

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE
VIRE

Maja VRČKOVNIK

**UPORABA MAHOV KOT BIOINDIKATORJEV ZA
UGOTAVLJANJE KOLIČINE USEDA DUŠIKOVIH
IN ŽVEPLOVIH SPOJIN V GOZDNE
EKOSISTEME**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2013

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Maja VRČKOVNIK

**UPORABA MAHOV KOT BIOINDIKATORJEV ZA UGOTAVLJANJE
KOLIČINE USEDA DUŠIKOVIH IN ŽVEPLOVIH SPOJIN V GOZDNE
EKOSISTEME**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**THE APPLICATION OF MOSSES AS INDICATORS OF THE AMOUNT
OF NITROGEN AND SULPHUR DEPOSITION IN FOREST
ECOSYSTEMS**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2013

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija gozdarstva. Opravljeno je bilo na Gozdarskem Inštitutu Slovenije, Oddelek za načrtovanje in monitoring gozdov in krajine, Večna pot 2, Ljubljana, ter Institutu Jožef Stefan, Odsek za znanost o okolju, Jamova 39, Ljubljana.

Komisija za študij in študentska vprašanja Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF je dne 21. 6. 2012 sprejela temo in za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Franca Batiča in somentorja dr. Primoža Simončiča, za recenzenta pa prof. dr. Majo Jurc.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik komisije:

Član:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana se strinjam z objavo naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična nalogi v tiskani verziji.

Maja Vrčkovnik

KJLUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn
DK GDK114.521.6:172.9(043.2)=163.6
KG bioindikacija/mahovi/gozdni ekosistemi/dušik/žveplo/Slovenija
KK
AV VRČKOVNIK, Maja
SA BATIČ, Franc (mentor)/SIMONČIČ, Primož (somentor)
KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI 2013
IN UPORABA MAHOV KOT BIOINDIKATORJEV ZA UGOTAVLJANJE KOLIČINE USED A DUŠIKOV I H I N ŽVEPLOV I H SPOJ I N V GOZDNE EKOSISTEME
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP VIII, 46 str., 5 pregl., 15 sl., 1 pril., 56 vir.
IJ sl
JI sl/en

AI V diplomski nalogi so bile leta 2010 obravnavane vsebnosti dušika in žvepla ter izotopska sestava ($\delta^{15}\text{N}$) v mahovih na območju celotne Slovenije. Mahovi vrste *Hypnum cupressiforme* Hedw. So bili nabrani v gozdnem prostoru na 26 izbranih lokacijah, ki so sestavni del vzorčne mreže 16×16 in 16×8 km. Vsebnosti dušika in žvepla v mahovih so bile izmerjene z elementarnim analizatorjem. Določitve $\delta^{15}\text{N}$ so bile opravljene z masnim spektrometrom za analitiko stabilnih izotopov lahkih elementov. Ugotovljena je bila razlika vsebnosti dušika in žvepla med mahovi, ki smo jih nabrali pod zastorom, in tistimi na prostem. Ugotovljene vsebnosti dušika in žvepla v mahovih so bile večje pod zastorom, kar je najverjetneje posledica izpiranja zračnih onesnažil s krošenj. Pri analizi vsebnosti dušika, žvepla in ($\delta^{15}\text{N}$) pod zastorom in na prostem glede na tip gozda so bile ugotovljene statistično značilne razlike pod zastorom, na prostem pa med iglavci in listavci ni bilo statistično značilnih razlik. Ugotovljeno je bilo, da se vsebnosti obeh elementov z oddaljenostjo od krošenj zmanjšujejo. V nalogi so bili preračunani usedi dušika in žvepla primerjani med državami. Za dušikove usede je bilo ugotovljeno, da je Slovenija z letnim povprečjem 10,2 kg/ha pod švicarskim in nad nemškim povprečjem. Ugotovljen izračun usedov žvepla je bil povprečno 5,5 kg/ha letno, kar je precej več kot v švicarski raziskavi, kjer je bil used 2 kg/ha letno.

KEY WORDS DOCOUMENTATION

ŠD Dn

DK FDC 114.521.6:172.9(043.2)=163.6

KG bioindication/mosses/nitrogen/sulphur/Slovenia

KK

AV VRČKOVNIK, Maja

SA BATIČ, Franc (supervisor)/SIMONČIČ, Primož (co-supervisor)

KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83

ZA University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of forestry and
renewable forest resources

LI 2013

IN THE APPLICATION OF MOSSES AS INDICATORS OF THE AMOUNT OF
NITROGEN AND SULPHUR DEPOSITION IN FOREST ECOSYSTEMS

TD Graduation Thesis (university studies)

OP VIII, 46 p., 5 tab., 15 fig., 1 ann., 56 ref.

IJ sl

JI sl/en

AI The Thesis focuses on the concentration of nitrogen and sulphur as well as the nitrogen isotope ratio ($\delta^{15}\text{N}$) in mosses of the whole Slovenia in year 2010. Moss species *Hypnum cupressiforme* Hedw. was sampled at a forest area on a regular 16×16 km and 8×16 km grid. Nitrogen and sulphur concentrations in mosses were determined with the CNS analyzer. The nitrogen isotope assessment was carried out with the stable isotope mass spectrometry for light elements. The research has shown that there are statistically significant differences between nitrogen and sulphur content in mosses sampled below the canopy and in the gap, with higher nitrogen and sulphur content below the canopy due to canopy drip. It was further found that there are statistically significant differences in nitrogen levels in mosses collected below coniferous and deciduous trees, with higher content found below coniferous trees. For sulphur the difference was not statistically significant, while the $\delta^{15}\text{N}$ value was less negative below deciduous and more negative below coniferous tree. In moss samples collected in the open area no difference neither for N, $\delta^{15}\text{N}$ and S according to type of the tree stand was found. The research shows, that concentration levels of N and S decreases with the distance from the plant crowns. A comparison of the nitrogen and sulphur deposition measured among countries was carried out. The average nitrogen deposition based on moss analysis for 26 locations in Slovenia was estimated to 10.2 kg/ha yearly, which is below the average deposition of Switzerland and above the average deposition of Germany. The average sulphur deposition for 26 locations was estimated to 5.5 kg/ha yearly, which is far above the Swiss average deposition of 2 kg/ha yearly.

KAZALO VSEBINE

	str.
KJLUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	II
KEY WORDS DOCOUMENTATION.....	III
KAZALO VSEBINE	IV
KAZALO PREGLEDNIC.....	VI
KAZALO SLIK.....	VII
KAZALO PRILOG	VIII
1 UVOD.....	1
2 PREGLED OBJAV IN LITERATURE	2
2.1 ONESNAŽENJE ZRAKA.....	2
2.1.1 Onesnaženje zraka z dušikom	2
2.1.1.1 $\delta^{15}\text{N}$ v mahovih	3
2.1.2 Onesnaženje zraka z žveplom	4
2.1.2.1 Onesnaženje z žveplovim dioksidom v Sloveniji	5
2.2 METODE SPREMLJANJA ONESNAŽENJA ZRAKA	6
2.2.1 Analizne metode.....	6
2.2.1 Biomonitoring in bioindikacija	8
2.2.1.1 Kaj je biomonitoring?.....	8
2.2.1.2 Biomonitoring z mahovi.....	9
2.2.1.2.1 Deblo Bryophyta	11
3 HIPOTEZE	14
4 METODE DELA.....	15
4.1 VZORČENJE.....	15
4.2 NABIRANJE VZORCEV	16
4.3 PRIPRAVA VZORCEV	17
4.4 ANALIZA VZORCEV	17
5 REZULTATI	18
5.1 VSEBNOSTI N, S IN VREDNOSTI $\delta^{15}\text{N}$ V MAHOVIH.....	18
5.1.1 Opisna statistika	18
5.1.2 Depozicija dušika	25

5.2 VARIABILNOST NA PLOSKVI IN MED PLOSKVAMI.....	26
5.3 PRIMERJAVA NA PROSTEM IN POD ZASTOROM.....	27
5.4. DODATNE ZNAČILNOSTI OKOLJA IN NJIHOV VPLIV NA VSEBNOSTI DUŠIKA, ŽVEPLA IN VREDNOSTI $\delta^{15}\text{N}$ V MAHOVIH	31
6 RAZPRAVA IN SKLEPI.....	35
6.1 RAZPRAVA.....	35
6.1.1 Vsebnosti dušika, žvepla in vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ v mahovih	35
6.1.1.1 Primerjava dušikovih in žveplovih usedov z raziskavo v Švici.....	37
6.1.2 Variabilnost na ploskvah in med ploskvami	37
6.1.3 Primerjava vsebnosti pod zastorom in na prostem.....	38
6.1.4 Dodatne značilnosti okolja in njihov vpliv na vsebnosti dušika, žvepla in vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ v mahovih.....	38
6.2 SKLEP	39
7 POVZETEK	40
8 VIRI.....	42
ZAHVALA	
PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Lokacije vzorčenj	15
Preglednica 2: Vsebnosti N in S in vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ za 26 ploskev (podvzorci/ploskev, n = 5).....	19
Preglednica 3: Depozicija dušika (N) in žvepla (S) (kg/ha/leto).....	25
Preglednica 4: Izračunane povprečne vrednosti za izbrane podploskve	26
Preglednica 5: Vsebnosti dušika (N), žvepla (S) in vrednosti izotopa dušika ($\delta^{15}\text{N}$) na prostem in pod zastorom (zastor: združeni, kompozitni vzorec, sestavljen iz n = 5, na prostem srednja vrednost za analize iz petih vzorcev)	27

KAZALO SLIK

Slika 1: Življenjski krog mahov (povzeto po: A Typical Bryophyte Life Cycle, 2012).....	11
Slika 2: <i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw. (fotografija Maja Vrčkovnik)	12
Slika 3: Lokacije vzorčenja leta 2010 (manjka IT-VEN1, ki je zahodnejše).....	16
Slika 4: Vsebnost dušika v tkivih mahov v letu 2010 [mg/g] (meje v legendi so v kvantilih: zelene ploskve so pod povprečjem, rumene so povprečje, rdeče pa so nad povprečjem)...	22
Slika 5: Vsebnost žvepla v tkivih mahov v letu 2010 [μg/g] (meje v legendi so v kvantilih: zelene ploskve so pod povprečjem, rumena so povprečje in rdeče so nad povprečjem)	23
Slika 6: Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ v tkivih mahov v letu 2010 [‰] (meje v legendi so v kvantilih: zelene ploskve so pod povprečjem, rumena so povprečje in rdeče so nad povprečjem)	24
Slika 7: Vsebnost dušika (N) (mg/g) na prostem in pod zastorom.....	28
Slika 8: Vsebnost žvepla (S) (μg/g) na prostem in pod zastorom	29
Slika 9: Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ (‰) na prostem in pod zastorom.....	30
Slika 10: Vsebnost dušika (N) v iglastem in listnatem sestoju na prostem in pod zastorom	31
Slika 11: Vsebnost žvepla (S) v iglastem in listnatem sestoju na prostem in v sestoju	32
Slika 12: Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ v iglastem in listnatem sestoju na prostem in pod zastorom.....	32
Slika 13: Vsebnost dušika (N) glede na oddaljenost mesta vzorčenja od drevesne krošnje	33
Slika 14: Vsebnost žvepla (S) glede na oddaljenost mesta vzorčenja od drevesne krošnje	33
Slika 15: Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ glede na oddaljenost mesta vzorčenja od drevesne krošnje	34

KAZALO PRILOG

Priloga A: Formular za popis mahov

1 UVOD

Onesnaženje zraka je svetovni problem, ki se z naraščanjem prebivalstva stalno povečuje. Navkljub čedalje bolj osveščenemu prebivalstvu se še vedno srečujemo s prevelikimi emisijami onesnažil v ozračje in onesnaženjem okolja nasploh. K temu v največji meri prispevajo industrija, promet, kmetijstvo in drugi antropogeni viri (Erisman in sod., 2011).

