manj škodljivih snovi, kot je bilo to v preteklosti.« (Ribarič Lasnik in sod., 2002).



Slika 10: Območje nekdanjega rudnika danes (foto: G. Mlinar, 2022).

Prvo je podjetje MPI d. o. o., ki predeluje stare akumulatorske baterije. Podjetje Tovarna akumulatorskih baterij TAB d. d. ima dve tovarni, kjer predeluje startne baterije in proizvaja industrijske baterije. Tretje podjetje RSCM gradbeni materiali d. o. o. je najmanjše in je ostanek nekdanjega rudnika; ukvarja se s predelavo nekdanje jalovine v gradbeni material. Pri postopkih drobljenja in mletja nastajajo predvsem emisije prahu; problem predstavlja tudi nekontroliran raznos toksičnih kovin iz gradbenega materiala (Ribarič Lasnik in sod., 2002).

Današnje meritve imisij še vedno kažejo na povišane koncentracije svinca, arzena, niklja in kadmija v neposredni bližini tovarn; največ onesnaženja še vedno ostaja v Žerjavu, ki je tudi najbolj onesnaženo območje. Količine svinčenega prahu v naselju ob tovarnah so velike in vsakodnevno vplivajo na prebivalstvo, živali in rastline. Koncentracije svinca v zraku so še vedno nad dovoljeno mejo tudi v Črni na Koroškem in Mežici.



Slika 11: Povprečne koncentracije težkih kovin v različnih obdobjih na merilnem mestu Žerjav in v letu 2010 na ostalih merilnih mestih po Sloveniji. Z rdečo črto so na grafih prikazane ciljne letne vrednosti. (Vir: ARSO, Monitoring kakovosti zunanjega zraka v Zgornji Mežiški dolini v letu 2010, Ljubljana, 2011).

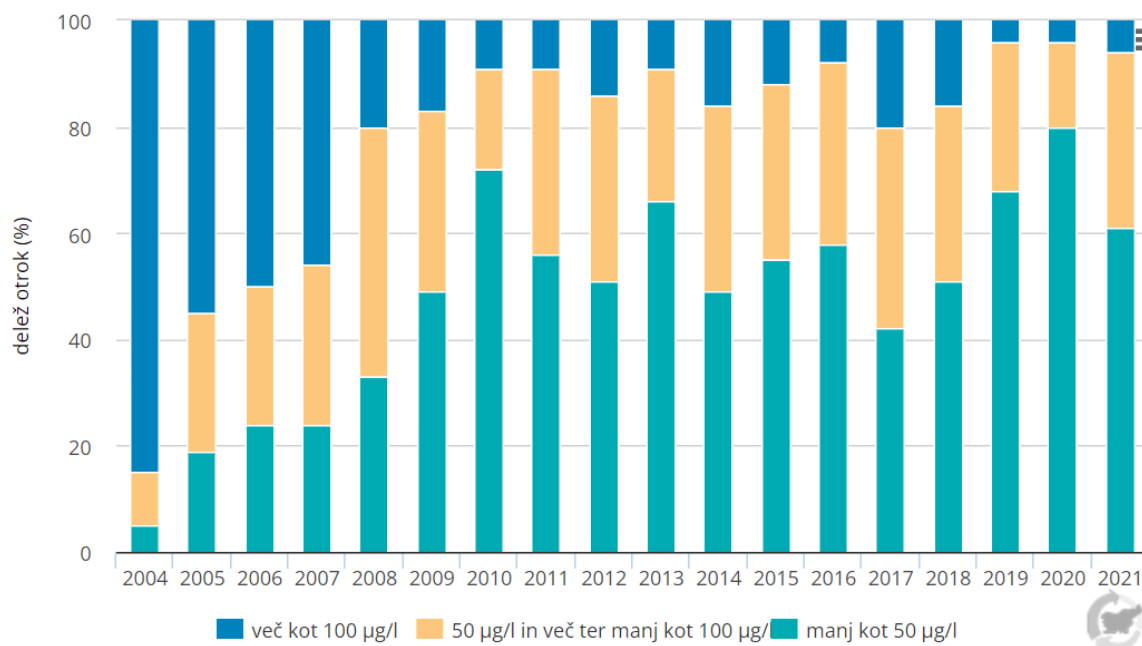
Decembra 2010 je na lokaciji Žerjav potekalo merjenje vsebnosti težkih kovin v grobi in fini frakciji iz bližnjih virov (slika 11). Rezultati kažejo, da koncentracije merjenih elementov niso presegale ciljnih letnih vrednosti kovin v zunanjem zraku. Povprečne koncentracije so od začetka izvajanja meritev leta 2007 padle, a so v primerjavi z ostalimi merilnimi mesti po Sloveniji še vedno zelo povišane (ARSO, 2011).

Na območju se zaradi dobro znanega problema preobremenjenosti okolja s svincem ni razvila nobena civilna iniciativa, a se je leta 2007 na območju občin Črna na Koroškem in Mežica, začel *Program ukrepov za izboljšanje kakovosti okolja v Zgornji Mežiški dolini*, v katerem sodeluje tudi Nacionalni inštitut za javno zdravje. Program je zastavljen do leta 2022 in obsega številne sanacijske ukrepe (Medmrežje 1).

V okviru programa se izvajajo številni ukrepi, ki pa imajo poleg osnovnega namena tudi druge učinke, saj lepšajo izgled in kakovost bivanja v krajih. Ker so ciljna skupina programa ravno otroci, je tudi glavni namen programa, da se zniža vsebnost svineca v krvi otrok. Do leta 2018 so količine padale, po letu 2018 pa so bile zopet nekoliko višje kot pred petimi leti. To pomeni, da trenutni pristopi niso več dovolj učinkoviti in bo potrebno ukrepe okrepiti. Program je zastavljen do leta 2022; tudi po koncu zdravstveno-ekološka problematika na onesnaženih okoljih ne bo izginila, ampak nas bo postavljala pred nove izzive, ki bodo zahtevali še širše in celovite rešitve (Medmrežje 1).

Najnovejši rezultati (slika 12) meritev svineca v krvi otrok iz Zgornje Mežiške doline kažejo, da so vrednosti svineca padle in da je delež otrok z visoko vrednostjo svineca v krvi od začetka programa v zadnjih dveh letih najnižji. Rezultati meritev v zadnjih letih kažejo, kako pomembni so bili ukrepi, ki so bili sprejeti v okviru sanacijskega programa. Poleg doslednega upoštevanja priporočil strokovnjakov skozi vsa leta, pa je pomembno vlogo pri doseganju

dobrih rezultatov meritev v zadnjih dveh letih pripomoglo tudi pandemično obdobje, ki je poskrbelo za še bolj strogo vzdrževanje osebne higiene in izogibanja prahu (NIJZ, 2020).



Slika 12: Delež vzorcev krvi triletnih otrok Zgornje Mežiške doline glede na vsebnost svineca (ciljna mejna vrednost programa je 100 µg/l krvi), 2004–2021 (Vir: ARSO, 2021 po NIJZ, 2021).

Ukrepi za izboljšanje kakovosti okolja v Zgornji Mežiški dolini (Polšak, 2011):

- zamenjava onesnažene zemlje,
- preplastitev lokalnih cest in javnih poti,
- čiščenje utrjenih površin,
- vzpostavitev zelenic in varnih vrtov,
- fitoremediacija,
- ocena onesnaženja v širšem bivalnem okolju,
- subvencije za prehrano prebivalcem v onesnaženem območju,
- adaptacije in pranje fasad hiš, ki so v najbolj onesnaženem območju oz. so grajene iz s svincem obremenjenega materiala,
- monitoring prašnih delcev v zraku,
- monitoring tal.

3.2. Ocena kakovosti zraka s pomočjo popisa prisotnosti epifitskih lišajev

V nalogi sem s popisom epifitskih vrst lišajev in določevanjem indeksov zračne čistosti ugotavljala kakovost oz. onesnaženost zraka v Spodnji in Zgornji Mežiški dolini. Ker za rast in razvoj lišajev ni pomembno samo čisto okolje, ampak tudi druge primerne okoljske razmere (svetloba, temperatura, vlaga, pH drevesne skorje ...), sem popis izvajala na 12 različnih lokacijah v Mežiški dolini, za katere menim, da ustrezajo vsem kriterijem za popis lišajev in so med sabo primerljive. Na 4 lokacijah (v vsaki občini na eni lokaciji) sem popis izvedla tudi v gozdu, kjer so mikroklimatske razmere bistveno drugačne, in s tem raziskala vlogo mikroklimatskih razmer na pojavljanje drugih, prej omenjenih okoljskih dejavnikov, pri pojavljanju številčnosti različnih vrst lišajev.

Popise sem opravila po slovenski (SI metodi) in po nemški (VDI metodi), iz katerih sem po za to določenih protokolih izračunala indekse zračne čistosti, na podlagi katerih sem ocenila kakovost zraka na posameznih lokacijah, ki sem jih umestila v razrede zračne čistosti. Metodi se med seboj nekoliko razlikujeta; na primer VDI metoda je namenjena popisu na prostostojećem drevju, pri čemer po določevalnem ključu popišemo posamezne prisotne vrste v vzorčni mrežici (poglavje 3.2.2., slika 14), medtem ko je SI metoda enostavnejša. Temelji na popisu prisotnosti rastnih oblik lišajev (grmičasti, listasti, skorjasti) in jo lahko uporabimo tako v gozdu kot tudi na prostostojećem drevju. Za primerjavo rezultatov in posameznih metod sem obe metodi uporabila na istih drevesih. Podrobnejši opisi metod so predstavljeni v naslednjih poglavjih.

Popis prisotnih vrst epifitskih lišajev je potekal v aprilu in maju 2022 na območju Zgornje in Spodnje Mežiške doline v vseh 4 občinah. Za raziskavo so bile izbrane po tri lokacije v vsaki občini (poglavje 3.1.), in sicer dve lokaciji z nižjo nadmorsko višino in ena z višjo nadmorsko višino. Na vsakem raziskovalnem območju sem izbrala 6 samostojećih dreves, na katerih sem opravila popis prosotnih vrst lišajev. Kjer samostojećih dreves nisem našla, sem izbrala drevesa ob gozdnem robu. Drevesa sem izbirala na podlagi klasifikacije nemške metode, ki po pH lubja določa tri skupine dreves (VDI, 1995).

Najpogosteje sem izbrala sadno drevje (hruško – *Pyrus communis*, slivo – *Prunus domestica*, češnjo – *Prunus avium*) in nekatere listavce (lipovec – *Tilia cordata*, javor – *Acer sp.*, hrast – *Quercus sp.*). Pri izbiri dreves sem pazila, da je drevo dovolj staro, da ima primeren obseg debla in ni poškodovano. Prav tako sem pri sadnem drevju izbirala drevesa, ki niso del sadovnjaka, saj je lahko tam vpliv škropljenja na vrstno sestavo lišajev večji, zato sem raje izbrala drevesa, ki so rasla na travniku. V vsaki občini sem na eni lokaciji popis po VDI metodi opravila tudi v gozdu, kjer sem si za popis izbrala smreko (*Picea abies*).

Hkrati sem nabrala tudi vzorce posameznih vrst lišajev za oblikovanje herbarijske zbirke, pri čemer je bilo pomembno, da je lišaj že dovolj razvit, da so dobro vidni vsi deli (steljka, apoteciji, izidiji, soraciji ...). Pri nabiranju sem vzorce shranila v vrečke iz potiskanega A4 lista, ki sem jih označila z lokacijo in datumom. Pri določevanju lišajev sem si pomagala s pomočjo določevalnih ključev (Wirth, 1997) in lupo.

Da bi bili rezultati popisa čim bolj neodvisni od drugih okoljskih faktorjev, sem izbrala lokacije na približno enakih nadmorskih višinah (preglednica 1), eno lokacijo na višji in dve na nižji nadmorski višini.

Preglednica 1: Lokacije popisov epifitskih lišajev in njihove nadmorske višine.

LOKACIJA	NADMORSKA VIŠINA [m]
Štebarski vrh	1018
Navrški vrh	560
Preški vrh	504
Brinjeva gora	723
Holmec – Dolga brda	536
Leše – smer Volinjak	532
Onkraj Meže	574
Podkraj pri Mežici	615
Lom	692
Ludranski vrh	1056
Pristava	598
Žerjav	537

3.2.1. SI metoda

SI metoda je preprosta metoda popisovanj številčnosti in pokrovnosti vseh treh rastnih oblik epifitskih lišajev, na podlagi katere lahko spremljamo stanje okolja in s tem kvalitete zraka. Metoda je bila razvita v Sloveniji in je primerna tudi za obsežne raziskave, saj je hitra in za izvajanje ne zahteva usposobljenega strokovnjaka, saj je prepoznavanje rastnih oblik lišajev enostavno. Metoda torej temelji na ocenjevanju številčnosti in pokrovnosti skrojastih, listastih in grmičastih lišajev (Kolenc, 2012 po Batič in sod., 2003; Batič in Kralj, 1995).

Metoda je zasnovana po dejstvu, da so grmičasti lišaji najbolj izpostavljeni onesnaženemu zraku, listasti nekoliko manj in skorjasti najmanj. Pri SI metodi se zato ocenjuje obrast drevesa s temi tremi rastnimi oblikami na treh višinskih stratumih dreves (Kolenc, 2012 po Batič in sod., 2011; Batič in Kralj, 1995; Batič, 1991):

- na dnišču, na višini med 0 – 0,5 m,
- na deblu, na višini debla med 0,5 – 2,5 m,
- v krošnji, na višini debla nad 2,5 m.

Na vsaki višini nato po enostavni lestvici ocenimo (Kolenc, 2012):

- pokrovnost steljk (c): 0 – ni lišajev;
 1 – posamezen tip lišaja pokriva od 1 – 10 % površine;
 2 – posamezen tip lišaja pokriva od 11 – 55 % površine;
 3 – posamezen tip lišaja pokriva od 51 – 100 % površine.

- Številčnost steljk (a): 0 – ni lišajev
 - 1 – na opazovani površini je do 5 steljk;
 - 2 – na opazovani površini je 5 – 10 steljk;
 - 3 – na opazovani površini je več kot 10 steljk.

Svoja opazovanja zapisujemo v popisni list. Na podlagi pridobljenih ocen izračunamo indeks zračne čistosti, ki ga označimo s kratico IAP oz. angl. *Index of Atmospheric Purity*. IAP daje oceno stopnje onesnaženosti zraka, ki jo izračunamo iz povprečja seštetih vrednosti opazovanih rezultatov številčnosti (a) in pokrovnosti (c) za skorjaste (C), listaste (F) in grmičaste (R) lišaje na vseh drevesih za vsako višino posebej (Kolenc, 2012).

Označimo jih z IAP_1 , ki označuje indeks čistosti na dniščih dreves (0 – 0,5 m), IAP_2 , tj. indeks na višini od 0,5 – 2,5 m in IAP_3 v krošnjah na višini nad 2,5 m. Vrednosti za celotno ploskev dobimo s seštevanjem vrednosti za vse tri stratume in ga označimo s IAP_t (Kolenc, 2012).

$$IAP_{1,2,3} = C(a + c) + F(a + c) + R(a + c)$$

$$IAP_t = IAP_1 + IAP_2 + IAP_3$$

$$IAP_{lok} = \sum IAP_t / n, \text{ kjer je } n \text{ število popisanih dreves}$$

»Vrednosti za posamezno lokacijo se lahko gibljejo med 0 in 54 za celo drevo oziroma med 0 in 18 za posamezen stratum drevesa. Nizke vrednosti nakazujejo revno obrast z epifitskimi lišaji in onesnaženo okolje, visoke vrednosti pa na veliko obrast lišajev in čist zrak.« (Kolenc, 2012 po Batič in Kralj, 1995; Batič, 1991).

$IAP_{1,2,3}$:	razred	vrednost IAP
	5	0
	4	1 – 4,5
	3	4,6 – 9,0
	2	9,1 – 13,5
	1	13,6 – 18,0

IAP_t :	razred	vrednost IAP
	5	0
	4	1 – 13,5
	3	13,6 – 27,0
	2	27,1 – 40,5
	1	40,6 – 54,0

3.2.2. VDI metoda

Gre za nemško metodo, ki temelji na kartiranju epifitskih lišajev na najbolj poraslem delu debla, na katero se pritrdi mrežico v velikosti 50 x 20 cm, s kvadratki 10 x 10 cm (slika 14). Pri tej metodi se popisujejo vse vrste lišajev iz VDI seznama, ki so nahajajo znotraj mrežice in jih označimo s frekvenco pojavljanja F (0-10). 0 pomeni, da vrsta ni prisotna, 10 pa, da je prisotna v vseh okencih. Iz tega nato za vsako lokacijo izračunamo indekse zračne čistosti, ki predstavljajo različne kvalitete zraka. Pri uporabi VDI metode si za popis izberemo 6 primernih samostojnih dreves (Poličnik, 2008).

Pri VDI metodi sem privzela širine posameznega razreda zračne čistosti za srednje-evropsko območje.

IAP lokacije po VDI metodi izračunamo s pomočjo preglednice, v katero vpisujemo rezultate popisa na terenu. Primer je predstavljen v preglednici 2:

Preglednica 2: Izračun IAP lokacije po VDI metodi.

VRSTA LIŠAJA	FREKVENCA POJAVLJANJA LIŠAJA NA POSAMEZNEM DREVESU						POVPREČNA FREKVENCA LIŠAJA
	1	2	3	4	5	6	
<i>Lepraria incana</i>	3	-	4	4	2	1	2,3
<i>Buellia punctata</i>	1	3	4	-	2	-	1,7
<i>Physcia tenella</i>	-	2	-	1	1	1	0,8
	VSOTA POVPREČIJ						4,8

Vir: Prirejeno po Wirth, 1997.



Slika 13: Barvna lestvica zračnih indeksov po VDI metodi (Vir: Wirth, 1997).



Slika 14: Vzorčevalna mrežica za popis po VDI metodi (foto: T. Sterže, 2022).

Na podlagi rezultatov popisa sem izračunala indekse zračne čistosti in lokacije razvrstila v razrede kakovosti zraka, ki so določeni pri SI (poglavje 3.2.1) in VDI metodi (slika 13).

3.3. Statistične metode

Primerjavo rezultatov sem opravila tudi s statistično analizo ANOVA, ki sem jo izvedla s programom SPSS. Primerjala sem rezultate popisa po VDI metodi med lokacijami v Spodnji in Zgornji Mežiški dolini in ugotavljala ali med njima obstajajo statistično pomembne razlike.

Statistično analizo sem opravila samo za VDI metodo, saj so podatki pri SI metodi za 11 od 12 lokacij enaki in analiza ni bila potrebna.

4. REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1. Popis vrst epifitskih lišajev (VDI metoda) in indeksi toksitolerance

V preglednici 3 prikazujem vrste epifitskih lišajev, popisanih po VDi metodi. Na vseh lokacijah smo skupaj popisali 34 vrst lišajev. V preglednici prikazujem tudi indekse toksitolerance. Različne vrste lišajev so na onesnaženje namreč različno občutljive. Najmanj tolerantni na onesnaženje so grmičasti in listasti lišaji, ki ob povečanju onesnaženosti najprej izginejo in se ob izboljšanju stanja zraka tudi najkasneje zopet pojavijo (Poličnik, 2008 po Batič, 1992).

Preglednica 3: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev po VDI metodi.