V okviru konvencije o daljinskem transportu onesnaženega zraka UN/ECE CRLTAP, katere podpisnica je tudi Slovenija, se izvajajo različni programi, ki si prizadevajo za čistejše ozračje. Pomemben program za zmanjšanje emisij in imisij v ozračje je program EMEP, kjer so sprejeli osem protokolov, ki se zavzemajo za zmanjšanje žveplovih in dušikovih emisij ter drugih onesnažil. Pomembna je tudi delovna skupina WGE (Working Group on Effects CLRTAP), ki proučuje škodljive učinke na gozdove, vode, vegetacijo, zdravje ljudi idr. Poleg ozonskih prekurzorjev ostajajo dušikove emisije še vedno velike in predstavljajo grožnjo ekosistemom (30 years ..., 2011), zato v okviru programa ICP-Vegetation poteka aktivnost posrednega spremljanja useda dušikovih spojin prek mahov kot biomonitorjev.

Z ustreznim monitoringom lahko opozarjamo na prekomerno onesnaževanje; ugotavljamo lahko vrsto onesnažil, njihove koncentracije in prostorske ter časovne trende. V Evropi in tudi drugod po svetu se vse bolj uporablja metoda biomonitoringa z mahovi ali lišaji, ki je zelo poceni in izvedljiva na velikih območjih brez dodatnih tehničnih sredstev (Pavšič Mikuž, 2005).

V nalogi smo ugotavljali vsebnosti žvepla in dušika ter izotopsko sestavo dušika v mahovih nabranih na različnih ploskvah v Sloveniji. Raziskavo smo naredili z mahovi kot akumulacijskimi biomonitorji, ki so dobri kazalci onesnaženosti okolja (Markert in sod. 2003).

V raziskavi leta 2010 smo nabrali vzorce mahov pod krošnjami in v vrzelih na izbranih lokacijah, ki so del sistematične mreže za spremljanje stanja gozdov v Sloveniji. Cilji naloge so ugotoviti povezanost koncentracij žvepla, dušika in $\delta^{15}\text{N}$ v vzorcih mahov pod krošnjami in na prostem. Poleg tega smo prek $\delta^{15}\text{N}$ ugotavljali, kateri viri botrujejo k onesnaženosti z dušikovimi spojinami (NO_x ali NH_y). Izsledke našega dela smo primerjali z izsledki podobnih raziskav v tujini. Cilj je bil tudi ugotoviti, kako različni okoljski dejavniki vplivajo na vsebnost dušika, žvepla in vrednost $\delta^{15}\text{N}$ v mahovih, ter jih primerjati z drugimi državami in tako ugotoviti, če so te velike ali v mejah običajnih vsebnosti oz. vrednosti.

2 PREGLED OBJAV IN LITERATURE

2.1 ONESNAŽENJE ZRAKA

Onesnaženje zraka s plini povzroča težave pri zdravju ljudi, eutrofikacijo in acidifikacijo (zakisljevanje) ekosistemov ter poškodbe na ekosistemih in zgradbah (korozija). Acidifikacija je posledica onesnaženja z žveplovim dioksidom (SO_2) in dušikovimi oksidi (NO_x).

Skupina spojin, imenovane predhodniki ozona, ob povečanju sončnega sevanja vstopijo v različne kemijske reakcije s spojinami in tvorijo plast prizemnega ozona. Povečane koncentracije ozona pri tleh lahko povzročajo draženje oči in grla ter respiratorne težave, predvsem pri starejših ljudeh in otrocih. Med predhodnike ozona štejemo dušikove okside (NO_x), lahkohlapne ogljikovodike brez metana (NMVOC) in ogljikov monoksid (CO) (Izpusti snovi..., 2009).

Izpuste v zrak kategoriziramo glede na sledeče skupine:

- osem osnovnih onesnažil (SO_2 , NO_2 , NH_3 , NMVOC, CO, delci TSP, PM10 in PM2.5),
- kovine (Pb – svinec, Cd – kadmij, Hg – živo srebro),
- težko razgradljive organske spojine POPs – obstojna organska onesnažila (Izpusti snovi ..., 2009).

Glavni viri onesnažil so (11):

- termoelektrarne, toplotne in kotlovnice za daljinsko ogrevanje,
- kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča,
- industrijske kotlovnice in procesi z izgorevanjem,
- tehnološki procesi brez izgorevanja,
- pridobivanje in distribucija fosilnih goriv,
- uporaba topil,
- cestni promet,
- ostali promet,
- neustrezno ravnanje z odpadki,
- kmetijstvo, gozdarstvo in živinoreja,
- narava (Izpusti snovi ..., 2009).

2.1.1 Onesnaženje zraka z dušikom

Dušik je nujno potreben za vse življenjske oblike. V naravi je količina uporabnega dušika zelo majhna in zaradi tega je dušik, skupaj z drugimi hranilnimi snovmi in vodo, eden od

glavnih omejevalnih dejavnikov za proizvodnjo hrane. Človeštvo si je na različne načine prizadevalo povečati pridelek, nujen za prehrano naraščajočega svetovnega prebivalstva. To je pripeljalo do razvoja proizvodnje sintetičnih gnojil (Erisman in sod., 2011).

Spremembe so še večje zaradi sproščanja dušikovih oksidov v ozračje med izgorevanjem fosilnih goriv. Potreba po hrani in energiji na eni strani in vplivi na okolje na drugi so povzročili trenja med različnimi cilji v družbi (Erisman in sod., 2011).

Glavni naravni viri dušikovih emisij so gorenje biomase, razkroj organske snovi, stratosferski vnosi, morski in biološki procesi. Antropogeni viri emisij so izgorevanje premoga, pridobivanje električne energije, ogrevanje, industrija in transport ter proizvodnja živinskih gnojil (Markert in sod., 2003). Pomemben vir dušikovih emisij so tudi gozdni in talni požari (Harmens in sod., 2008).

Harmens in sod. (2008) navajajo, da so antropogeni viri dušikovih oksidov iz prometa, industrije in energetike v letu 2005 predstavljali 70 % vseh emisij dušikovih oksidov.

V zgodnjih 80. so bile emisije dušika v Evropi okrog 35 milijonov ton letno. V sredini 90. se je številka zmanjšala na približno 27 milijonov ton.

Atmosferski usedi dušika (v obliki nitrata in amonijaka) v padavinah in suhi usedi (dušikov dioksid, dušikova kislina in amonijak) so se v zadnjih dveh desetletjih 20. stoletja iz 2–6 kg N/ha/leto povečali na 15–60 (80) kg N/ha/leto (Markert in sod., 2003).

V Sloveniji so se leta 2007 letni izpusti dušikovih oksidov v primerjavi z letom 1987 zmanjšali skoraj za 20 %. Po letu 1992 so se le-ti začeli povečevati, zlasti zaradi povečane gostote prometa z motornimi vozili. Naraščanje je bilo veliko kljub vedno večjemu številu vozil s katalizatorji. Po letu 1997 so se dušikovi oksidi opazno znižali zaradi zmanjšane porabe goriv iz cestnega prometa. Največji delež k celotnim izpustom dušikovih oksidov v letu 2007 je prispeval cestni promet, in sicer 42 % (Izpusti dušikovih..., 2009).

2.1.1.1 $\delta^{15}\text{N}$ v mahovih

Element dušik ima dva stabilna izotopa ^{14}N in ^{15}N , ki imata podobne kemijske lastnosti, zaradi razlike v masi pa se v različnih kemijskih, fizikalnih in bioloških procesih različno obnašata. Ta proces imenujemo frakcionacija ali porazdelitev in jo uporabljamo pri študiju različnih procesov v naravi (Dawson in sod., 2002). Razmerje ^{14}N in ^{15}N v vzorcih primerjamo glede na razmerje obeh izotopov v zraku in podajamo kot vrednost $\delta^{15}\text{N}$:

$$\delta^{15}\text{N} = \left(\frac{R_{\text{vzorec}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000$$
$$R = \frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N}}$$

Enota za podajanje $\delta^{15}\text{N}$ je ‰.

V mahovih vrednost $\delta^{15}\text{N}$ odraža porazdelitev ^{15}N v suhem oz. mokrem usedu (Zechmeister in sod., 2008, Solga in sod., 2005). Dve različni obliki dušika v zraku: oksidi NO_x in reduciran NH_y , imata namreč različno izotopsko sestavo oz. vrednosti ($\delta^{15}\text{N}$). Oksidi dušika so glede na NH_y obogateni z ^{15}N in imajo zato višje vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ (manj negativne oz. pozitivne vrednosti), NH_y so osiromašeni z ^{15}N in imajo zato nižje (bolj negativne vrednosti). Zaradi teh značilnosti glavnih onesnažil z dušikom je mogoče z določitvijo izotopske sestave mahov sklepati na možne vire dušika v zračnem usedu oz. zraku (Kosior in sod., 2007).

V Avstriji so leta 2005 v okviru UN-ECE ICP-Vegetation z mahovi kot bioindikatorji ugotavljali prisotnost dušika in $\delta^{15}\text{N}$. Na 220 lokacijah v 490 vzorcih je bila vsebnost dušika v mahovih med 0,76 % in 1,99 %, vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ pa so se gibale med -10,04 ‰ in -2,45 ‰ (Zechmeister in sod., 2008).

Bolj kot so vrednosti pozitivne oziroma bolj ko se le-te približujejo 0 ‰, bolj nakazuje na vire onesnaževanja NO_x . Medtem ko bolj negativne proti -10 ‰, kažejo na NH_x vire (viri kot posledica intenzivnega kmetijstva) (Zechmeister in sod., 2008).

V študiji (Pearson in sod., 2000) so našli zelo dobro korelacijo med intenzivnostjo prometa in vrednostmi $\delta^{15}\text{N}$. Blizu cest in mestnih avtobusnih linij so bile vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ med 6 ‰ in -1 ‰, v ruralnih območjih z majhnim deležem prometa pa med -2 ‰ in -12 ‰.

Vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ z oddaljenostjo od kmetijskega NH_3 vira, npr. od perutninske farme, padajo eksponentno z onesnaženjem z dušikom. V okolici farme so imeli nabrani mahovi vrednosti od -9,3 ‰ do -11,5 ‰, 276 m stran pa -6,8 ‰ do -8,8 ‰.

Prav tako vrednosti onesnaženja iz urbanih virov eksponentno padajo z oddaljenostjo od urbanih središč (Liu in sod., 2008).

2.1.2 Onesnaženje zraka z žveplom

Žveplov dioksid je v okolju naravnega in človeškega izvora. Naravni viri žvepla v atmosferi so vulkanske aktivnosti, požari in aktivnosti bakterij v morjih in oceanih. Večina antropogenih virov žvepla izvira iz energijskega sektorja in različnih industrij, ki uporabljajo fosilna goriva (Markert in sod., 2003).

Onesnaženje zraka izhaja iz velikih mest in industrije. Problem evropskih mest so bile v času industrializacije emisije žveplovega dioksida, ki so zaradi nepopolnega izgorevanja premoga, katrana in saj izhajale iz mnogih majhnih kurišč (Lövlblad in sod., 2004).

Močna ekonomska rast v letih 1950–1970 je povečala porabo energijskih virov in podvojila emisije žveplovega dioksida v Evropi. Kvaliteta zraka v 70. je bila širom Evrope nezadovoljiva. Poglavitni vir žveplovega dioksida predstavljajo fosilna goriva (kurilno olje, premog in nafta), ki vsebujejo žveplo. Ko fosilna goriva zagorijo, žveplo oksidira v žveplov dioksid, ki se v atmosferi nahaja v obliki plina (Lövbld in sod., 2004).

V letu 1990 je v Evropi kar 56 % žveplovih emisij prispeval sektor 1 (termoelektrarne, toplotne in kotlovnice za daljinsko ogrevanje, industrijske kotlovnice in procesi z izgorevanjem). Sektor 3 (kotlovnice za ogrevanje in mala kurišča) je proizvedel 20 % žveplovih emisij, 10 % pa je prispeval sektor 2 (tehnološki procesi brez izgorevanja). Ostale dejavnosti oz. sektorji so prispevali skupaj 14 % k vsem žveplovim emisijam v letu 1990 (Lövbld in sod., 2004).

Na severni polobli je bil v 90. letih vnos žvepla 3.3 milijona t/leto, od tega so antropogeni viri predstavljali 29 milijonov t/leto (Markert in sod., 2003).

Na začetku obdobja 1980–2000 so mnoge evropske države začele z zmanjševanjem žveplovih emisij v ozračje. Najbolj aktivno politiko zmanjševanja emisij žvepla je potekala v razvitih evropskih državah (Švedska, Nemčija ...), kjer so bile posledice acidifikacije največje. Pomemben premik je z alarmom "umiranja" gozdov povzročila Nemčija (Lövbld in sod., 2004).