Št.	VRSTA	INDEKS TOKSIT.	LOKACIJA POJAVLJANJA
1.	<i>Candelariella xanthostigma</i>	6	ŠV, NV, PV, LEŠ, HOL, BG, OM, LOM, PM, ŽER, PRI, LV
2.	<i>Cetraria chlorophylla</i>	5	NV
3.	<i>Evernia prunastri</i>	5	ŠV, NV, OM, LOM, PM, LV
4.	<i>Hypogymnia physodes</i>	8	ŠV, NV
5.	<i>Lecanora chlorotera</i>	6	ŠV, HOL, BG, LOM, PM
6.	<i>Lecanora conizaeoides</i>	9	ŠV, OM
7.	<i>Lecanora expallens</i>	9	PV
8.	<i>Lecanora pullicaris</i>	6	NV, BG, LOM, PM, PRI, LV
9.	<i>Lecanora carpinea</i>	5	ŠV, PV, HOL, BG, OM, PM, LV
10.	<i>Lecidella elaeochroma</i>	6	ŠV, HOL, BG, OM, LOM, PM, ŽER, PRI, LV
11.	<i>Lepraria incana</i>	9	ŠV, HOL, BG, OM, LOM, PM, PRI, LV
12.	<i>Ochrolechia sp.</i>	-	BG
13.	<i>Parmelia acetabulum</i>	6	LEŠ
14.	<i>Parmelia caperata</i>	3	NV
15.	<i>Parmelia glabra</i>	-	ŠV, NV, PV, LEŠ, HOL, BG, OM, LOM, PM, ŽER, PRI, LV
16.	<i>Parmelia glabratula</i>	5	PV
17.	<i>Parmelia pastillifera</i>	3	PV, LEŠ
18.	<i>Parmelia saxatilis</i>	7	ŠV, NV
19.	<i>Parmelia subargentifera</i>	3	OM
20.	<i>Parmelia subrudecta</i>	6	LEŠ, LOM
21.	<i>Parmelia sulcata</i>	8	ŠV, NV, LEŠ, HOL, BG, OM, LOM, PM, ŽER, PRI, LV
22.	<i>Parmeliopsis ambigua</i>	7	ŠV, LOM
23.	<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	8	ŠV, PV, LEŠ, HOL, BG, OM, LOM, PM, ŽER, PRI, LV
24.	<i>Phlyctis argena</i>	6	ŠV, NV, PV, LEŠ, HOL, BG, OM, LOM, PM, ŽER, PRI, LV
25.	<i>Physcia adscendens</i>	8	ŠV, NV, PV, LEŠ, HOL, BG, OM, LOM, PM, ŽER, PRI, LV
26.	<i>Usnea sp.</i>	-	ŠV, PM, ŽER, LV
27.	<i>Xanthoria candelaria</i>	5	ŠV, LEŠ, BG, OM, LOM
28.	<i>Xanthoria parietina</i>	7	NV, LOM, PM, ŽER, PRI, LV
29.	<i>Lecanora hagenii</i>	8	OM,
30.	<i>Pseudevernia furfuracea</i>	6	PM
31.	<i>Physcia stellaris</i>	4	ŽER
32.	<i>Parmelia exasperatula</i>	6	ŽER
33.	<i>Parmelia flaventior</i>	6	ŽER
34.	<i>Platismatia glauca</i>	5	PRI

Opombe: ŠV – Šteharški vrh, NV – Navrški vrh, PV – Preški vrh, LEŠ – Leše, HOL – Holmec, BG – Brinjeva gora, OM – Onkraj Meže, LOM – Lom, PM – Podkraj pri Mežici, ŽER – Žerjav, PRI – Pristava, LV – Ludranski vrh

Na vsaki lokaciji sem po VDI metodi popisala med 11 in 17 različnih vrst epifitskih lišajev. Največ sem jih identificirala na Štebarskem vrhu (17) (preglednica 4), najmanj pa na Preškem vrhu (9) (preglednica 5). Najbolj pogoste vrste, ki sem jih popisala na vseh lokacijah, so *Candelariella xanthostigma* (slika 15), *Parmelia glabra*, *Phlyctis argena* in *Physcia adscendens* (slika 16). Indeks toksitolerance (preglednica 3) omenjenih vrst je med 6 in 8, kar pomeni, da so vrste bolj odporne proti onesnaženju. Vrsta *Physcia adscendens* je značilno bolj nitrofilna vrsta oz. se pojavlja tam, kjer je več onesnaženja z NOx. Na podlagi tega lahko sklepam, da so na vseh območjih prisotna dušikova onesnažila. Rezultati popisov na ostalih lokacijah so podani v preglednicah 6 do 15. Na Preškem vrhu sem identificirala tudi vrsto *Ramalina* sp. (slika 17), ki ima po vrednostih toksitolerance najmanjši indeks, in sicer 2, kar pomeni, da je proti onesnaženju najmanj tolerantna.



Slika 15: *Candelariella xanthostigma* (Ach.) Lettau (foto: T. Sterže, 2022).



Slika 16: *Physcia adscendens* (Fr.) Oliv. (siv) (foto: T. Sterže, 2022).



Slika 17: *Ramalina* sp. (foto: T. Sterže, 2022).

14 vrst sem identificirala samo na eni izmed lokacij; njihov indeks toksitolerance znaša med 3 in 5 ter 8 in 9, kar pomeni, da na nekaterih območjih najdemo vrste, ki so proti onesnaženju manj občutljive, ali pa vrste, ki so proti onesnaženju bolj občutljive. Večinoma gre za vrste *Parmelia* sp. (slika 18) in *Lecanora* sp. (slika 19).



Slika 18: *Parmelia sulcata* Taylor (foto: T. Sterže, 2022).



Slika 19: *Lecanora* sp. (foto: T. Sterže, 2022).

Iz podatkov popisa o pojavljanju posameznih vrst epifitskih lišajev (frekvence pojavljanja) in podatkov literature (Wirth, 1997) sem za vsako lokacijo določila vrednosti toksitolerance. Vsaka vrsta ima določen indeks toksitolerance, ki nam pove, ali je vrsta bolj ali manj odporna proti onesnaženju. Na primer, ena izmed najbolj odpornih vrst je *Lecanora conizaeoides*, ki ima indeks 9 in je zanjo celo značilno, da je na območjih, kjer zrak ni onesnažen, skoraj ne najdemo (Poličnik, 2008 v van Dobben in sod., 2001). Za vsako lokacijo sem izračunala uteženo povprečje, ki nam pove povprečje vrst, ki se pojavljajo na posameznem območju. Rezultati so pokazali, da se na 8 od 11 lokacijah (Šteharski vrh, Navrški vrh, Holmec, Onkraj Meže, Lom, Podkraj pri Mežici, Pristava, Ludranski vrh) pojavljajo vrste s povprečnim indeksom toksitolerance 7, kar pomeni, da prevladujejo vrste, ki so proti onesnaženju bolj odporne. Na 4 lokacijah (Preški vrh, Leše, Brinjeva gora, Žerjav) se pojavljajo vrste s povprečnim indeksom toksitolerance 6, kar pomeni, da so vrste proti onesnaženju prav tako bolj odporne, vendar vseeno nekoliko manj kot na ostalih 8 lokacijah. Upoštevanje in izračun povprečnih frekvenc pojavljanja se je izkazalo za pomembno, saj nam odpornost prisotnih vrst poda podrobnejši vpogled v stanje okolja. Rezultati so kljub zelo majhnim razlikam med lokacijami primerljivi.

4.2. Ocena kakovosti zraka

4.2.1. Popis vrst epifitskih lišajev na prostostoječem drevju

V nadaljevanju prikazujem seznam popisanih epifitskih lišajev in povprečno frekvenco pojavljanja na 12 lokacijah v Zgornji in Spodnji Mežiški dolini. Vsi popisi so bili opravljeni z VDI metodo na prostostojećih drevesih.

Preglednica 4: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Štebarski vrh – popis prostostojećih dreves.

ŠTEBARSKI VRH: popis prostostojećih dreves	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Candelariella xanthostigma</i>	8,2
<i>Evernia prunastri</i>	3,5
<i>Hypogymnia physodes</i>	10
<i>Lecanora chlorotera</i>	1,5
<i>Lecanora conizaeoides</i>	1
<i>Lecanora carpinea</i>	1
<i>Lecidella elaeochroma</i>	6
<i>Lepraria incana</i>	5
<i>Parmelia glabra</i>	5,5
<i>Parmelia saxatilis</i>	1
<i>Parmelia sulcata</i>	4,7
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	1
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	2
<i>Phlyctis argena</i>	6,6
<i>Physcia adscendens</i>	8,3
<i>Usnea sp.</i>	1
<i>Xanthoria candelaria</i>	1
SKUPAJ	67,3 – zelo čist zrak

Preglednica 5: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Preški vrh – popis prostostojećih dreves.

PREŠKI VRH: popis prostostojećih dreves	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Candelariella xanthostigma</i>	2
<i>Lecanora expallens</i>	3,7
<i>Lecanora carpinea</i>	2
<i>Parmelia glabra</i>	5
<i>Parmelia glabratula</i>	6,8
<i>Parmelia pastillifera</i>	2,5
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	2
<i>Phlyctis argena</i>	7,5
<i>Physcia adscendens</i>	8
SKUPAJ	36,6 – srednje onesnažen zrak

Preglednica 6: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Navrški vrh – popis prostostojećih dreves.

NAVRŠKI VRH: popis prostostojećih dreves	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Candelariella xanthostigma</i>	9
<i>Cetraria chlorophylla</i>	6
<i>Evernia prunastri</i>	2
<i>Hypogymnia physodes</i>	4
<i>Lecanora pulicaris</i>	1
<i>Parmelia caperata</i>	1
<i>Parmelia glabra</i>	4
<i>Parmelia saxatilis</i>	10
<i>Parmelia sulcata</i>	7,8
<i>Phlyctis argena</i>	4,5
<i>Physcia adscendens</i>	2,7
<i>Xanthoria parietina</i>	1
SKUPAJ	53 – zelo čist zrak

Preglednica 7: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Leše – popis prostostojećih dreves.

LEŠE: popis prostostojećih dreves	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Candelariella xanthostigma</i>	10
<i>Parmelia acetabulum</i>	4
<i>Parmelia glabra</i>	3
<i>Parmelia pastilifera</i>	7
<i>Parmelia subrudecta</i>	2
<i>Parmelia sulcata</i>	4,3
<i>Phaecophyscia orbicularis</i>	1
<i>Phlyctis argena</i>	9,6
<i>Physcia adscendens</i>	6,3
<i>Xanthoria candelaria</i>	1
SKUPAJ	48,2 – čist zrak

Preglednica 8: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Holmec – popis prostostojećih dreves.

HOLMEC: popis prostostojećih dreves	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Candelariella xanthostigma</i>	9
<i>Lecanora chlorotera</i>	1
<i>Lecanora carpinea</i>	1
<i>Lecidella elaeochroma</i>	2
<i>Lepraria incana</i>	2
<i>Parmelia glabra</i>	1,5
<i>Parmelia sulcata</i>	2
<i>Phaecophyscia orbicularis</i>	1
<i>Physcia adscendens</i>	8,8
<i>Phlyctis argena</i>	5
SKUPAJ	33,3 – srednje onesnažen zrak

Preglednica 9: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Brinjeva gora – popis prostostojećih dreves.

BRINJEVA GORA: popis prostostojećih dreves	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Candelariella xanthostigma</i>	7
<i>Lecanora pullicaris</i>	1
<i>Lecanora carpinea</i>	2
<i>Lecidella elaeochroma</i>	3,3
<i>Lecanora chlorotera</i>	1
<i>Lepraria incana</i>	3
<i>Ochrolechia sp.</i>	2,7
<i>Parmelia glabra</i>	2,5
<i>Parmelia sulcata</i>	2
<i>Phaecophyscia orbicularis</i>	3
<i>Physcia adscendens</i>	7
<i>Phlyctis argena</i>	10
<i>Xanthoria candelaria</i>	8
SKUPAJ	52,5 – zelo čist zrak

Preglednica 10: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Onkraj Meže – popis prostostojećih dreves.