Leta 1994 je bil sprejet prvi protokol, ki je temeljil na učinkih onesnaženega zraka, "effects based protocol" za kontrolo emisij zračnih onesnažil, v katerem so za posamezne države določili razmere in cilje ter najvišje nacionalne emisijske ravni, ki so jih podpisnice morale upoštevati. Evropske države so začele intenzivno spremljati žveplove emisije. V številnih večjih emitentih emisij žveplovega dioksida (termoelektrarne, toplotne, industrijski objekti, ...) so pričeli s postopkom razžvepljevanja dimnih plinov. Sledilo je zmanjšanje žvepla v kurilnem olju in zmanjšanje industrijskih emisij (Lövbld in sod., 2004).

V letih 1980–2000 so se v večini držav emisije žveplovega dioksida zmanjšale za okrog 50 % (južno-vzhodne države), v severnih in zahodno-centralnih državah pa celo za 80–90 %.

Leta 1999 je bil sprejet Gotenburški protokol za zmanjšanje štirih najpomembnejših zračnih onesnažil: žveplo, dušikovi oksidi, VOCs in amoniak.

2.1.2.1 Onesnaženje z žveplovim dioksidom v Sloveniji

V Sloveniji so bili v preteklosti najmočnejši viri onesnaženja z žveplom termoelektrarna toplotna Ljubljana, termoelektrarna Trbovlje in termoelektrarna Šoštanj.

Leta 1980 so znašale skupne emisije žveplovega dioksida v Sloveniji okrog 236.000 ton. Skoraj 149.000 ton je prispevala energetika, okrog 55.000 ton industrijske kotlovnice, 28.000 ton mala kurišča in 4.000 ton promet. Letni izpusti žveplovega dioksida v Sloveniji so se od leta 1980 do leta 2007 zmanjšali za 94 %. V letu 1995 so se izpusti žveplovega dioksida glede na predhodna leta znatno zmanjšali, predvsem zaradi delovanja razžvepljevalne naprave na bloku 4 v TE Šoštanj, pa tudi zaradi nižje vsebnosti žvepla v tekočih gorivih. Nadaljnje zmanjšanje je prispevala razžvepljevalna naprava na bloku 5 TE Šoštanj, ki je začela obratovati v drugi polovici leta 2000, in razžvepljevalna naprava v TE Trbovlje, ki je pričela obratovati konec leta 2005. Največji delež k skupnim izpustom, 17.900 ton žveplovega dioksida v letu 2007, so prispevale termoelektrarne in toplarne (TE-TO), in sicer 59 % (Izpusti žveplovega ..., 2009).

2.2 METODE SPREMLJANJA ONESNAŽENJA ZRAKA

2.2.1 Analizne metode

V preteklosti je bila v Sloveniji ena največjih težav onesnaženost zraka z žveplovimi spojinami, kar je ogrožalo zdravje ljudi in prispevalo k takratnemu propadanju gozdov. Z željo po zmanjšanju onesnaževanja je bila leta 1979 v okviru združenih narodov sprejeta prva mednarodna okoljska Konvencija o daljinskem transportu onesnaženega zraka (UN/ECE CLRTAP), ki spada med glavne mednarodne sporazume za področje varstva zraka. Osnovni princip CLRTAP je mednarodno sodelovanje in razdelitev bremena med sodelujoče države. H konvenciji je pristopila večina držav EU, ZDA, Kanada, Sovjetska zveza in kasneje še nekatere druge (Lešnjak in Kovač, 2003).

V okviru konvencije se od leta 1970 izvaja program EMEP, v okviru katerega potekajo intenzivne meritve emisij in imisij zračnih onesnažil. Sprejetih je bilo osem protokolov za zmanjšanje emisij zračnih onesnažil: žveplovih spojin, dušikovih oksidov itd. Spoznanja iz programa o pomenu prekomejnega transporta onesnaženega zraka so bila osnova za pripravo in podpis konvencije CLRTAP (Lešnjak in Kovač, 2003).

Glavni namen EMEP-a je sodelujočim državam redno zagotoviti znanstveno-tehnične informacije za ocenjevanje in razvoj novih protokolov o zmanjšanju emisij v zraku.

Spremljajo naslednje informacije:

- used in koncentracija polutantov v zraku,
- količina in pomen transporta onesnaženega zraka na velike razdalje in preko državnih meja ter na to vezano preseganje kritičnih obremenitev in kritičnih koncentracij,
- scenarij za zmanjševanje emisij (Lešnjak in Kovač, 2003).

V začetku se je program EMEP ukvarjal predvsem s problemi zakisevanja in eutrofikacije, kasneje pa se je razširil na ozon, kovine in težko razgradljiva organska onesnažila (POPs). Od leta 1999 pa se spremlja še tematika lebdečih delcev v zraku.

Program temelji na štirih glavnih elementih:

- meritev kakovosti zraka in padavin (monitoring),
- zbiranje podatkov o prostorski razporeditvi in količini emisij v Evropi,
- modeliranje zračnega transporta in usedanja polutantov,
- celovito modeliranje scenarijev za ekonomsko spremenljivo in ekološko učinkovito zmanjšanje emisij (Lešnjak in Kovač, 2003).

V Sloveniji imamo dve postaji EMEP: Iskrba pri Kočevski Reki in Krvavec. Izbrani področji sta z onesnažili najmanj obremenjeni območji. Na postaji Iskrba merijo in analizirajo dnevne padavine, na Krvavcu pa suhe usede zraka. Vodi in spremlja ju Agencija RS za okolje v okviru nacionalnega programa monitoringa (Kakovost zraka ..., 2012).

Poleg EMEP-a je bila ustanovljena delovna skupina za ugotavljanje učinkov onesnaženega zraka na okolje in ljudi (WGE – Working Group on Effects), ki ugotavlja škodljive učinke na gozdove, vode, materiale, zdravje ljudi in uspešnost sprejetih protokolov za posamezna zračna onesnažila (30 years ..., 2011).

Poleg troposferskega ozona ostajajo dušikove spojine največji problem onesnaženja zraka in grožnja ekosistemom. Zaradi tega se je v okviru programa WGE ICP-Vegetation razvila aktivnost, ki se ukvarja z ugotavljanjem useda dušika spojin z mahovi kot akumulacijskimi bioindikatorji (30 years ..., 2011).

V okviru WGE deluje tudi ICP-Forests, ustanovljen leta 1985. V tesnem sodelovanju z Evropsko komisijo (EC) izvajajo raziskave razvoja stanja gozdov na evropski in nacionalni ravni. V program je vključenih 41 evropskih držav. Letno se spremlja vitalnost dreves na približno 6.000 vzorčnih ploskvah na sistematični mreži 16 x 16 km po celotni Evropi (intenzivnostna raven I). Za boljše razumevanje vpliva onesnaženega zraka in drugih dejavnikov na stanje gozdnih ekosistemov so bile vzpostavljene tudi raziskovalne ploskve intenzivnega monitoringa (raven II) (ICP-Forests.net, 2012).

Ploskev ravni II je v EU približno 800 in na njih se ocenjuje stanje krošenj, prirastek, kemično sestavo listov ter tal. Dodatne meritve, ki se izvajajo na omejenem številu ploskev, pa so: izpusti v ozračje, meteorološki parametri, ocene talne vegetacije in kakovost zraka. Dodatne raziskave, ki sicer niso obvezne, pa se vseeno izvajajo v številnih državah, zajemajo hemisferične fotografije za oceno indeksa listne površine, študije fenologije, fitopatologijo, raziskave opada, dendrokronološke raziskave, raziskave lišajev, mahov, insektov in gliv idr. (Köhl, 2012).

Metoda vzorčenja mahov izvira iz skandinavskih držav, kjer prevladujejo iglasti gozdovi. Že leta 1968/69 so metodo začeli uporabljati za ugotavljanje kovin v onesnaženem zraku. Prvič pa so mahove leta 2005 uporabili za ugotavljanje useda dušikovih spojin (Thöni in sod., 2008).

V Sloveniji program spremljanja stanja gozdov izvaja Gozdarski Inštitut Slovenije. Najprej so leta 1985 izvedli poskusna snemanja na ploskvah ravni I, od leta 1987 pa se izvajajo redna letna snemanja na ploskvah ravni I mreže 16 x 16 km. Izvedba in način izvedbe popisa sta določena s Pravilnikom o varstvu gozdov (2000) (Skudnik in sod., 2011).

Spremljanje stanja gozdov se izvaja na nacionalni mreži, katere osnovni namen je pridobiti pregled nad trenutnim stanjem gozdov ter nad časovnimi in prostorskimi spremembami stanja. V okviru te ravni potekajo vsakoletna snemanja stanja gozdov na 44 ploskvah 16 x 16 km mreže, vsakih 10 let pa na več kot 700 ploskvah 4 x 4 km mreže (Simončič in sod., 2012).

Raziskave na II. intenzivnostni ravni se odvijajo na 10 ploskvah, ki predstavljajo za državo značilne gozdne ekosisteme (Simončič in sod., 2012).

2.2.1 Biomonitoring in bioindikacija

2.2.1.1 Kaj je biomonitoring?

Organizmi, populacije, biocenoze in različni ekosistemi so v naravi podvrženi različnim abiotičnim in biotičnim stresom. Stresne situacije so del vsake biološke organizacije in so pomembne za nadaljnji evolucijski razvoj. V zadnjih stoletjih pa je stresnih dejavnikov zaradi antropoloških vplivov vse več (Markert in sod., 2003). Spremembe v okolju je človek začel spremljati že zgodaj. Med prvimi, ki je uporabil rastline kot indikatorje kvalitete okolja, je bil Clements leta 1920 (cit. po Pavšič Mikuž, 2005).

Biomonitoring so metode opazovanja vplivov zunanjih dejavnikov na ekosistem in njegov razvoj v daljšem časovnem obdobju ali razlike med eno in drugo lokacijo. Izvaja se z bioindikatorji oz. z biomonitorji. Bioindikatorji so organizmi z vsebovano informacijo o kvaliteti okolja. Biomonitorji pa so organizmi, ki vsebujejo informacijo o kvantitativnem vidiku o kvaliteti okolja (Markert in sod., 2003).

Za analizo kemičnih substanc v okolju uporabljamo kvalitativne in kvantitativne metode. Biomonitorji so neposredno primerljivi z elektronskimi merilnimi sistemi. Možno je jasno razlikovati med aktivnim in pasivnim biomonitoringom. Pri pasivnem biomonitoringu analiziramo stanje v okolju in pri tem uporabljamo v njem živeče organizme. Pri aktivnem biomonitoringu pa gre za organizem, ki ga za dalj časa postavimo po standardnem

postopku v proučevano okolje in nato izmerimo vsebnost onesnažil ali spremljamo njegov odziv (Markert in sod., 2003).

Zlasti, kjer imamo opravka z bioindikatorji za kovine, literatura navaja razliko med akumulacijskimi indikatorji in odzivnimi indikatorji. Akumulacijski indikatorji/monitorji so organizmi enega ali več elementov ali spojin iz okolja. Odzivni indikatorji/monitorji so organizmi, ki kažejo specifične ali nespecifične učinke onesnažil (Markert in sod., 2003).

Odzivni indikatorji se zelo hitro odzovejo na stres v okolju in imajo nanj majhen prag tolerance, so stenopotentni organizmi. Akumulacijski indikatorji pa imajo v nasprotju z odzivnimi večji prag tolerance in se na stres v okolju odzivajo s kopičenjem onesnažil (Markert in sod., 2003).

Tipični akumulacijski indikatorji so mahovi, odzivni pa lišaji (Markert in sod., 2003).

Lišaji so odzivni indikatorji, kar pomeni, da lahko v onesnaženem zraku pride do motnje različnih procesov v lišajih. Onesnažila lahko vplivajo na rast, zgradbo, na reprodukcijski potencial idr. Nekateri znaki so vidni na zunaj, npr. obledelost ali potemnelost steljke zaradi onesnažil, ali pa jih na prvi pogled ne moremo zaznati, npr. zmanjšanje reprodukcijskega materiala (Maguša, 2012).

2.2.1.2 Biomonitoring z mahovi

Mahovi (Bryophyta) so samostojen organizacijski tip zelenih rastlin, med algami (Algae) in brstnicami (Cormophyta). Deblo mahov (Bryophyta) je razdeljeno na razrede rogačarji (Anthocerotopsida), jetrenjaki (Marchantiopsida) in listnati mahovi (Bryopsida) (Goffinet in Shaw, 2009).

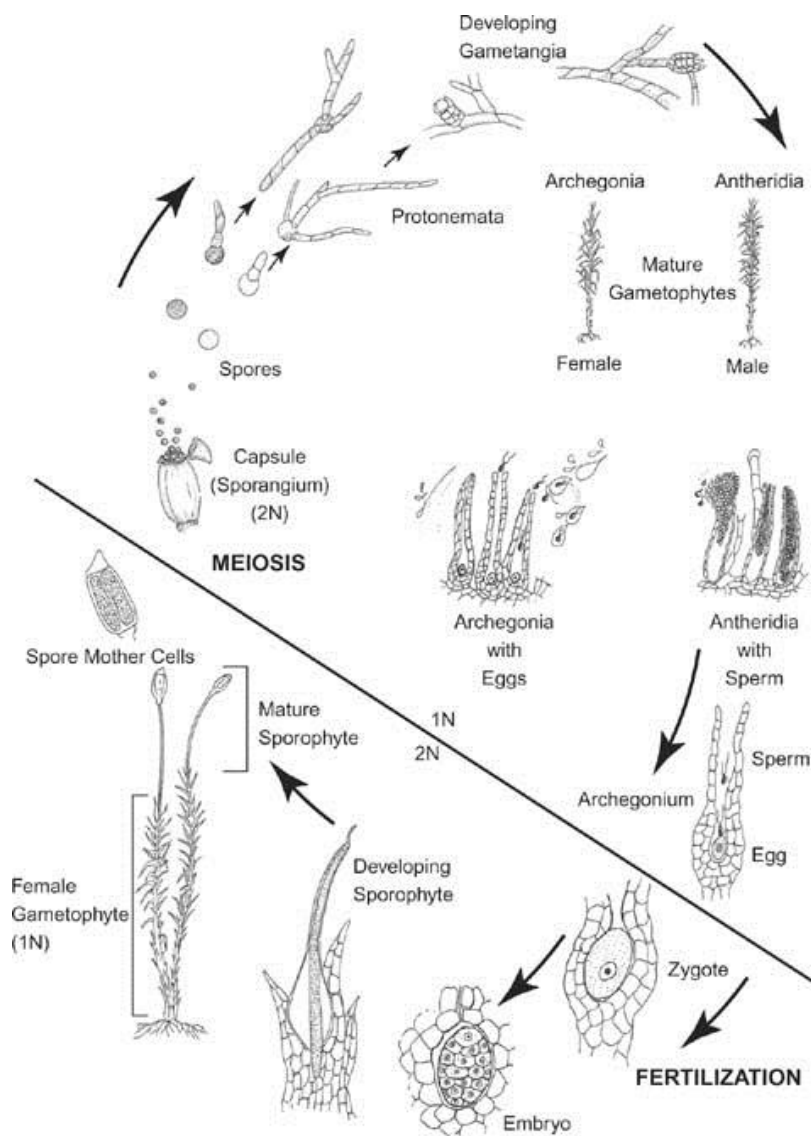
Mahovi so rastline, prilagojene kopenskemu življenju, na kar nakazuje razvoj pričvrščevalnih organov in tkiv, ki omogočajo preživetje na kopnem (rizoide). V življenjskem krogu mahov se pojavljata heterofazna in heteromorfna metageneza, pri čemer je glavna generacija gametofit. Gametofit je avtotrofen in dobro razvit, sporofit pa je povezan z gametofitom in je časovno omejen (Batič in sod., 2003).

Gametofit je običajno enospolen. Pri rogačarjih in delu jetrenjakov je na stopnji tkivne steljke z visoko diferenciranimi tkivi, pri listnatih mahovih in delu jetrenjakov pa zgradba spominja na korm (steblo, list, korenina). Ti organi imajo zelo preprosto tkivno in notranjo zgradbo, zato jih imenujemo: steblo (kavloidi), listi (filoidi) in korenine (rizoidi). Rizoidi so zgrajeni iz cevastih, včasih septiranih celic. V kavloidih so podolgovate prevajalne celice (hidroide in leptoidi) in ne žile kot v steblih pravih kormofitov. Namesto listov so enoplastni filoidi s slabo razvito kutikulo (Batič in sod., 2003).

Zaradi opisanih lastnosti so mahovi poikilohidre rastline, kar pomeni, da ne morejo uravnnavati stalne količine vode v svojih tkivih. Zato je njihova rast omejena na vlažna rastišča, kot so močvirja, barja, sladke vode ali vlažna gozdna podrast. Lahko pa poraščajo tudi ekstremno suha rastišča, kjer oživijo le ob zadostni vlagi.

Mahovi so dvodomni, diecični, kar pomeni, da se arhegoniji in anteridiji razvijajo na ločenih gametofitih. Za oploditev jajčne celice v arhegoniju spermatozoidi nujno potrebujejo vodo. V arhegoniju se po oploditvi začne razvijati embrio, iz katerega nastane sporofit. Sporofit ostaja na gametofitu vse do konca razvoja in je od njega odvisen. Ozeleneli diploidni sporofit v tej fazi imenujemo sporogon, ki je zgrajen iz bazalnega dela, havstorija, iz stebelu podobnega nosilca trosovnika (sete) in trosovnika (sporangija).

V trosovniku steče redukcijaska delitev, kjer nastanejo haploidni trosi, ki se sproščajo iz trosnjaka na osnovi eksplozijskih gibanj. Iz trosov se razvije haploidna, nitasta protonema, iz nje pa haploidni gametofit. Gametofit se lahko razmnožuje tudi nespolno z zarodnimi brstiči steljke (Batič in sod., 2003) (slika 1).



Slika 1: Življenjski krog mahov (povzeto po: A Typical Bryophyte Life Cycle, 2012)

2.2.1.2.1 Deblo Bryophyta

Briofiti so s približno 13.000 vrstami drugo najštevilčnejše deblo v kraljestvu kopenskih rastlin (Goffinet in Shaw., 2009). So majhne rastline, velike pod 5 cm, toda nekatere lahko zrastejo tudi do 70 cm (npr. predstavniki rodov *Polytrichum*, *Dawsonia*). V nasprotju z vaskularnimi rastlinami redko rastejo kot posamične rastline in se večinoma pojavljajo v skupini, kjer tvorijo rušo, blazinice ali druge oblike rasti. Imajo omejeno anatomsko in morfološko organizacijo telesa, ki je v bistvu tkivna streljka, za katere so značilne fiziološke prilagoditve na naravne ali antropogene vrste stresa. Briofiti so številčnejši v vlažnih podnebjih, vendar jih lahko najdemo povsod po svetu, celo v sušnih okoljih (Goffinet in Shaw., 2009).

Štorovo sedje (*Hypnum cupressiforme* Hedw.) je zelo razširjen mah. Je plagiotropno razrastel, z vitko srednje dolgo steljko, običajno veliko 2 cm, z močno zaobljenimi listi, dolžine 1–2 mm, ki se na koncu končajo v dolgo in tanko konico (slika 2).



Slika 2: *Hypnum cupressiforme* Hedw. (fotografija Maja Vrčkovnik)

Mlade steljke so zelene ali obarvane s svetlo rjavo barvo v starejših delih. Kapsule so pogoste in dolge 2,5 mm, njihov pokrov je kljunaste oblike (Atherton in sod., 2010).

Štorovo sedje zelo pogosto raste na kisli do rahlo bazični podlagi in na silikatnih kamninah. Na bolj kislih substratih pa ga nadomesti vrsta *Hypnum andoi* (Atherton in sod., 2010).

Pri popisu mahovne flore v Sloveniji Kutnar in Martinčič (2008) ugotavljata, da je štorovo sedje najpogostejša vrsta mahov v gozdovih. Na 11 ploskvah intenzivnega monitoringa gozdov (IM) mahu omenjene vrste nista našla le na eni ploskvi. Tudi če se je upoštevalo vse tri različne podlage (tla, lesni ostanki in skale), je bila ta vrsta najpogostejša.

Slovenska flora je vrstno zelo bogata z mahovi, ne samo zaradi klimatske in geološko-petrografske raznolikosti, ampak tudi zaradi raznolikosti habitatnih tipov. Listnate mahove tako najdemo na barjih in močvirjih, v alpskem skalovju, na alpskih traviščih, snežnih dolinah ter tudi v številnih toplih in sekundarnih biotopih z obdelano zemljo, starim sadnim drevjem in na opuščenih razvalinah. Zelo pomemben habitat listnatih mahov predstavljajo

naravni gozdovi z zelo majhnim deležem gospodarjenja in pragozdovi z razpadajočo biomaso. To so predvsem dinarski gozdovi Slovenije, kjer je raznolikost listnatih mahov na odmrlem lesu zelo velika (Kutnar in Martinčič, 2008).

Večina mahov je ektohidrična, kar pomeni, da imajo rastline slabo razvit koreninski sistem in nimajo razvite kutikule ter zato sprejemajo večino mineralnih snovi (hranil) in vode prek celotne površine, neposredno iz tal pa le v manjšem obsegu (Woolgrove in Woodin, 1996). Obstaja širok spekter vrst, ki so zelo občutljive na toksične vnose. Toleranca toksičnosti ni odvisna le od vrste, temveč tudi od vrste onesnažila. Po drugi strani pa so mahovi zelo odporni na serijo zelo strupenih snovi (kovine, radioaktivne snovi, toksične organske spojine). Ta onesnažila akumulirajo v sebi (Markert in sod., 2003).

Mahovi so zelo občutljivi bioindikatorji za kontaminacijo s kovinami (Rühling in Steinnes, 1998). Used kovin v mahovih *Hypnum cupressiforme* Hedw. in *Sphagnum pleurozium* je ugotavljal Serdinšek leta 2011.

Prednosti in slabosti uporabnosti mahov kot bioindikatorjev so po Jeranu (2009):

- glavna prednost je relativno poceni metoda monitoringa useda dušika oz. kovin z uporabo mahov, pri kateri ne potrebujemo nobene dodatne infrastrukture in je tako uporabna na veliki površini,
- z analizo samo zelenih delov dobimo časovno definiran podatek,
- slabost metode je, da se vsebnosti dušika oz. kovin razlikujejo glede na vrsto mahu, zato je treba vzorčiti le eno vrsto,
- na vsebnost dušika oz. kovin lahko vplivajo tudi drugi dejavniki, npr. mikrolokacija in letni čas vzorčenja.

Mahovi so dobri indikatorji prisotnosti dušika v atmosferi. V mahovih, ki so jih nabrali ob koncu 80. let 20. stoletja, so bile vsebnosti dušika 50 % večje kot v 50. letih 20. stoletja ter 2–3 krat večje kot v 19. stoletju. V posameznih vrstah mahov, npr. v trirobem resniku (*Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.)), štorovem sedju (*Hypnum cupressiforme* (Hedw.)) in v šotnih mahovih (*Sphagnum* spp.), so se v letih 1950–1990 na območju Velike Britanije vsebnosti dušika povečale z 38 na 63 % (Markert in sod., 2003).

Vsebnosti dušika in žvepla so odvisne tudi od zastrtosti ploskve s krošnjami. Wuyts in sod. (2008) navajajo, da so vsebnosti dušika in žvepla v padavinah pod krošnjami dreves višje kot pa na prostem.

3 HIPOTEZE

Pred izdelavo te naloge smo postavili naslednje hipoteze:

- onesnaženje z dušikom na območju Slovenije se ni zmanjšalo, kot bi pričakovali glede na navedbe literature,
- da so izmerjene vsebnosti dušika in žvepla v mahovih večje, kot bi pričakovali glede na podatke, ki jih navajajo druge države,
- da bodo izmerjene vsebnosti dušika in žvepla večje pod zastorom kot v vrzelih,
- da se bodo vsebnosti dušika in žvepla povečale z bližino krošenj.