ONKRAJ MEŽE: popis prostostojećih dreves	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Candelariella xanthostigma</i>	3
<i>Evernia prunastri</i>	1
<i>Lecanora conizaeoides</i>	1
<i>Lecanora hagenii</i>	1
<i>Lecanora carpinea</i>	2
<i>Lecidella elaeochroma</i>	6
<i>Lepraria incana</i>	4
<i>Parmelia glabra</i>	4
<i>Parmelia subargentifera</i>	1
<i>Parmelia sulcata</i>	5
<i>Phaecophyscia orbicularis</i>	8,3
<i>Phlyctis argena</i>	7
<i>Physcia adscendens</i>	8,8
<i>Xanthoria candelaria</i>	3
SKUPAJ	55,1 – zelo čist zrak

Preglednica 11: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Lom – popis prostostojećih dreves.

LOM: popis prostostojećih dreves	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Candelariella xanthostigma</i>	6,3
<i>Evernia prunastri</i>	1
<i>Lecanora chlarotera</i>	1
<i>Lecanora pullicaris</i>	4
<i>Lecidella elaeochroma</i>	1
<i>Lepraria incana</i>	1
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	9
<i>Parmelia glabra</i>	3,5
<i>Parmelia subrudecta</i>	10
<i>Parmelia sulcata</i>	4,3
<i>Phaecophyscia orbicularis</i>	10
<i>Phlyctis argena</i>	10
<i>Physcia adscendens</i>	8,4
<i>Xanthoria candelaria</i>	10
<i>Xanthoria parietina</i>	7
SKUPAJ	86,5 – zelo čist zrak

Preglednica 12: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Podkraj pri Mežici – popis prostostojećih dreves.

PODKRAJ PRI MEŽICI: popis prostostojećih dreves	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Candelariella xanthostigma</i>	3
<i>Evernia prunastri</i>	1
<i>Lecanora chlarotera</i>	7
<i>Lecanora pullicaris</i>	4
<i>Lecanora carpinea</i>	1
<i>Lecidella elaeochroma</i>	3
<i>Lepraria incana</i>	3,7
<i>Parmelia glabra</i>	5,7
<i>Parmelia sulcata</i>	6,6
<i>Phaecophyscia orbicularis</i>	2
<i>Phlyctis argena</i>	7
<i>Physcia adscendens</i>	10
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	3
<i>Usnea sp.</i>	1
<i>Xanthoria parietina</i>	1
SKUPAJ	59 – zelo čist zrak

Preglednica 13: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Ludranski vrh – popis prostostojećih dreves.

LUDRANSKI VRH: popis prostostojećih dreves	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Candelariella xanthostigma</i>	5,6
<i>Evernia prunastri</i>	2
<i>Lecanora pullicaris</i>	2
<i>Lecanora carpinea</i>	2
<i>Lecidella elaeochroma</i>	3,5
<i>Lepraria incana</i>	10
<i>Parmelia glabra</i>	10
<i>Parmelia sulcata</i>	6,8
<i>Phaecophyscia orbicularis</i>	3,5
<i>Phlyctis argena</i>	5
<i>Physcia adscendens</i>	10
<i>Usnea sp.</i>	1
<i>Xanthoria parietina</i>	1
SKUPAJ	62,4 – zelo čist zrak

Preglednica 14: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Žerjav – popis prostostojećih dreves.

ŽERJAV: popis prostostojećih dreves	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Candelariella xanthostigma</i>	9
<i>Lecidella elaeochroma</i>	5,3
<i>Parmelia exasperatula</i>	10
<i>Parmelia flaventior</i>	1
<i>Parmelia glabra</i>	5
<i>Parmelia sulcata</i>	8,3
<i>Phaecophyscia orbicularis</i>	1
<i>Phlyctis argena</i>	10
<i>Physcia adscendens</i>	9
<i>Physcia stellaris</i>	1
<i>Usnea sp.</i>	7
<i>Xanthoria parietina</i>	3
SKUPAJ	69,6 – zelo čist zrak

Preglednica 15: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Pristava – popis prostostojećih dreves.

PRISTAVA: popis prostostojećih dreves	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Candelariella xanthostigma</i>	5,5
<i>Lecanora pullicaris</i>	3
<i>Platismatia glauca</i>	10
<i>Lecidella elaeochroma</i>	1
<i>Parmelia glabra</i>	2
<i>Parmelia sulcata</i>	6,3
<i>Phaecophyscia orbicularis</i>	1
<i>Phlyctis argena</i>	7,5
<i>Physcia adscendens</i>	4,3
<i>Xanthoria parietina</i>	3
<i>Lepraria incana</i>	4
SKUPAJ	47,6 – čist zrak

Rezultati popisa so pokazali, da je na 8 lokacijah zrak zelo čist, saj je bil izračunan indeks zračne čistosti višji od 50. Najvišji indeks dosežata lokaciji Lom in Žerjav. Lokaciji z najslabšim indeksom sta Preški vrh in Holmec. Kot že omenjeno, sem za raziskavo izbrala lokacije, ki so si po nadmorski višini in drugih okoljskih dejavnikih primerljive.

Popise vrst sem izvajala na prostostojećem drevju, kot to predpisuje VDI metoda in po skupinah, ki so določene na podlagi klasifikacije nemške metode (VDI, 1995). Zato menim, da okoljski dejavniki niso imeli večje vloge pri samih rezultatih, kot se je to pokazalo kasneje, pri popisih v gozdu, kjer ni bila uporabljena ustrezna metoda. Iz rezultatov lahko razberemo, da se tudi število identificiranih vrst na podlagi nadmorske višine bistveno ne spreminja. Na primer na Ludranskem vrhu z najvišjo nadmorsko višino sem popisala manj vrst kot na kakšni drugi lokaciji z nižjo nadmorsko višino.

4.2.2. Popis vrst epifitskih lišajev v gozdu

Popis lišajev sem po VDI metodi izvedla tudi na 4 lokacijah (v vsaki občini na eni lokaciji) v gozdu, da bi raziskala vpliv mikroklimatskih pogojev na pojavljanje epifitskih lišajev in poudarila pomen izvedbe popisov na prostostojećem drevju zunaj gozda.

Rezultati so pokazali bistveno drugačno stanje kot na prostostojećem drevju, saj sem v gozdu popisala zelo malo vrst, največ na Šteharskem (preglednica 16) in Ludranskem vrhu (preglednica 17), kjer sem popisala 6 vrst, na Brinjevi gori 4 in v Podkraju pri Mežici le 2 vrsti. Z majhnim številom popisanih vrst se je zelo znižal tudi izračunani indeks zračne čistosti, saj so vse lokacije glede na rezultate iz gozda razvrščene v razrede z ekstremno in zelo onesnaženim zrakom ter onesnaženim in srednje onesnaženim zrakom. Tako, kot je bilo pričakovano, najvišji indeks in s tem najboljšo kakovost izmed teh štirih lokacij dosežata Šteharski (slika 20 in 21) in Ludranski vrh. Rezultati popisov na ostalih lokacijah v gozdu so podani v preglednicah 18 in 19.



Slika 20: Šteharški vrh (foto: T. Sterže, 2022).



Slika 21: Lišajski obrast na Šteharškem vrhu v gozdu (foto: T. Sterže, 2022).

Preglednica 16: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Štebarski vrh v gozdu.

ŠTEBARSKI VRH: popis v gozdu	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Hypogymnia physodes</i>	10
<i>Lepraria sp.</i>	5
<i>Parmelia sulcata</i>	1
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	7
<i>Platismatia glauca</i>	4
<i>Usnea sp.</i>	5,5
SKUPAJ	32,5 – srednje onesnažen zrak

Preglednica 17: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Brinjeva gora v gozdu.

BRINJEVA GORA: popis v gozdu	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Lecanora expallens</i>	1
<i>Lepraria incana</i>	7
<i>Ochrolechia sp.</i>	1,3
<i>Phlyctis argena</i>	3
SKUPAJ	12,3 – zelo onesnažen zrak

Preglednica 18: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Podkraj pri Mežici v gozdu.

PODKRAJ PRI MEŽICI: popis v gozdu	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Lepraria incana</i>	6,3
<i>Phlyctis argena</i>	3
SKUPAJ	9,3 – ekstremno onesnažen zrak

Preglednica 19: Seznam popisanih vrst epifitskih lišajev z VDI metodo in povprečna frekvenca pojavljanja na lokaciji Ludranski vrh v gozdu.

LUDRANSKI VRH: popis v gozdu	
VRSTA LIŠAJA	POVPREČNA FREKVENCA POJAVLJANJA
<i>Hypogymnia farinacea</i>	9,7
<i>Hypogymnia physodes</i>	3,7
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	1
<i>Lepraria incana</i>	4,3
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	2,5
<i>Phlyctis argena</i>	1
SKUPAJ	22,2 – onesnažen zrak

Preglednica 20: Primerjava onesnaženosti posameznih lokacij v gozdu VDI metodi.

LOKACIJA	ONESNAŽENOST PO VDI METODI
Štebarski vrh	srednje onesnažen zrak
Brinjeva gora	zelo onesnažen zrak
Podkraj pri Mežici	ekstremno onesnažen zrak
Ludranski vrh	onesnažen zrak

Na pojavljanje in številčnost epifitskih lišajev vplivajo številni dejavniki, med njimi tudi nadmorska višina. Z nadmorsko višino se namreč spreminjajo tudi temperatura, vlaga, količina svetlobe ipd. Vse to vpliva na prisotnost ali odsotnost številnih vrst. Upoštevanje nadmorske višine se kaže tudi z mejo temperaturne inverzije (750 – 1000 m. n. v.), nad katero lahko pričakujemo bistveno več vrst lišajev (Poličnik, 2008). To lahko potrdim tudi na podlagi rezultatov popisa, saj sem tako v gozdu kot zunaj njega na Štebarskem in Ludranskem vrhu identificirala največ vrst.

Manjše število epifitskih lišajev v gozdu je zagotovo tudi posledica drugačnih ekoloških razmer, kot zunaj njega. Gozd prejme bistveno manj svetlobe in vlage; prav tako so lahko spremembe še vedno posledica vnosa onesnažil iz preteklih desetletij, ko so bile koncentracije onesnažil zelo velike (Poličnik, 2008).