4 METODE DELA

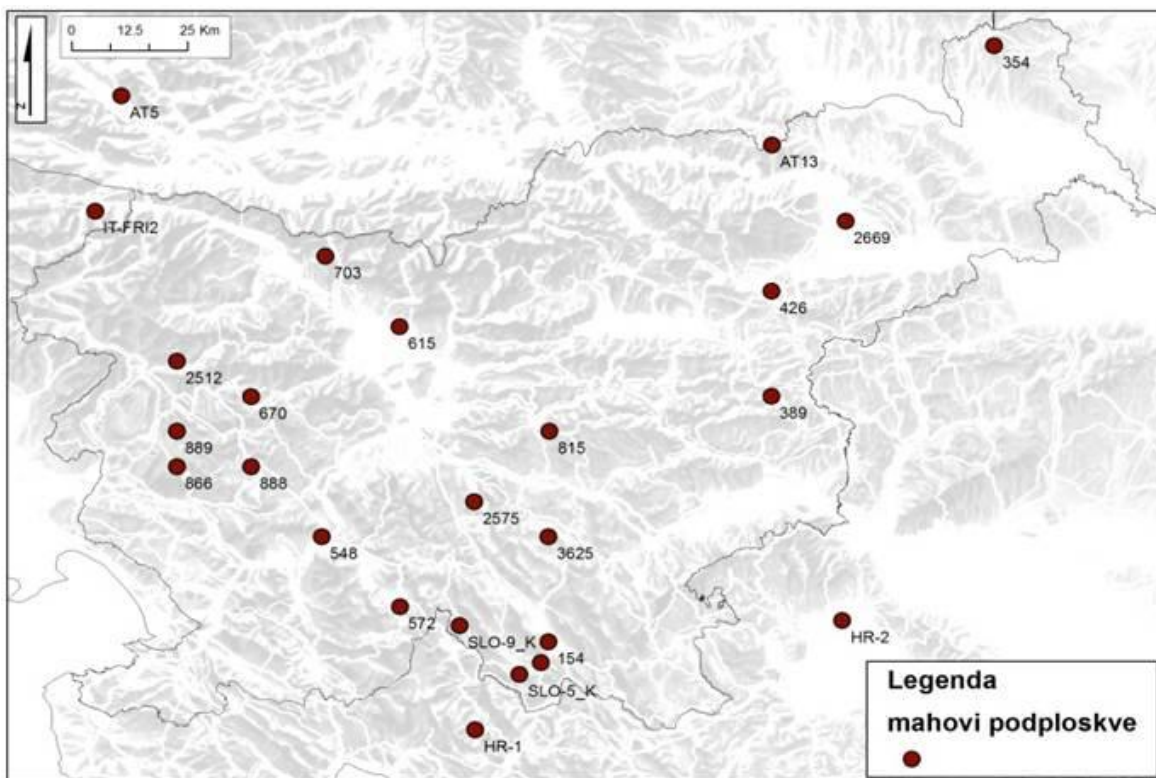
4.1 VZORČENJE

Vzorčenje mahov smo izvedli leta 2010. Vzorčenje je potekalo v sodelovanju s strokovnjaki Gozdarskega inštituta Slovenije iz Oddelka za gozdno ekologijo in Oddelka za načrtovanje in monitoring gozdov in krajine v okviru programa za intenzivno spremljanje gozdnih ekosistemov (IMGE). Na terenu so delovale tri skupine, posamezno so sestavljali dva sodelavca inštituta in en študent. Nabirali smo mah štorovo sedje *Hypnum cupressiforme* Hedw. (preglednica 1).

Preglednica 1: Lokacije vzorčenj

Ploskev	Ime ploskve	tip gozda	datum nabiranja vzorca
154	Stojna	igl	15. 7. 2010
354	Vidonci	igl	3. 8. 2010
389	Lesično	list	5. 8. 2010
426	Kolačno pri Ločah	list	29. 7. 2010
548	Unec	igl	19. 7. 2010
572	Kozarišče	igl	20. 7. 2010
615	Cerklje na Gorenjskem	igl	11. 8. 2010
670	Trebija	igl	19. 8. 2010
703	Tržič	igl	20. 8. 2010
815	Jelša	igl	18. 8. 2010
866	Predmeja	list	12. 8. 2010
888	Godovič	igl	20. 7. 2010
889	Gornja Trebuša	list	28. 7. 2010
2512	Kneža	list	26. 8. 2010
2575	Čušperk	list	29. 7. 2010
2669	Marjeta na Dravskem polju	igl	4. 8. 2010
3625	Visejec	list	13. 7. 2010
AT13	Leutschach	igl	8. 9. 2010
AT5	Fresach	igl	25. 8. 2010
HR1	NP Risnjak	igl	21. 9. 2010
HR2	Jastrebarsko	list	21. 9. 2010
IT-FRI1	Tarvisio	igl	7. 9. 2010
IT-VEN1	Pian di Cansiglio	list	10. 9. 2010
SLO13-EMEP	Iskrba	igl	19. 8. 2010
SLO5	Borovec	list	9. 7. 2010
SLO9	Gorica	igl	8. 7. 2010

V nalogi predstavljene lokacije vzorčenja (preglednica 1, slika 3) so del sistematične mreže ploskev monitoringa gozdov in gozdnih ekosistemov (16 x 8 km Slovenije) (v nadaljevanju MGGE) ter izbranih ploskev ICP-Forest (Level II – ploskve intenzivnega monitoring), ki jih vzdržuje Gozdarski inštitut Slovenije skupaj s ZGS, in nekaj izbranih ploskev Level II v sosednjih državah (Avstrija, Hrvaška in Italija) (slika 3).



Slika 3: Lokacije vzorčenja leta 2010 (manjka IT-VEN1, ki je zahodneje)

4.2 NABIRANJE VZORCEV

Vzorčenje mahov na izbranih ploskvah smo izvedli po navodilih programa ICP-Vegetation (WGE, CLRTAP), ki smo jih delno priredili za slovenske razmere (Harmens in sod., 2008).

Vzorke smo nabirali v papirnate vrečke z vinilnimi rokavicami, da se vzorci ne bi kontaminirali. Na vsako vrečko smo zabeležili številko in lokacijo vzorca. Lokacija nabiranja mahov je morala biti čim bolj oddaljena od virov onesnaženja: prometnic, kmetijskih površin, industrije idr. Vzorce smo nabirali vsaj 300 metrov stran od glavnih cest, večjih naselij in vsaj 100 metrov stran od vasi in lokalnih cest. Nobeno vzorčeno mesto ni bilo v neposredni bližini emisijskih virov.

V posebej prirejen formular smo izpolnili še ostale informacije o nabranem vzorcu (datum nabiranja, vremenske razmere, azimut, relief, ...) (priloga A).

Na vsaki ploskvi (slika 3) smo nabrali pet podvzorcev v gozdnih vrzelih oz. v čim bolj odprtem svetu in pet podvzorcev pod krošnjami dreves. Slednji so bili že na terenu združeni v sestavljen vzorec.

Mahove smo vzorčili na tleh oz. na kosih odmrle lesne mase (veje, panji, debla). V primeru, da niso bili najdeni na prejšnjih dveh substratih, pa na kamnih ali skalah.

Pri vzorčenju na odprtih površinah smo nabrali mahove, ki niso bili neposredno zastrti s krošnjami bližnjih dreves, saj lahko dež spira elemente z dreves na mahove pod njimi in se tako vsebnost elementov v njih spremeni.

Mahove smo nabirali na nekoliko dvignjenih delih reliefa, da smo tako izključili vpliv površinskih voda. Mahov prav tako nismo vzorčili na dniščih dreves zaradi vpliva odtoka po deblu. Izključili smo mahove, kjer so bili vidni prašni delci in živalski iztrebki.

4.3 PRIPRAVA VZORCEV

Vzorke smo najprej očistili na Gozdarskem inštitutu Slovenije. Pri čiščenju smo uporabljali vinilne rokavice in plastične pincete, da ne bi prišlo do zunanje kontaminacije vzorcev. Odstranili smo iglice, delce prsti, listje ter starejše rjave dele steljke. Za analizo smo uporabili le živi del mahu, ki je po naši oceni prirastel v zadnjih treh letih. Očiščene vzorce smo shranili v papirnate vrečke.

Mahove smo najprej posušili na sobni temperaturi, nato pa še 24 ur v liofilizatorju. Posušene vzorce smo nato zdrobili v prah s pomočjo tekočega dušika.

Vsebnosti N in S v mahovih smo določili z elementarnim analizatorjem LECO CNS-2000 v laboratoriju za gozdno ekologijo na Gozdarskem inštitutu Slovenije. Izmerjene rezultate smo korigirali glede na vsebnost vlage v vzorcih po sušenju pri 40 °C.

Meritve izotopske sestave dušika so bile opravljene na Odseku za znanosti o okolju Instituta »Jožef Stefan« (IJS) z masnim spektrometrom za analitiko stabilnih izotopov lahkih elementov – Europa Scientific 20–20 s preparacijskim nastavkom za trdne in tekoče vzorce ANCA SL.

4.4 ANALIZA VZORCEV

Za statistične analize smo uporabili program R različico 2.14.1 (R+ 2012) (R Development Core Team, 2010) in IBM SPSS Statistics 19.

5 REZULTATI

5.1 VSEBNOSTI N, S IN VREDNOSTI $\delta^{15}\text{N}$ V MAHOVIH

5.1.1 Opisna statistika

V preglednici 2 so izračuni povprečij za posamezno ploskev, ki jo sestavlja 5 podvzorcev. Prikazane so minimalna, maksimalna in srednja vrednost, standardni odklon, standardna variacija in koeficient variacije za dušik, žveplo in $\delta^{15}\text{N}$ (preglednica 2).

Preglednica 2: Vsebnosti N in S in vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ za 26 ploskev (podvzorci/ploskev, n = 5)

Ploskev	Ime ploskve	Min N [mg/g]	Max N [mg/g]	Mean N [mg/g]	Sd N [mg/g]	KV N [%]	Min S [μg/g]	Max S [μg/g]	Mean S [μg/g]	Sd S [μg/g]	KV S [%]	Min $\delta^{15}\text{N}$ [‰]	Max $\delta^{15}\text{N}$ [‰]	Mean $\delta^{15}\text{N}$ [‰]	Sd $\delta^{15}\text{N}$	KV $\delta^{15}\text{N}$ [%]
154	Stojna	7,6	12,8	10,2	2,3	23	700	1000	900	100	14	-5,70	-2,47	-4,68	1,31	28
2512	Vidonci	10,4	16,5	13,6	2,8	20	800	1300	1100	200	16	-6,65	-5,57	-6,04	0,48	8
2575	Lesično	7,5	13,0	9,9	2,1	21	700	1100	900	200	19	-6,07	-3,97	-5,11	0,97	19
2669	Kolačno pri Ločah	15,9	21,6	18,9	2,1	11	1300	1600	1500	100	7	-7,55	-2,54	-6,04	1,99	33
354	Unec	10,8	18,7	14,3	3,5	25	800	1500	1100	300	26	-8,94	-7,34	-8,07	0,66	8
3625	Kozarišče	7,2	10,7	8,5	1,8	21	600	800	600	100	17	-5,06	-3,73	-4,24	0,57	13
389	Cerklje na Gorenjskem	8,3	12,7	10,3	2,0	20	800	1200	900	200	21	-6,03	-4,79	-5,32	0,63	12
426	Trebija	10,9	16,6	13,6	2,1	16	900	1400	1100	200	17	-7,65	-6,60	-7,18	0,46	6
548	Tržič	10,0	15,0	12,6	2,1	17	900	1200	1100	100	10	-6,83	-4,66	-5,99	0,89	15
572	Jelša	10,0	16,7	12,3	2,6	21	800	1300	1000	200	18	-5,45	-4,16	-4,79	0,49	10
615	Predmeja	9,3	14,2	11,7	1,9	16	800	1100	900	100	14	-8,64	-6,18	-7,13	0,91	13
670	Godovič	12,6	24,1	19,9	4,4	22	1000	1800	1400	300	20	-6,41	-4,62	-5,55	0,82	15
703	Gornja Trebuša	9,2	15,6	11,1	2,6	23	700	1000	900	100	15	-6,46	-4,73	-5,37	0,79	15
815	Kneža	7,4	9,3	8,7	0,8	9	600	1000	800	200	20	-7,85	-4,75	-5,91	1,20	20
866	Čušperk	12,5	19,6	17,0	2,7	16	1000	1400	1300	200	15	-6,59	-5,37	-6,05	0,53	9
888	Marjeta na Dravskem polju	9,3	16,1	11,5	2,7	23	700	1200	900	200	25	-6,26	-5,43	-5,89	0,42	7
889	Visejec	10,3	16,6	14,0	2,6	19	900	1100	1000	100	9	-7,02	-6,00	-6,63	0,45	7
AT13	Leutschach	12,5	16,0	14,3	1,5	11	900	1300	1100	200	18	-5,31	-4,32	-4,83	0,37	8
AT5	Fresach	10,5	15,6	13,3	2,5	19	900	1100	1000	100	8	-7,74	-6,53	-7,28	0,52	7
HR-1	NP Risnjak	10,2	14,3	11,9	1,7	14	1000	1100	1100	0	3	-5,52	-4,41	-5,13	0,46	9
HR-2	Jastrebarsko	10,8	13,8	12,0	1,2	10	1000	1200	1100	100	9	-2,38	0,19	-0,84	1,05	125
IT-FRI2	Tarvisio	12,9	16,2	14,9	1,4	9	1100	1400	1300	100	8	-6,20	-4,77	-5,28	0,58	11
IT-VEN1	Pian di Cansiglio	12,1	15,4	14,0	1,5	11	800	1300	1000	200	19	-7,30	-6,36	-6,89	0,36	5
SLO-13 EMEP	Iskrba	7,9	11,0	9,6	1,3	14	800	1000	900	100	6	-3,99	-2,40	-3,21	0,73	23
SLO-5	Borovec	7,2	13,2	9,7	2,2	23	600	1100	900	200	22	-5,83	-4,59	-5,24	0,45	8
SLO-9	Gorica	8,2	15,3	12,3	3,5	29	700	1400	1000	200	24	-7,04	-3,99	-6,02	1,18	20