Izračunani indeksi zračne čistosti v gozdu nam ne daje tako jasnih rezultatov kot tisti iz popisa na prostostoječem drevju zunaj njega, zato tudi ocena kakovosti zraka na podlagi popisa v gozd ni primerna metoda (Poličnik, 2008). V mojem primeru sem za popis v gozdu izbrala smreko, saj je v slovenskih gozdovih najbolj enakomerno porazdeljena vrsta, vendar je zanjo značilna revna obrast z lišaji. Slabši rezultati so verjetno tudi posledica uporabe VDI metode (preglednica 20), ki drugače ni namenjena popisu v gozdu, zato bi za natančnejše rezultate morala uporabiti metodo ICP-Forest, ki je namenjena popisu na gozdnem drevju.

4.2.3. Primerjava SI in VDI metode

Iz popisa po SI (preglednica 21) in VDI (preglednica 22) metodi sem za vsako lokacijo izračunala indekse zračne čistosti in jih umestila v posamezne razrede kakovosti zraka.

Pri VDI metodi se širine razredov za posamezno območje izračunajo, jaz pa sem privzela širine posameznega razreda zračne čistosti za srednje-evropsko območje in znašajo 12,5. Za takšen pristop sem se odločila zaradi relativno majhnega območja raziskovanja, zaradi česar bi izračunane širine razreda utegnile biti nepravilne. Za razliko od SI metode, kjer razred 1 pomeni najboljšo in 5 najslabšo kakovost zraka, pri VDI metodi 1 pomeni najslabšo kakovost, višji razred pa boljšo kakovost zraka (preglednica 23).

Preglednica 21: Indeksi zračne čistosti po SI metodi po posameznih lokacijah.

LOKACIJA	IAP _{lokacije}	RAZRED
Štebarski vrh	20,1	3
Preški vrh	15,3	3
Navrški vrh	20,1	3
Leše	16	3
Holmec	11,5	4
Brinjeva gora	17,2	3
Onkraj Meže	19,8	3
Lom	19,5	3
Podkraj pri Mežici	20,2	3
Ludranski vrh	21,3	3
Žerjav	18,7	3
Pristava	15	3

Preglednica 22: Indeksi zračne čistosti po VDI metodi po posameznih lokacijah.

LOKACIJA	IAP _{lokacije}	RAZRED
Štebarski vrh	67,3	5
Preški vrh	36,6	3
Navrški vrh	53	5
Leše	48,2	4
Holmec	33,3	3
Brinjeva gora	52,5	5
Onkraj Meže	55,1	5
Lom	86,5	5
Podkraj pri Mežici	59	5
Ludranski vrh	62,4	5
Žerjav	69,6	5
Pristava	47,6	4

Preglednica 23: Primerjava razredov onesnaženosti posameznih lokacij po SI in VDI metodi.

LOKACIJA	VDI METODA	SI METODA
Štebarski vrh	5	3
Preški vrh	3	3
Navrški vrh	5	3
Leše	4	3
Holmec	3	4
Brinjeva gora	5	3
Onkraj Meže	5	3
Lom	5	3
Podkraj pri Mežici	5	3
Ludranski vrh	5	3
Žerjav	5	3
Pristava	4	3

Opomba: Pri VDI metodi višji razred pomeni boljšo kakovost zraka, pri SI metodi pa višji razred pomeni slabšo kakovost zraka.

Na podlagi identificiranih vrst lišajev z VDI metodo, sem tako kot pri SI metodi izračunala indekse zračne čistosti in lokacije razdelila v posamezne razrede (slika 13). Za SI metodo so širine razredov vnaprej določene in so fiksne, znašajo pa 13,5.

Rezultati VDI metode so pokazali, da je na 8 lokacijah zrak zelo čist, saj je bil izračunan indeks zračne čistosti višji od 50. Najvišji indeks dosega lokacija Lom v občini Mežica, 86,5. V okolici ni večjega lokalnega vira onesnaženja. Lokacija z drugim najvišjim indeksom je Žerjav, za katerega sem zaradi zgodovine onesnaženja tako kot pri SI metodi pričakovala bistveno nižji indeks in s tem slabšo kakovost zraka. Glede na to, da pa gre pri popisu vrst lišajev za ugotavljanje predvsem prisotnosti oz. odpornosti proti plinastim onesnažilom (npr. SO_2 , NO_x), lahko sklepamo, da lokacija s temi onesnažili ni najbolj onesnažena. Če bi preverjali še vsebnost težkih kovin v steljkah lišajev, bi bili rezultati zaradi problematike onesnaženja s svincem verjetno bistveno drugačni.

Dve lokaciji sta dosegli indeks 46,6 (Pristava) in 48,2 (Leše), kar pomeni čist zrak. Lokaciji z najslabšim indeksom pa sta Preški vrh (36,6) in Holmec (33,3). Spadata v razred s srednjo stopnjo onesnaženosti. Lokacija Holmec je s tem pri obeh metodah lokacija z najslabšo kakovostjo zraka. V neposredni okolici ni večjega vira onesnaženja, vendar je lokacija izpostavljena močno obremenjeni glavni cesti, saj je tam tudi mejni prehod Holmec, zato lahko sklepam, da je obremenjevanje z izpusti iz prometa (SO_2 , NO_x) glavni vzrok za slabše stanje kot na preostalih lokacijah. V bližini sta tudi Zbirni center Lokovica in odlagališče odpadkov Zmes, vendar menim, da so vplivi tega minimalni. Na območju Holmca je v sedemdesetih letih 19. stoletja obratoval tudi Premogovnik Holmec, ki je oskrboval tudi jeklarno v takratnem Guštanju, po drugi svetovni vojni pa so rudnik opustili (Projekt »Reg-kult«, 2022).

Rezultati popisa po slovenski (SI) metodi kažejo, da imajo vse lokacije povprečno lišajsko obrast in spadajo v razred 3 (srednja onesnaženost). Najvišji indeks zračne čistosti je bil, kot pričakovano zaradi najvišje nadmorske višine in največje oddaljenosti od virov onesnaženja, na Ludranskem vrhu (slika 22) v Črni na Koroškem; znašal je 21,3. Najnižji indeks dosega lokacija Holmec v občini Prevalje, in sicer 11,5. Lokacija Holmec je s tem edina lokacija, ki spada v razred 4 (onesnaženo). Najnižji indeks je bil zaradi zgodovine onesnaženosti območja pričakovan v Žerjavu (slika 23), kjer pa rezultati kažejo na povprečno lišajsko obrast (razred 3) z indeksom 18,7.



Slika 22: Ludranski vrh (foto: T. Sterže, 2022).



Slika 23: Žerjav (foto: T. Sterže, 2022).

Iz rezultatov popisa po slovenski metodi lahko sklepamo, da je stanje lišajske obrasti najboljše pri tleh (IAP_1) in na deblu (IAP_2), kar je verjetno posledica lažjega določevanja oz. popisovanja, kot v krošnji dreves; poleg tega je krošnja tudi onesnaženju bolj izpostavljen del drevesa, zato je tam pričakovati tudi manj grmičastih lišajev v primerjavi z deblom. Kot že prej omenjeno, je slovenska metoda najenostavnejša in tudi najmanj občutljiva na razlike med posameznimi lokacijami, saj popis temelji na oceni številčnosti in pokrovnosti posameznih rastnih oblik lišajev in ne na podrobnem popisu prisotnosti posameznih vrst, kot

na primer VDI metoda. S tem tudi ne dobimo podrobnih rezultatov o stanju okolja v smislu pojavljanja bolj in manj odpornih vrst proti onesnaženju in posamezen tip onesnažila.

Če primerjam rezultate obeh metod, lahko zaključim, da je stanje na lokacijah po obeh metodah primerljivo. Jasno se vidijo razlike med občutljivostjo metod. Pri SI metodi sem 11 od 12 lokacij umestila v enak razred; stanje je bilo v primerjavi z VDI metodo nekoliko slabše. Kot že omenjeno, metoda temelji na oceni številčnosti in pokrovnosti rastišev lišajev in je zato ne moremo uporabiti za pridobivanje konkretnih rezultatov o stanju okolja, lahko pa jo uporabimo kot dopolnilno metodo za primerjavo rezultatov z drugo metodo in tudi za hitro oceno kakovosti zraka in spremljanje v daljšem časovnem obdobju (za spremljanje trendov), kar v Sloveniji tudi poteka v okviru rednega petletnega popisa stanja gozdov. Metoda VDI pa je podala boljše rezultate o stanju okolja oziroma kakovosti zraka v Mežiški dolini, in sicer predvsem zaradi večje občutljivosti metode, kar je posledica popisov prisotnosti različnih vrst lišajev (več različnih vrst in večja številčnost le-teh pomeni bolj kakovosten zrak). Izračunani indeksi zračne čistosti na prostostoječem drevju so pokazali, da je kakovost zraka v Zgornji Mežiški dolini nekoliko boljša od Spodnje Mežiške doline. Na podlagi rezultatov monitoringa epifitskih lišajev z uporabo VDI in SI metode ugotavljamo, da je kakovost zraka na izbranih lokacijah v Mežiški dolini zelo dobra.

4.3. Statistična primerjava

Pri statistični analizi ANOVA (preglednica 24), ki sem jo opravila s SPSS programom, sem si zastavila dve statistični hipotezi:

- *H0: Ne obstaja razlika med vrednostjo za VDI med Zgornjo in Spodnjo Mežiško dolino.*
- *H1: Obstaja razlika med vrednostjo za VDI med Zgornjo in Spodnjo Mežiško dolino.*

Rezultati statistične analize kažejo, da je vrednost Sig = 0,156 večja od mejne vrednosti 0,05, zato hipoteze H0 ne moremo zavreči, kar pomeni, da med Zgornjo in Spodnjo Mežiško dolino ni statistično pomembne razlike (povprečni vrednosti se ne razlikujeta pomembno, da bi lahko govorili o razliki).

Preglednica 24: Statistična primerjava Zgornje s Spodnjo Mežiško dolino.

	Število	Povprečje	Standardni odklon	Statistična napaka	F	Sig.
Zgornja Mežiška dolina	6	4,8333	0,40825	0,16667		
Spodnja Mežiška dolina	6	4,1667	0,98319	0,40139		
Med skupinama					2,353	0,156
Skupaj	12	4,5000	0,79772	0,23028		

Ker imam za opravljanje podrobne statistične analize (pre)malo število podatkov, ti pa se med seboj skoraj ne razlikujejo (ne odstopajo veliko od povprečne vrednosti oz. sta standardni odklon in standardna napaka majhna), ne moremo govoriti o statistično pomembni razliki med njimi. Zato sem statistično analizo opravila samo za VDI metodo, saj so podatki pri SI metodi za 11 od 12 lokacij enaki in analiza ni smiselna.