Minimum vsebnosti N se na 26 ploskvah giblje v vrednostih 7,2–15,9 mg/g, maksimum 9,3–24,1 mg/g, povprečne vrednosti pa 8,5–19,9 mg/g. Standardni odklon se giblje v vrednostih 0,8–4,4, koeficient variance pa 9–25 %.

Minimum vsebnosti S se na 26 ploskvah giblje v vrednostih 600–1300 µg/g, maksimum 800–1800 µg/g, povprečne vrednosti pa 600–1500 µg/g. Standardni odklon se giblje v vrednostih 0–300, koeficient variance pa 3–26 %.

Minimum vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ se na 26 ploskvah giblje od –8,94 do –2,38 ‰, maksimum od –7,34 do 0,19 ‰, povprečna vrednost pa od –8,07 do –0,84 ‰. Standardni odklon se giblje v vrednostih 0,36–1,99, koeficient variance pa 5–125 %.

Izračunana povprečna vrednost vsebnosti dušika za vseh 26 ploskev je 12,7 mg/g, pri žveplu pa je povprečna vrednost vsebnosti 1031 µg/g. V nadaljevanju bodo v oklepajih navedene povprečne vsebnosti dušika in žvepla ter povprečne vrednosti $\delta^{15}\text{N}$.

Iz preglednice 2 je razvidno, da so bile najmanjše vsebnosti dušika in žvepla na prostem izmerjene na ploskvi 3625 Visejec (dušik 8,5 mg/g, žveplo 600 µg/g). Zelo majhne vsebnosti dušika in žvepla so na ploskvah 815 Jelša (dušik 8,7 mg/g, žveplo 800 µg/g), SLO13-EMEP Iskrba (dušik 9,6 mg/g, žveplo 900 µg/g), SLO5 Borovec (dušik 9,7 mg/g, žveplo 900 µg/g), 2575 Čušperk (dušik 9,9 mg/g, žveplo 900 µg/g), 154 Stojna (dušik 10,2 mg/g, žveplo 900 µg/g), 389 Lesično (dušik 10,3 mg/g, žveplo 900 µg/g) in na ploskvi 703 Tržič (dušik 11,1 mg/g, žveplo 900 µg/g). Malo pod povprečjem vsebnosti dušika in žvepla so ploskve 615 Cerklje na Gorenjskem (dušik 11,7 mg/g, žveplo 900 µg/g), 888 Godovič (dušik 11,5 mg/g, žveplo 900 µg/g), HR1 NP Risnjak (dušik 11,9 mg/g, žveplo 1100 µg/g) in HR2 Jastrebarsko (dušik 12,0 mg/g, žveplo 1100 µg/g). Območja niso prometno obremenjena in se nahajajo v z onesnažili neobremenjenih delih Slovenije in Hrvaške.

Na ploskvah 3625 (–4,24 ‰), 2575 (–5,11 ‰), 154 (–4,68 ‰), HR1 (–5,13 ‰), SLO5 (–5,24 ‰), 389 (–5,32 ‰) in 703 (–5,37 ‰) so vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ manj negativne, kar kaže na NO_x vire dušika v tkivih mahov. Prav tako vrednost $\delta^{15}\text{N}$ na ploskvi SLO13-EMEP (–3,21 ‰) kaže bolj na NO_x vire. Na ploskvah 888 (–5,89 ‰) in 815 (–5,91 ‰) je vrednost $\delta^{15}\text{N}$ bolj negativna, kar nakazuje bolj na kmetijske vire. Še bolj so očitni viri onesnaženja z dušikom iz kmetijstva na ploskvi 615 Cerklje na Gorenjskem, kjer je vrednost $\delta^{15}\text{N}$ bolj negativna (–7,13 ‰). Vsebnosti dušika in žvepla so na ploskvi HR2 kljub bližini avtoceste Karlovac–Zagreb nizke, vrednost $\delta^{15}\text{N}$ pa se bolj približuje (–0,84 ‰), kar kaže bolj na NO_x vire dušika.

Pod povprečno vsebnostjo dušika in žvepla v tkivih mahov so tudi ploskve SLO9 Gorica (dušik 12,3 mg/g, žveplo 1000 µg/g), 572 Kozarišče (dušik 12,3 mg/g, žveplo 1000 µg/g) in 548 Unec (dušik 12,6 mg/g, žveplo 1100 µg/g). Vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ na ploskvi SLO9 (–6,02

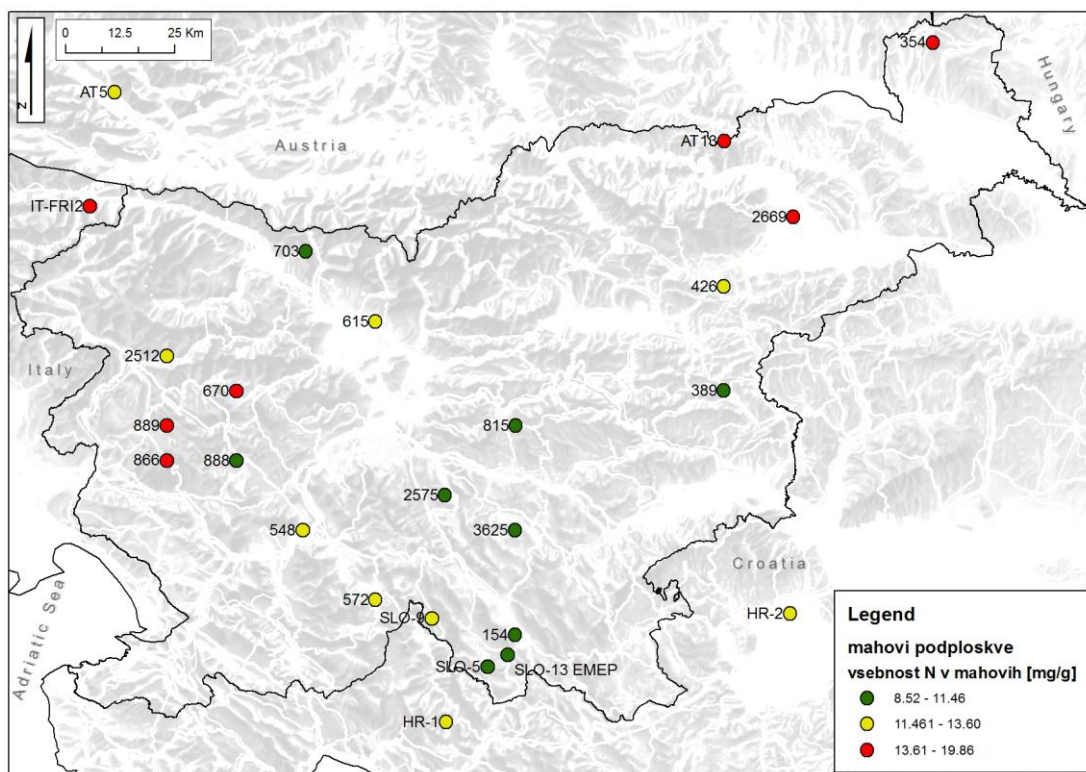
‰), in 548 (–5,99 ‰) sta bolj negativni, kar nakazuje na kmetijske vire. Na ploskvi 572 je vrednost $\delta^{15}\text{N}$ (–4,79 ‰), kar nakazuje bolj na NO_x vire dušika.

Nad povprečno vrednostjo so ploskve AT5 Fresasch (dušik 13,3 mg/g, žveplo 1000 µg/g), 2512 Kneža (dušik 13,6 mg/g, žveplo 1100 µg/g), 426 Kolačno pri Ločah (dušik 13,6 mg/g, žveplo 1100 µg/g), IT-VEN1 Pian di Cansiglio (dušik 14,0 mg/g, žveplo 1000 µg/g), 889 Gornja Trebuša (dušik 14,0 mg/g, žveplo 1000 µg/g), 354 Vidonci (dušik 14,3 mg/g, žveplo 1100 µg/g), AT13 Leutschach (dušik 14,3 mg/g, žveplo 1100 µg/g) in IT-FRI2 Tarvisio (dušik 14,9 mg/g, žveplo 1300 µg/g).

Na ploskvi 2512 je možno povečanje vsebnosti dušika in žvepla tudi zaradi deževja dan pred nabiranjem vzorcev. Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ je bolj negativna (–6,04 ‰), kar kaže bolj na vire dušika iz kmetijstva. Tudi na ploskvah 426 (–7,18 ‰), IT-VEN1 (–6,89 ‰) in 354 (–8,07 ‰) so viri bolj kmetijskega izvora. Na ploskvi 354 prevladuje vinogradništvo in sadjarstvo. Na ploskvi 389 je pri vsebnostih dušika in žvepla možen dodaten vpliv bližina vlake. Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ je manj negativna (–5,32 ‰), kar kaže bolj na NO_x vire dušika. Na ploskvi 889 je dodatne vsebnosti dušika in žvepla lahko prispevala bližina makadamske ceste (20–30 m). Dan prej je na območju te ploskve tudi močno deževalo, možni pa so tudi prekomejni vnosi onesnažil iz sosednje Italije. Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ na ploskvi 889 (–6,63 ‰) kaže bolj na vire dušika iz kmetijstva. Pri ploskvi IT-FRI2 so bili podvzorci nabrani v bližini krošenj, kar je lahko povečalo vnos vsebnosti dušika in žvepla z izpiranjem. Možen je tudi vpliv dežja. Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ je manj negativna (–5,28 ‰), kar kaže bolj na NO_x vire dušika. Podvzorci na ploskvi AT5 so bili nabrani blizu travnika, oddaljenega približno 500 m, zaradi česar bi lahko bil povečan vnos dušikovih spojin zaradi gnojenja. Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ (–7,28 ‰) kaže bolj na vire dušika iz kmetijstva.

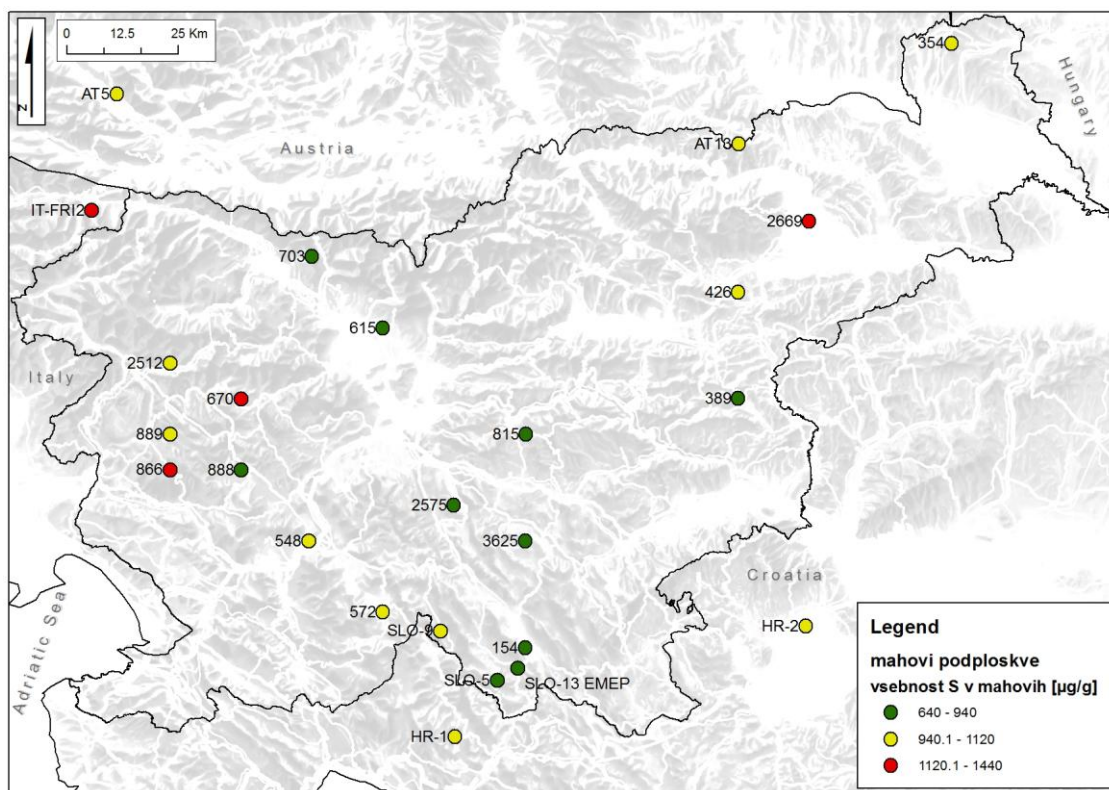
Visoke vsebnosti dušika in žvepla so na ploskvi 866 Predmeja (dušik 17,0 mg/g, žveplo 1300 µg/g). Na ploskvi 866 je možno splošno povečanje vsebnosti dušika in žvepla tudi zaradi prekomejnih vnosov onesnažil iz sosednje Italije. Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ (–6,05 ‰) kaže bolj na vire dušika iz kmetijstva.

Iz slike 4 je razvidno, da so vsebnosti dušika največje na vzhodnih (354, 2669, AT13) in zahodnih ploskvah (670, 889, 886, IT-FRI2). Srednje vsebnosti so na ploskvah AT5, 2512, 615, 426, 548, 572, SLO-9, HR-1, HR-2. Najnižje vsebnosti pa so po večini bolj v južnem delu Slovenije (SLO-5, SLO-13 EMEP, 154, 3625, 2575, 815, 389, 888, 703).



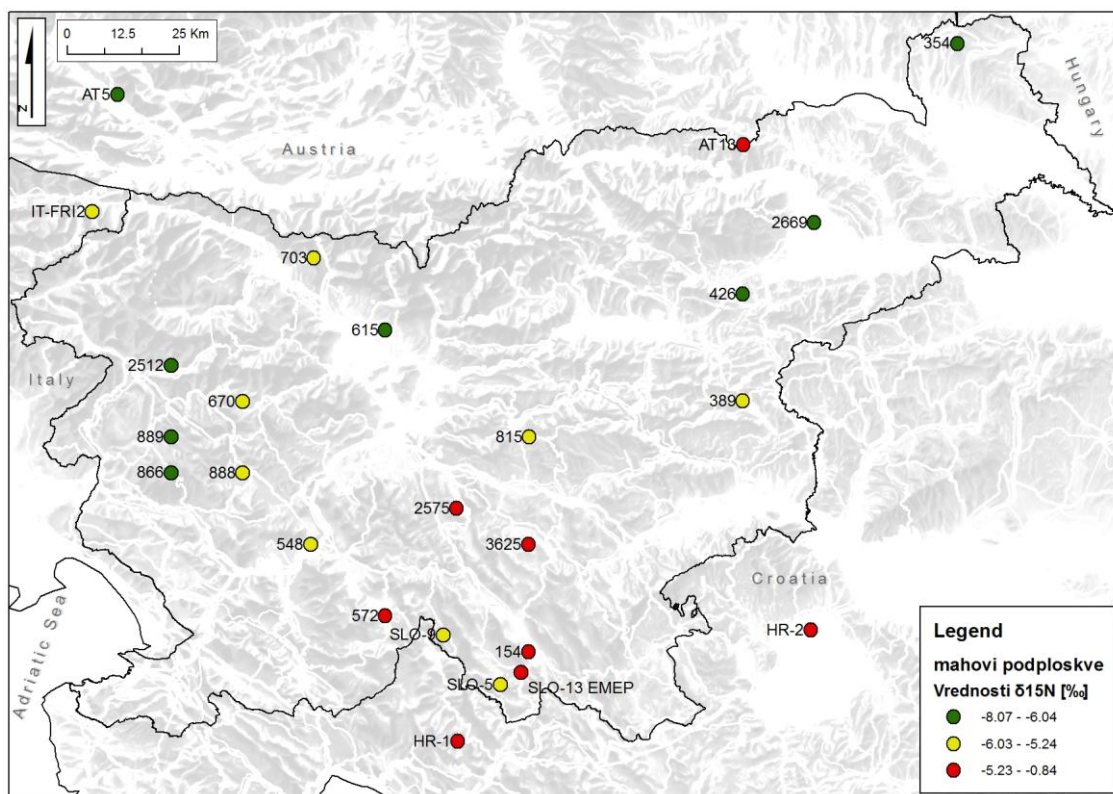
Slika 4: Vsebnost dušika v tkivih mahov v letu 2010 [mg/g] (meje v legendi so v kvantilih: zelene ploskve so pod povprečjem, rumene so povprečje, rdeče pa so nad povprečjem)

Vsebnost žvepla (slika 5) je zelo visoka na vzhodni ploskvi 2669 in na treh zahodnih ploskvah (670, 866 in IT-FRI2). Srednje vsebnosti so na vzhodnih ploskvah (426, 354, AT13) in zahodnih ploskvah (2512, 889, AT5) ter na južnih ploskvah (548, 572, SLO-9, HR-1, HR-2). Na ostalih ploskvah so nizke vsebnosti žvepla (703, 615, 888, 815, 2575, 3625, 154, SLO-5, SLO-13 EMEP, 389).



Slika 5: Vsebnost žvepla v tkivih mahov v letu 2010 [$\mu\text{g/g}$] (meje v legendi so v kvantilih: zelene ploskve so pod povprečjem, rumena so povprečje in rdeče so nad povprečjem)

Iz slike 6 je razvidno, da imajo najvišje vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ južne ploskve (2575, 3625, 572, 154, SLO-13 EMEP, HR-1, HR-2) ter AT13. Srednjo vrednost $\delta^{15}\text{N}$ imajo ploskve IT-FRI2, 703, 670, 888, 548, 815, 389, SLO-9, SLO-5. Najnižje vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ pa imajo vzhodne (354, 2669, 426) in zahodne (AT5, 2512, 889, 866, 615) ploskve.



Slika 6: Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ v tkivih mahov v letu 2010 [‰] (meje v legendi so v kvantilih: zelene ploskve so pod povprečjem, rumena so povprečje in rdeče so nad povprečjem)

Vzorci na ploskvi 670 Trebija (dušik 19,9 mg/g, žveplo 1400 $\mu\text{g/g}$) imajo največje vsebnosti dušika in druge največje vsebnosti žvepla. V času nabiranja vzorcev je deževalo, kar je lahko povečalo vsebnosti. Zelo velike vsebnosti so najverjetneje posledica lokacije, ki je na zahodu Slovenije, kjer so prve gorske pregrade in je vnos onesnažil iz Severne Italije večji. Vsebnosti so še posebej povečane po padavinah. Poleg tega sta bila dva podvzorca nabrana na robu in dva v bližini krošenj. Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ je bolj negativna (-5,55 ‰), kar kaže bolj na vire dušika iz kmetijstva.

Največje vsebnosti žvepla in druge največje vsebnosti dušika so na ploskvi 2669 Marjeta na Dravskem polju (dušik 18,9 mg/g, žveplo 1500 $\mu\text{g/g}$). Te močno presegajo povprečje ostalih ploskev. V oddaljenosti približno 100 m je bila puranja farma. Območje je izrazito kmetijsko, kar potrjuje tudi vrednost $\delta^{15}\text{N}$, ki je bolj negativna (-6,04 ‰). K visokim vsebnostim dušika in žvepla je verjetno botrovalo tudi močno deževje dan pred nabiranjem vzorcev. Vzorci so bili nabrani na območju z visoko podrastjo ter v bližini krošenj, kar lahko vpliva na večji vnos onesnažil z izpiranjem. Na območju nabiranja je bilo zabeleženih tudi več divjih odlagališč.

5.1.2 Depozicija dušika

Za izračun depozicije dušika in žvepla (kg/ha/leto) na osnovi vsebnosti N in S v mahovih za vsako izmed 26 ploskev smo uporabili enačbo linearnega modela, ki je bil določen eksperimentalno na podlagi rezultatov meritev vsebnosti dušika in žvepla v mahovih (preglednica 3) in koncentracijami obeh elementov v padavinah na ploskvah intenzivnega monitoringa v Sloveniji (level 2) (Skudnik in sod., 2013) in v Švici (Thöni in sod., 2008).

Dušikove usede smo izračunali po enačbi (Skudnik in sod., 2013):

$$N_{\text{used}} = (N_{\text{mah}} - 7.53)/0.49 \text{ kg/ha/leto pri } R^2 = 0,42 \quad \dots (1)$$

Žveplove usede smo izračunali po formuli (Skudnik in sod., 2013):

$$S_{\text{used}} = (S_{\text{mah}} - 805,04)/40,78 \text{ kg/ha/leto pri } R^2 = 0,14 \quad \dots (2)$$

Preglednica 3: Depozicija dušika (N) in žvepla (S) (kg/ha/leto)

Ploskev	$N_{\text{used/prosto}}$ [kg/ha/leto]	$S_{\text{used/prosto}}$ [kg/ha/leto]	$N_{\text{used/zas}}$ [kg/ha/leto]	$S_{\text{used/zas}}$ [kg/ha/leto]
154	5,0	2,3	15,0	9,6
2512	12,0	6,1	18,9	11,8
2575	4,3	1,4	6,6	4,4
2669	23,2	15,9	36,8	22,6
354	13,5	7,5	20,1	14,2
3625	1,5	0,0	11,4	7,5
389	5,2	2,5	18,7	13,0
426	12,1	7,3	20,6	13,1
548	10,1	7,7	21,5	12,4
572	9,5	5,9	17,9	12,2
615	8,1	3,0	16,1	8,5
670	25,1	14,6	35,7	22,8
703	6,9	1,1	24,0	15,8
815	1,8	0,0	12,6	10,4
866	19,2	11,0	17,1	9,4
888	7,6	1,8	20,8	10,8
889	12,9	5,8	26,5	17,7
AT13	13,6	7,2	17,0	13,0
AT5	11,4	4,5	22,2	13,0
HR-1	8,6	6,1	26,7	19,9
HR-2	8,8	7,4	27,0	20,0
IT-FRI2	14,9	11,0	18,1	11,4
IT-VEN1	13,0	5,8	15,3	4,7
SLO-13 EMEP	3,7	1,7	10,2	8,4
SLO-5	3,9	1,3	23,7	17,8
SLO-9	9,4	5,1	19,5	14,0

Na podlagi vsebnosti dušika v mahovih je povprečna depozicija dušika na prostem ocenjena za 26 lokacij v Sloveniji 10,2 kg/ha na leto, pod zastorom 20,0 kg/ha na leto, depozicija žvepla je ocenjena na 5,5 kg/ha/leto na prostem in 13,0 kg/ha/leto pod zastorom. Pri tem moramo poudariti, da je linearni model za žveplo na meji statistične značilnosti in so rezultati z veliko negotovostjo.