Ker so lokacije med sabo primerljive, statističnih razlik niti nisem pričakovala. Na prisotnost vrst epifitskih lišajev, ki sem jo preučevala v nalogi, vplivajo bolj plinasta onesnažila – žveplov dioksid in dušikovi oksidi – in glede teh onesnažil se Spodnja in Zgornja Mežiška dolina ne razlikujeta preveč, zato tudi ni značilnih razlik. Razlike pa bi pričakovali, če bi merili na primer vsebnosti težkih kovin v steljkah lišajev (aktivni monitoring).

Statistično gledano torej ne moremo govoriti o razlikah med Spodnjo in Zgornjo Mežiško dolino, medtem ko pri konkretnih izračunih indeksov zračne čistosti po VDI metodi lahko opazimo, da je stanje v Zgornji Mežiški dolini nekoliko boljše od stanja v Spodnji Mežiški dolini, kar lahko verjetno pripišemo gostejši poselitvi, bolj s prometom in plinskimi onesnaževali obremenjeni Spodnji Mežiški dolini. Predvidevam, da bi bili pri ugotavljanju koncentracij težkih kovin v steljkah lišajev rezultati drugačni.

4.4. Analiza hipotez

V nalogi sem si zastavila tudi tri hipoteze:

H1: V Zgornji Mežiški dolini najdemo manj vrst lišajev, kar kaže na slabšo kakovost zraka v primerjavi s Spodnjo Mežiško dolino.

Popis po SI metodi kaže na primerljivo stanje med obema deloma Mežiške doline. S popisom vrst po VDI metodi sem na lokacijah v Spodnji Mežiški dolini skupno popisala 27 vrst lišajev, v Zgornji Mežiški dolini pa 25. Čeprav sem v Zgornji Mežiški (slika 24) dolini popisala manj vrst, pa se le-te pojavljajo pogostejše, zato tudi izračunani indeksi zračne čistosti kažejo na nekoliko boljšo kakovost zraka v Zgornji Mežiški dolini. Hipotezo lahko delno potrdim.



Slika 24: Bogata lišajska obrast na Ludranskem vrhu (foto: T. Sterže, 2022).

H2: Grmičaste lišaje najdemo na večini lokacij.

Popis rastnih oblik lišajev (številčnost in pokrovnost) sem izvedla s SI metodo. Ugotovila sem, da grmičaste lišaje najdemo na večini lokacij. Popisala sem jih na 10 od 12 lokacij, večinoma na deblu in v krošnji. Na nobeni izmed lokacij grmičastih lišajev nisem popisala na vseh 6 drevesih. Največ sem jih popisala na lokaciji Podkraj pri Mežici (slika 25), na 4 od 6 dreves, najmanj pa na Lešah, na 1 od 6 dreves. Nekatere vrste sem identificirala samo na eni izmed lokacij, na primer *Bryoria fuscescens* (slika 26) in *Ramalina* sp. Na dveh lokacijah, Holmec in Pristava, grmičastih lišajev nisem našla. Hipotezo lahko potrdim.



Slika 25: Podkraj pri Mežici (foto: T. Sterže, 2022).



Slika 26: *Bryoria fuscescens* (Gyelnik) Brodo & D. Hawksw (foto: T. Sterže, 2022).

H3: Kakovost zraka v občini Ravne na Koroškem je najboljša na Šteharskem vrhu, najslabša pa na Navrškem vrhu.

Ker prebivam v občini Ravne na Koroškem in me stanje na tem območju najbolj zanima, sem tretjo hipotezo omejila na to območje. Ker je Šteharski vrh na najvišji nadmorski višini in najdlje od virov onesnaženja, sem predvidevala, da je tam stanje najboljše. Tudi rezultati popisa in izračuna zračnega indeksa so pokazali, da je stanje na tej lokaciji najboljše. Skladno s hipotezo bi bilo stanje najslabše na Navrškem vrhu (slika 27), saj je lokacija najbližje izpustom iz Železarne Ravne in močno obremenjeni glavni cesti Ravne – Prevalje. Lokacija z najslabšim stanjem zraka v občini Ravne na Koroškem se je izkazala lokacija Preški vrh. Najslabše stanje lišajev na tej lokaciji je lahko posledica bližine kmetijskih površin, naselja Kotje in glavne ceste. Hipotezo lahko delno potrdim.



Slika 27: Navrški vrh (foto: T. Sterže, 2022).

5. POVZETEK

Spreminjanje okolja je najpogostejše posledica človekove dejavnosti. Spreminjanje Mežiške doline zaradi rudarjenja se še danes odraža na okolju in na zdravju ljudi. Eden izmed najpomembnejših dejavnikov, ki vplivajo na naše zdravje je onesnažen zrak, ki je posebej problematičen v mestih in na območjih večje industrijske dejavnosti.

Med ukrepe za preprečevanje onesnaževanja zraka spada tudi monitoring, s katerim ugotavljamo koncentracije posameznih onesnažil v okolju. Vedno bolj pa je uveljavljen tudi biomonitoring z uporabo bioindikatorskih organizmov, ki s svojo prisotnostjo oz. odsotnostjo odražajo stanje v okolju. Med takšne organizme sodijo tudi lišaji, ki jih uporabljamo pri pasivnem ali aktivnem biomonitoringu.

Poznamo grmičaste, listaste in skorjaste lišaje. Prvi so zaradi največje površine proti onesnaženju najbolj občutljivi. Na lišaje najbolj vplivajo plinasta onesnaževala, kot je žveplov dioksid. Z njimi lahko ugotavljamo tudi prisotnost težkih kovin, vplive eutrofikacije, kislega dežja in drugih substanc v okolju. Zaradi vsesplošne razširjenosti, številnih različnih rastišč in njihove zgradbe je bioindikacija z lišaji ena izmed najstarejših in najpogostejše uporabljenih metod.

V nalogi sem na podlagi popisa vrst in rastnih oblik epifitskih lišajev ocenjevala kakovost zraka v Mežiški dolini. Na območju Spodnje in Zgornje Mežiške doline sem na 12 lokacijah opravila popis vrst in izračunala indekse zračne čistosti, na podlagi katerih sem lokacije uvrstila v posamezne razrede kakovosti. Ugotavljala sem predvsem stanje onesnaženosti s plinastimi onesnažili.

Popise sem opravila po dveh metodah, SI in VDI metodi. Slovenska (SI) metoda temelji na popisu prisotnih rastnih oblik lišajev in je primerna za popise na prostostojećem drevju in v gozdu. Nemška (VDI) metoda pa temelji na popisu prisotnosti posameznih vrst lišajev in je primerna za popise na prostostojećem drevju zunaj gozda. Poda nam natančnejše rezultate za ocenjevanje stanja okolja. Na podlagi pridobljenih rezultatov sem izračunala indekse zračne čistosti, na podlagi katerih sem lokacije uvrstila v posamezne razrede kakovosti.

Rezultati po SI metodi so pokazali, da je stanje med lokacijami primerljivo. 11 lokacij od 12 sem uvrstila v razred 3, kar pomeni srednjo onesnaženost in eno lokacijo (Holmec, Prevalje) v razred 4, ki pomeni onesnaženo. Stanje je bilo po rezultatih popisa SI metode najboljše v Žerjavu.

Rezultati popisa po VDI metodi so pokazali, da je na 8 od 12 lokacijah zrak zelo čist. Najboljše stanje dosega lokacija Lom v občini Mežica, najslabše pa lokacija Holmec v Prevaljah. Glede na to, da sta obe metodi na tej lokaciji pokazali najslabše stanje, to pripisujem s prometom močno obremenjeni glavni cesti, kjer je tudi mejni prehod Holmec. Na podlagi tega sklepam, da je obremenjevanje z izpusti iz prometa (SO_2 , NO_x) glavni vzrok za slabše stanje kot na preostalih lokacijah.

Za dokazovanje pomembnosti mikroklimatskih pogojev pri pojavnosti lišajev sem popis po VDI metodi (kljub neprimernosti metode za popise v gozdu) izvedla tudi na 4 lokacijah v gozdu. Rezultati so pokazali na bistveno slabše stanje in na manj prisotnih vrst lišajev, kar pa

pripisujem tudi drugačnim okoljskim pogojem, ki omejujejo rast lišajev (premalo svetlobe, drugačna količina vlage, nadmorska višina ...).

Za vsako lokacijo sem s pomočjo literature določila tudi indekse toksitolerance za posamezne vrste lišajev. Toksitoleranca nam pove, koliko je določena vrsta odporna proti onesnaženju. Na podlagi teh podatkov sem nato izračunala povprečne vrednosti in ugotovila, kako odporne vrste se pojavljajo. Ugotovila sem, da se na 8 od 11 lokacij pojavljajo pretežno vrste z indeksom 7, kar pomeni, da tam najdemo bolj odporne vrste. Na preostalih lokacijah se večinoma pojavljajo vrste z indeksom 6. Rezultati so kljub zelo majhnim razlikam med lokacijami primerljivi; upoštevanje in izračun povprečnih frekvenc pojavljanja se je izkazalo za zelo pomembno, saj nam odpornost prisotnih vrst poda podrobnejši vpogled v stanje okolja.

Za rezultate VDI metode sem opravila tudi statistično analizo ANOVA, ki je pokazala, da med Spodnjo in Zgornjo Mežiško dolino ni statistično pomembnih razlik. Ker so lokacije med sabo primerljive, statističnih razlik niti nisem pričakovala. Razlike pa bi pričakovali, če bi merili na primer vsebnosti težkih kovin v steljkah lišajev (aktivni monitoring) in če bi pri raziskavi uporabili več lokacij oz. večje območje raziskovanja (npr. celotno Koroško). Na prisotnost vrst, ki sem jo preučevala v nalogi, bolj vplivajo plinasta onesnažila – žveplov dioksid in dušikovi oksidi. Glede teh onesnažil se Spodnja in Zgornja Mežiška dolina ne razlikujeta preveč, zato tudi ni značilnih razlik.

Zaradi zgodovine onesnaženja Mežiške doline sem pričakovala bistveno slabše rezultate in manj identificiranih vrst lišajev. Ker sem v nalogi proučevala le vpliv plinastih onesnažil na stanje lišajske obrasti, bi bilo v prihodnje dobro opraviti tudi analizo težkih kovin v steljkah lišajev.

Zastavila sem si tri hipoteze, s katerimi sem preverjala, ali v Zgornji Mežiški dolini najdemo več vrst lišajev kot v Spodnji Mežiški dolini in ali grmičaste lišaje najdemo na večini lokacij. S tretjo hipotezo sem ugotavljala, ali je kakovost zraka najboljša na Šteharskem vrhu, najslabša pa na Navrškem vrhu. Grmičaste lišaje sem popisala na 10 od 12 lokacij, zato sem hipotezo potrdila. S popisom vrst po VDI metodi sem na lokacijah v Spodnji Mežiški dolini skupno popisala 27 vrst lišajev, v Zgornji Mežiški dolini pa 25, vendar se vrste tam pojavljajo pogostejše, zato tudi izračunani indeksi zračne čistosti kažejo na nekoliko boljšo kakovost zraka v Zgornji Mežiški dolini. Popis v občini Ravne na Koroškem je pokazal, da je najboljša kakovost zraka na lokaciji Šteharski vrh, najslabša pa na lokaciji Preški vrh, kar je v nasprotju z mojimi predvidevanji. Obe hipotezi sem zato delno potrdila.

6. SUMMARY

Most often, changing the environment is the result of human activity. Changes in the Mežiška Valley because of mining still affect the environment and people's health today. One of the most important factors affecting our health is polluted air which is especially problematic in cities and areas of major industrial activity.

Measures to prevent air pollution also include monitoring which is used to determine the concentrations of individual pollutants in the environment. Biomonitoring with the use of bioindicator organisms is more and more established. The former reflects the state of the environment with the presence or the absence of the latter. Such organisms also include lichens which we use in passive or active biomonitoring.

We know bushy, leafy, and barky lichens. The first lichens are the most sensitive to pollution because of their largest surface area. Gaseous pollutants, such as sulfur dioxide, affect lichens the most. They can also be used to determine the presence of heavy metals, the effects of eutrophication, acid rain, and other substances in the environment. Because of its universal distribution, many different habitats, and their structure, bioindication with lichens is one of the oldest and most frequently used methods.

In the thesis, I evaluated the air quality in Mežiška Valley based on the list of species and growth forms of epiphytic lichens. In the area of Lower and Upper Mežiška Valley, I performed an inventory of species at 12 locations and calculated air purity indexes based on which I classified the locations into individual quality classes. I mainly noted the state of pollution with gaseous pollutants.

In the thesis, I evaluated the air quality in Mežiška Valley based on the list of species and growth forms of epiphytic lichens. In the area of Lower and Upper Mežiška Valley, I performed an inventory of species at 12 locations and calculated air purity indices, based on which I classified the locations into individual quality classes. I was mainly ascertaining the state of pollution with gaseous pollutants.

I performed the inventories using two methods, the SI and the VDI method. The Slovenian (SI) method is based on the inventory of lichen growth forms present and is suitable for inventories on lone-standing trees and in the forest. The German (VDI) method is based on the inventory of the presence of individual lichen species and is suitable for inventories on lone-standing trees outside the forest. It gives us more accurate results for evaluating the state of the environment. Based on the obtained results, I calculated the air cleanliness indexes based on which I classified the locations into individual quality classes.

The results according to the SI method showed that the situation between the locations is comparable. I classified 11 locations out of 12 in class 3 which means medium pollution and one location (Holmec, Prevalje) in class 4 which means pollution. According to the results of the SI method inventory, the situation was the best in Žerjav.

The results of the inventory according to the VDI method showed that the air is very clean in 8 out of 12 locations. The best condition is achieved at the location Lom in the municipality of Mežica and the worst at the location Holmec in Prevalje. With regards to the fact that both methods showed the worst condition at this location, I attribute this to the heavily trafficked main road where the Holmec border crossing is also located. Based on this conclusion, the

burden of traffic emissions (SO_2 , NO_x) is the main cause of a worse situation than in the remaining locations.

To prove the importance of microclimatic conditions in the occurrence of lichens, I also carried out an inventory using the VDI method (despite the inappropriateness of the method for inventories in the forest) at 4 locations in the forest. The results showed a significantly worse condition and fewer types of lichen present, which I also attribute to different environmental conditions that limit the growth of lichen (insufficient light, different amount of moisture, altitude, etc.).

Utilizing the literature, I also determined toxic tolerance indexes for individual types of lichens for every location. Toxic tolerance tells us how resistant a certain species is to pollution. Based on this data, I then calculated the average values and ascertained how resistant species appear. I ascertained that in 8 out of 11 locations species with an index of 7 appear predominantly, which means that we can find more resistant species there. In the remaining locations, species with an index of 6 mostly appear. The results are comparable despite very small differences between the locations. Taking into account and calculating the average frequencies of appearance proved to be very important because the resistance of the species present gives us a more detailed insight into the state of the environment.

I also performed ANOVA statistical analysis for the results of the VDI method. The analysis showed that there are no statistically significant differences between the Lower and the Upper Mežiška Valleys. Since the locations are comparable, I did not even expect statistical differences. However, the differences would be expected if, for example, the content of heavy metals in lichen litter was measured (active monitoring) and if we used several locations in the research or a larger research area (e.g. the entire Carinthia). The presence of the species that I studied in the thesis is more influenced by gaseous pollutants – sulfur dioxide and nitrogen oxides. Regarding these pollutants, Lower and Upper Mežiška Valleys do not differ too much. Therefore, there are no characteristic differences either.

Because of the history of pollution in the Mežiška Valley, I expected significantly worse results and fewer identified lichen species. Since in the thesis I only studied the influence of gaseous pollutants on the state of the lichen vegetation, it would be good to carry out an analysis of heavy metals in the lichen litter in the future.

I set up three hypotheses by which I was checking whether more species of lichens are found in the Upper Mežiška Valley than in the Lower Mežiška Valley and whether bushy lichens are found in most locations. By the third hypothesis, I was ascertaining whether the air quality is the best in Štebarski vrh and the worst in Navrški vrh. I recorded bushy lichens in 10 out of 12 locations. Therefore, I confirmed the hypothesis. Using the VDI method, I recorded a total of 27 species of lichen at locations in the Lower Mežiška Valley and 25 in the Upper Mežiška Valley. However, the species occur more often there. Therefore, the calculated air purity indexes also indicate slightly better air quality in the Upper Mežiška Valley. The inventory in the municipality of Ravne na Koroškem showed that the best air quality is at the Štebarski vrh location and the worst at the Preški vrh location, which is contrary to my predictions. Therefore, I partially confirmed both hypotheses.

VIRI IN LITERATURA

- ARSO. 2001. Pregled stanja biotske in krajinske pestrosti v Sloveniji. Medmrežje: https://www.arso.gov.si/narava/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/biotska_raznovrstnost2.pdf (11. 11. 2021)
- ARSO. 2009. Kazalci okolja: Spremljanje onesnaženosti zraka z uporabo epifitskih lišajev. Medmrežje: <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/spremljanje-onesnazenosti-zraka-z-uporabo-epifitskih-lisajev> (16. 12. 2021)
- ARSO. 2011. Monitoring kakovosti zunanjega zraka v Zgornji Mežiški dolini v letu 2010. Medmrežje: http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/MonitKakoZraka%C5%BDerjav%20_%202010.pdf (12. 8. 2022)
- Batič, F., Kastelec, D., Skudnik, M., Kovač, M. (2011). *Analiza stanja lišajev v popisu stanja gozdov v letu 2007*. Gozdarski vestnik, letnik 69. številka 5/6, str. 312-321.
- Batič, F., Kralj, A. (1995). *Bioindikacija onesnaženosti ozračja v gozdovih z epifitskimi lišaji*. Zbornik gozdarstva in lesarstva. 1995. št. 47, str. 5–56.
- Detela, L., Tomažič, G. (1947). *Botanika za višje razrede gimnazij*. Ljubljana: DZS.
- Fränzle, O. (2003). *Bioindicators and environmental stress assessment*. V: Bioindicators & Biomonitoring. Principles, Concepts and Applications. Markert B. A., Breure A.M., Zechmeister H. G. (ed.). Elsevier: Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo.
- Hovnik, K. 2020. Diplomsko delo: Prikaz dosežkov sanacijskega programa za svinec v Mežiški dolini. Medmrežje: <http://www.vsvs.si/wp-content/uploads/2020/02/DIPLOMSKO-DELO-Kaja-Hovnik-23.1...pdf> (8. 1. 2022)
- Jelenko I., 2011. Čeljusti srnjadi (*Capreolus capreolus* L.) kot bioindikator onesnaženosti okolja in pripomoček za trajnostno upravljanje s srnjadjo in njenimi habitati: doktorska disertacija. Ljubljana: 2011. XIII f., 215 str.
- Jelenko I., Pokorny B., 2010. Historical biomonitoring of fluoride pollution by determining fluoride content in roe deer (*Capreolus capreolus* L.) antlers and mandibles in the vicinity of the largest Slovenian Thermal Power Plant. Science of the Total Environment 409: 430-438.
- Kirschbaum, U., Wirth, V. (1997). Flechten erkennen – Luftgüte bestimmen. Stuttgart: E. Ulmer.
- Kolenc, M. 2012. Diplomski seminar: Ugotavljanje vpliva prometa na kakovost zraka v Vipavski dolini z lišaji kot bioindikatorji. Medmrežje: https://www.famnit.upr.si/files/zakljucna_dela_repo/8 (23. 10. 2021)
- Maguša, R. 2012. Diplomsko delo: Bioindikacija stanja zraka in okolja v Slovenskih goricah s pomočjo epifitskih lišajev po različnih metodah. Medmrežje: http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/biologija/dn_magusa_roman.pdf (27. 10. 2021)

Markert, B. A., Breure, A. M., Zechmeister, H. G. (2003). *Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment*. V: Bioindicators & Biomonitoring. Principles, Concepts and Applications. Markert B. A., Breure A. M., Zechmeister H. G. (ed.). Elsevier: Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo.

Mastnak, M. (2007). *Pogled v rastlinski svet: Celovit priročnik o rastlinah*. Ljubljana: Rokus.

Medmrežje 1: http://www.sanacija-svinec.si/public/dolgoroni_plan.pdf (21. 1. 2022)

Nash H., T. (1996). *Lichen biology*. Cambridge: Cambridge University press.

NIJZ. 2020. Poročilo o izvajanju programa ukrepov za izboljšanje kakovosti okolja v Zgornji Mežiški dolini za leto 2020. Medmrežje: http://www.sanacija-svinec.si/public/2020_MOP_PORO%C4%8CILO_NIJZ.pdf (25.8.2022)

NIJZ. 2021. Nove globalne smernice o kakovosti zraka Svetovne zdravstvene organizacije (SZO). Medmrežje: <https://www.nijz.si/sl/nove-globalne-smernice-o-kakovosti-zraka-svetovne-zdravstvene-organizacije-szo> (19. 10. 2021)

Pavšič Mikuz, P. 2005. Magistrsko delo: Kovine in mikroelementi v mahovih in epifitskih lišajih na območju Slovenije. Medmrežje: http://www.e-net-okolje.si/eno/magistrsko_delo-Petra_Pavsic_Mikuz.pdf (20. 10. 2021)

Pokorny B., 2003. Notranji organi in rogovje srnjadi (*Capreolus capreolus* L.) kot bioindikatorji onesnaženosti okolja z ioni težkih kovin. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 193 s.

Pokorny B., Adamič M., Ribarič-Lasnik C., 2004. Nihajoča asimetrija rogovja srnjakov (*Capreolus capreolus* L.) kot kazalec onesnaženosti okolja in pripomoček za upravljanje s populacijami. Zb. Gozd. Les. 74: 5-40.

Pokorny B., Ribarič-Lasnik C. 2000. Lead, cadmium and zinc in tissues of roe deer (*Capreolus capreolus*) near the lead smelter in Koroška region (northern Slovenia). Bull. Environ. Contam. Toxicol., 64: 20-26

Pokorny B., Ribarič-Lasnik C. 2002. Seasonal variability of mercury and heavy metals in roe deer (*Capreolus capreolus*) kidney. Environ. Pollut., 117: 35-46

Pokorny B., Ribarič-Lasnik C., Doganoc D.Z., Adamič M. 2001. Ledvice srnjadi (*Capreolus capreolus* L.) kot bioindikator onesnaženosti okolja s težkimi kovinami. Zb. Gozd. Les. 64: 143-186

Poličnik, H. (2013). Uporaba epifitskih lišajev kot kazalnikov kakovosti zraka ob izbranih testnih odsekih cest v Sloveniji. Acta Silvae et Ligni, 101: 13-22.

Poličnik, H. 2008. Doktorska disertacija: Ugotavljanje onesnaženosti zraka s kartiranjem epifitskih lišajev in z analizo akumulacije težkih kovin. Medmrežje: http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dd_policnik_helena.pdf (23. 10. 2021)

Polšak, A. 2011. Prispevek na seminarju Drugačna geografija: Mežiška dolina in vrednote prostora. Medmrežje: http://www.drustvo-dugs.si/files/delightful-downloads/2016/11/Meziska_dolina.pdf (22. 1. 2022)

Praprotnik, A. 2018. Magistrsko delo: Podnebne značilnosti Koroške. Medmrežje: <https://dk.um.si/Dokument.php?id=125435> (4. 1. 2022)

Projekt »Reg-kult«. 2022. Premogovnik Holmec. Medmrežje: <http://www.reg-kult.si/Rastocaknjiga/ArtMID/423/ArticleID/48/PREMOGOVNIK-HOLMEC> (12. 7. 2022)

Ribarič Lasnik C., Eržen I., Kugonič N., Pokorny B., Končnik D., Svetina Veder M., Justin B., Druks Gajšek P., Bole M., Rošer Drev A. 2002. *Primerjalna študija onesnaženosti okolja v zgornji mežiški dolini med stanji v letih 1989 in 2001 : končno poročilo*. ERICo. (8. 1. 2022)

Rožič, S. 2016. Diplomsko delo: Vpliv geoloških in geomorfoloških značilnosti na poselitev Mežiške doline. Medmrežje: <https://dk.um.si/Dokument.php?id=88555> (4. 1. 2022)

RRA Koroška, 2014. Regionalni razvojni program za Koroško razvojno regijo 2014 – 2020. Medmrežje: https://www.slovenjgradec.si/media/uploads/files/17_RRP%20Koroska%202014-2020_2_osnutek_03072014_poslan_MGRT.pdf (4. 1. 2022)

Rudolf, B. 2014. Diplomsko delo: Spremembe v lišajski flori na Goriškem in preizkušanje interaktivnega določevalnega ključa. Medmrežje: <http://www.ung.si/~library/diplome/OKOLJE/145Rudolf.pdf> (23. 10. 2021)

Šalej, M., Poličnik, H., Kopušar, N., Al Sayegh Petkovšek, S., Glasenčnik, E., Špeh, N. (2005). *Rastlinska bioindikacija in izboljšanje stanja v Šaleški dolini*. Velenje: ERICo, Inštitut za ekološke raziskave.

Vilhar, U., Žlindra, D., Rupel, M., Simončič, P. (2017). *30 let spremljanja stanja gozdov v Sloveniji, Druga dopolnjena izdaja: Spremljanje kakovosti zraka*. Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica.

Wolterbeek, H. T., Garty, J., Reis, M. A., Freitas, M.C. (2003). *Biomonitoring in use: lichens and metal air pollution*. V: Bioindicators & Biomonitoring. Principles, Concepts and Applications. Markert B. A., Breure A. M., Zechmeister H. G. (ed.). Elsevier: Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo.

Zavod za gozdove Slovenije. 2020. Osnutek gozdnogospodarskega načrta gozdnogospodarske enote Mežica. Medmrežje: https://www.gov.si/assets/ministrstva/MKGP/PODROCJA/GOZDARSTVO/Gozdnogospodarski-nacrti/AA_Javne-razgrnitve/Mezica/GGN-GGE-MEZICA-2020-2029-_OSNUTEK.pdf (4. 1. 2022)

PRILOGA 1: Seznam identificiranih epifitskih lišajev na posameznih lokacijah.

Šteharski vrh

Bryoria fuscenscens
Buellia sp.
Candelaria concolor
Candelariella xanthostigma
Cladonia sp.
Evernia prunastri
Hypogymnia physodes
Lecanora chlarotera
Lecanora sp.
Lecanora chlarotera
Lecidella elaeochroma
Lepraria sp.
Parmelia exasperatula
Parmelia glabra
Parmelia saxatilis
Parmelia sulcata
Parmeliopsis ambigua
Phaeophyscia orbicularis
Phlyctis argena
Physcia adscendens
Physcia stellaris
Platismatia glauca
Pseudevernia furfuracea
Usnea sp.
Xantoria candelaria
Xantoria parietina

Preški vrh

Candelariella xanthostigma
Evernia prunastri
Hypogymnia physodes
Lecanora expallens
Lecanora carpinea
Parmelia glabra
Parmelia glabratula
Parmelia pastilifera
Phaeophyscia orbicularis
Phlyctis argena
Physcia adscendens

Navrški vrh

Candelariella reflexa
Candelariella xanthostigma
Cetraria chlorophylla
Cladonia sp.
Evernia prunastri
Hypogymnia physodes
Lecanora pulicaris
Lepraria incana
Parmelia caperata
Parmelia glabra
Parmelia saxatilis
Parmelia sulcata
Phlyctis argena
Physcia adscendens
Usnea sp.
Xantoria parietina

Leše

Candelariella xanthostigma
Cladonia sp.
Parmelia acetabulum
Parmelia glabra
Parmelia pastilifera
Parmelia subrudecta
Parmelia sulcata
Phaecophyscia orbicularis
Phlyctis argena
Physcia adscendens
Xanthoria candelaria

Holmec – dolga brda

Candelariella xanthostigma
Lecanora chlorotera
Lecanora carpineae
Lecidela elaochroma
Lepraria incana
Parmelia flaventior
Parmelia glabra
Parmelia sulcata
Phaecophyscia orbicularis
Phlyctis argena
Physcia adscendens
Xantoria parietina

Brinjeva gora

Candelariella xanthostigma
Hypogymnia physodes
Lecanora chlarotera
Lecanora expallens
Lecanora pullicaris
Lecanora carpinea
Lecidella elaeochroma
Lepraria incana
Ochrolechia sp.
Parmelia glabra
Parmelia sulcata
Phaecophyscia orbicularis
Phlyctis argena
Physcia adscendens
Xanthoria candelaria
Xanthoria parietina

Onkraj Meže

Candelariella xanthostigma
Cladonia sp.
Evernia prunastri
Lecanora carpinea
Lecanora conizaeoides
Lecanora carpinea
Lecidella elaeochroma
Lepraria incana
Parmelia glabra
Parmelia subargentifera
Parmelia sulcata
Phaecophyscia orbicularis
Phlyctis argena
Physcia adscendens
Xanthoria candelaria
Xanthoria parietina

Lom

Candelariella xanthostigma
Cladonia sp.
Evernia prunastri
Lecanora chlarotera
Lecanora pullicaris
Lecidella elaeochroma
Lepraria incana
Parmelia ambigua

Parmelia glabra
Parmelia subrudecta
Parmelia sulcata
Phaecophyscia orbicularis
Phlyctis argena
Physcia adscendens
Xanthoria candelaria
Xanthoria parietina

Podkraj pri Mežici

Candelaria xanthostigma
Evernia prunastri
Lecanora carpinea
Lecanora chlorotera
Lecanora pullicaris
Lecidella elaeochroma
Lepraria incana
Parmelia glabra
Parmelia sulcata
Phaecophyscia orbicularis
Phlyctis argena
Physcia adscendens
Pseudevernia furfuracea
Usnea sp.
Xanthoria parietina

Pristava

Candelariella xanthostigma
Lecanora pullicaris
Lecidella elaeochroma
Lepraria incana
Parmelia glabra
Parmelia sulcata
Phaecophyscia orbicularis
Phlyctis argena
Physcia adscendens
Platismatia glauca
Xanthoria parietina

Žerjav

Candelariella xanthostigma
Evernia prunastri
Lecidella elaeochroma
Parmelia exasperatula
Parmelia flaventior

Parmelia glabra
Parmelia sulcata
Phaecophyscia orbicularis
Phlyctis argena
Physcia adscendens
Physcia stellaris
Usnea sp.
Xanthoria parietina

Ludranski vrh

Candelariella xanthostigma
Evernia prunastri
Evernia prunastri
Hypogymnia farinacea
Hypogymnia physodes
Hypogymnia tubulosa
Lecanora carpineae
Lecidella elaeochroma
Lepraria incana
Parmelia flaventior
Parmelia glabra
Parmelia sulcata
Parmeliopsis ambigua
Phaecophyscia orbicularis
Phlyctis argena
Physcia adscendens
Pseudevernia furfuracea
Usnea sp.