5.2 VARIABILNOST NA PLOSKVI IN MED PLOSKVAMI

Kriterij uporabnosti mahov kot biomonitorjev je tudi predpostavka, da je variabilnost na ploskvah manjša, kot je variabilnost elementov med ploskvami. Da bi ugotovili lokalno variabilnost vsebnosti elementov v vzorcih mahu, smo na 26 lokacijah analizirali vsebnost elementov na vseh petih podlokacijah vzorčenja na ploskvi. V vseh primerih je bila razlika statistično značilna ($p < 0,001$) (preglednica 4).

Vrednosti za izbrane ploskve smo izračunali po naslednjih formulah:

Na ploskvi: $MSW = \frac{SSW}{N-k}$ $SSW = \sum_i^n (xi - \bar{x}_{skupine})^2$... (3)

SSW ... vsota na ploskvi

MSW ... varianca na ploskvi

xi ... posamezen vzorec

$\bar{x}_{skupine}$... povprečje na ploskvi

N ... število vseh vzorcev

k ... število ploskev

Med ploskvami: $MSB = \frac{SSB}{k-1}$ $SSB = \sum_i^n n (\bar{x}_{skupin} - \bar{x})^2$... (4)

SSB ... vsota med ploskvami

MSB ... varianca med ploskvami

k ... število ploskev

n ... število vzorcev

$\bar{x}_{skupin}$... povprečje na ploskvi

$\bar{x}$... povprečje vseh ploskev

Preglednica 4: Izračunane povprečne vrednosti za izbrane podploskve

Element	N ploskev	N vzorcev	Min	Max	Mean	KV %	SD	Varianca med ploskvami	Varianca na ploskvah
N [mg/g]	26	130	7,2	24,1	12,7	28	3,5	6,386	2,355
S [µg/g]	26	130	565	1760	1023	23	235	413,293	167,284
δ ¹⁵ N [‰]	26	130	-8,94	0,19	-5,57	28	1,59	3,186	0,828

V preglednici 4 so prikazane minimalna, maksimalna vsebnost elementa, njihova aritmetična sredina, standardni odklon in koeficient variacije. Koeficienti variance dušika, žvepla in $\delta^{15}\text{N}$ so na ploskvah manjši kot variance med ploskvami. Največja razlika je pri $\delta^{15}\text{N}$, kjer je na petih podploskvah varianca 0,828 ‰ ter med 26 ploskvami 3,186 ‰. Pri dušiku je razlika manjša: 2,355 mg/g na ploskvah in 6,386 mg/g med ploskvami. Varianca pri žveplu je 413,293 $\mu\text{g/g}$ na ploskvah in 167,284 $\mu\text{g/g}$ med ploskvami. Ker so vrednosti na lokacijah manjše kot vrednosti med lokacijami, je kriterij uporabnosti mahov kot bioindikatorjev potrjen.

5.3 PRIMERJAVA NA PROSTEM IN POD ZASTOROM

V spodnji preglednici (preglednica 5) so podane vsebnosti dušika, žvepla in $\delta^{15}\text{N}$ po posameznih ploskvah, ločene pod zastorom in na prostem. Vsebnosti dušika so podane v mg/g, žvepla v $\mu\text{g/g}$ in $\delta^{15}\text{N}$ v ‰.

Preglednica 5: Vsebnosti dušika (N), žvepla (S) in vrednosti izotopa dušika ($\delta^{15}\text{N}$) na prostem in pod zastorom (zastor: združeni, kompozitni vzorec, sestavljen iz $n = 5$, na prostem srednja vrednost za analize iz petih vzorcev)

Ploskev	Zast. N mg/g	Prost. N mg/g	Zast. S $\mu\text{g/g}$	Prost. S $\mu\text{g/g}$	Zast. $\delta^{15}\text{N}$	Prost. $\delta^{15}\text{N}$
154	15,01	10,19	1200	900	-5,38	-4,68
354	17,43	14,28	1380	1110	-8,80	-8,07
389	16,77	10,29	1340	910	-3,85	-5,32
426	17,66	13,62	1340	1100	-5,93	-7,18
548	18,12	12,63	1310	1120	-6,00	-5,99
572	16,41	12,34	1300	1050	-5,38	-4,79
615	15,51	11,70	1150	930	NA	-7,13
670	24,96	19,85	1740	1400	-6,47	-5,55
703	19,34	11,11	1450	850	-5,32	-5,37
815	13,82	8,66	1230	760	-6,39	-5,91
866	16,03	17,04	1190	1250	-5,84	-6,05
888	17,77	11,46	1250	880	-4,85	-5,89
889	20,50	13,98	1530	1040	-6,62	-6,63
2512	16,85	13,57	1290	1050	-6,07	-6,04
2575	10,98	9,88	990	860	-4,97	-5,11
2669	25,47	18,95	1730	1460	-7,42	-6,04
3625	13,25	8,51	1110	640	-5,30	-4,24
AT13	15,96	14,32	1340	1100	-4,29	-4,83
AT5	18,45	13,30	1330	990	-7,64	-7,28
HR1	20,62	11,95	1620	1050	-5,75	-5,13
HR2	20,76	12,03	1620	1110	-4,20	-0,84

... se nadaljuje

... nadaljevanje

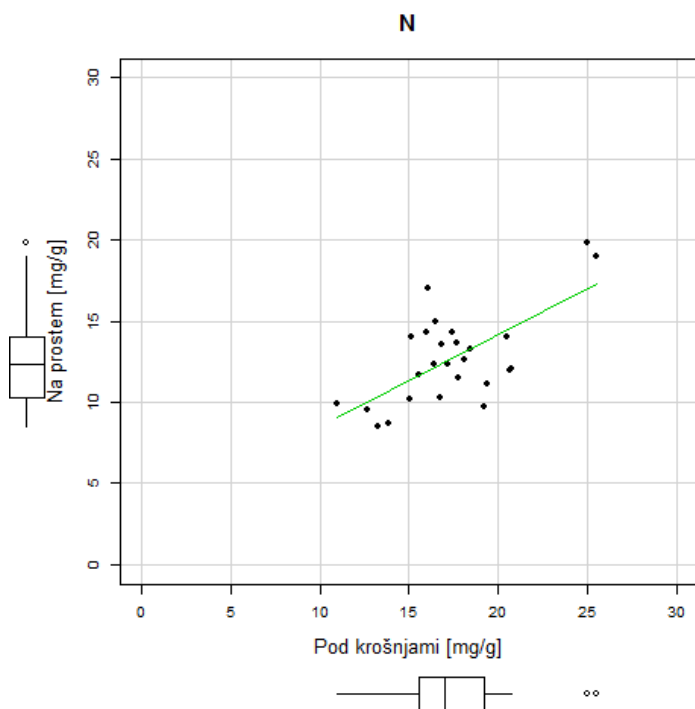
Ploskev	Zast. N mg/g	Prost. N mg/g	Zast. S μg/g	Prost. S μg/g	Zast. δ15N	Prost. δ15N
IT-FRI2	16,51	14,95	1270	1260	-7,05	-5,28
IT-VEN1	15,13	14,03	1000	1040	-8,26	-6,89
SLO13-EMEP	12,69	9,55	1150	870	-4,74	-3,21
SLO5	19,20	9,68	1530	860	-5,47	-5,24
SLO9	17,18	12,33	1380	1010	-6,25	-6,02

Dušik pod zastorom

Izstopata ploskvi 2669 (25,47 mg/g) in 670 (24,96 mg/g). Povprečna vsebnost dušika za 26 ploskev je 17,4 mg/g. Najmanjšo vsebnost ima ploskev 2575 (10,98 mg/g) (slika 7).

Dušik na prostem

Največjo vsebnost dušika imata ploskvi 2669 (18,95 mg/g) in 670 (19,85 mg/g), sledita HR2 (20,76 mg/g) in HR1 (20,62 mg/g). Povprečna vsebnost dušika za 26 ploskev je 12,7 mg/g. Najmanjšo vsebnost ima ploskev 3625 (8,51 mg/g), sledi 815 (8,66 mg/g) (slika 7).



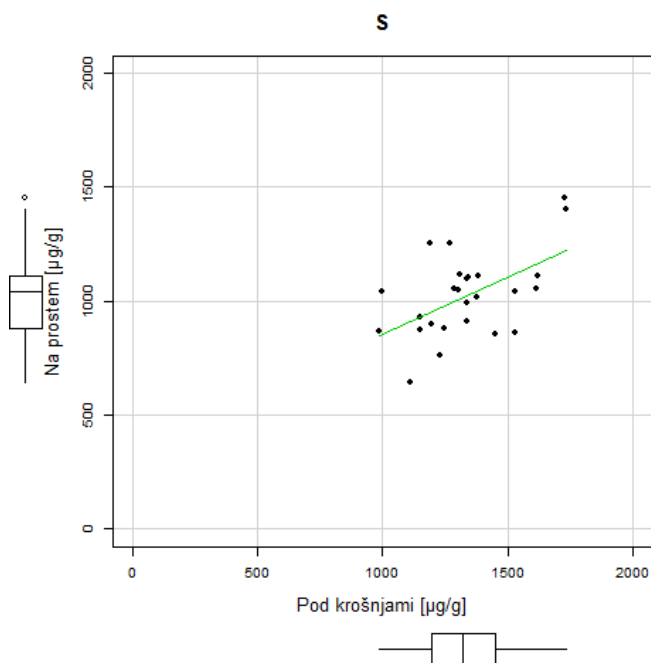
Slika 7: Vsebnost dušika (N) (mg/g) na prostem in pod zastorom

Žveplo pod zastorom

Največjo vsebnost žvepla imata ploskvi 670 (1740 $\mu\text{g/g}$) in 2669 (1730 $\mu\text{g/g}$), sledita HR2 in HR1 (1620 $\mu\text{g/g}$). Povprečna vsebnosti žvepla za 26 ploskev je 1340 $\mu\text{g/g}$. Najmanjšo vsebnost ima ploskev 2575 (990 $\mu\text{g/g}$), sledi IT-VEN1 (1000 $\mu\text{g/g}$) (slika 8).

Žveplo na prostem

Največjo vsebnost žvepla imata ploskvi 2669 (1460 $\mu\text{g/g}$) in 670 (1400 $\mu\text{g/g}$). Sledijo IT-FRII (1260 $\mu\text{g/g}$) in 866 (1250 $\mu\text{g/g}$). Povprečna vsebnosti žvepla je (1020 $\mu\text{g/g}$). Najmanjšo vsebnost ima ploskev 3625 (640 $\mu\text{g/g}$), sledi 815 (760 $\mu\text{g/g}$) (slika 8).



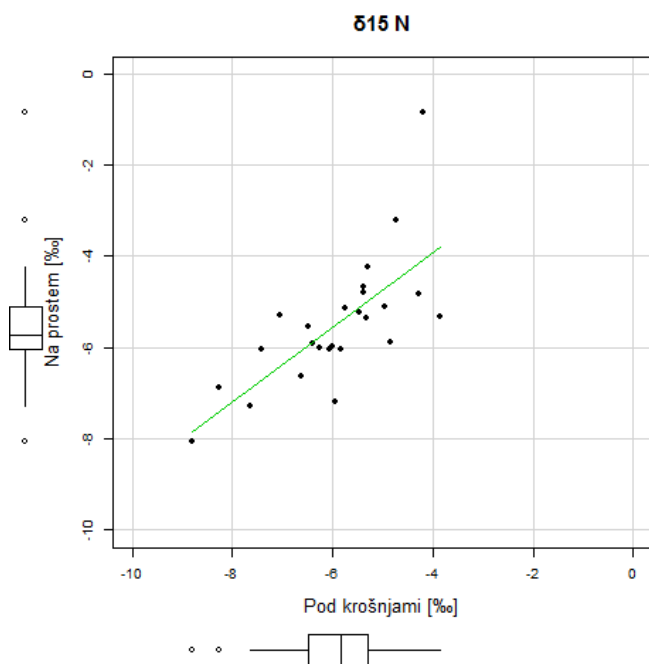
Slika 8: Vsebnost žvepla (S) ($\mu\text{g/g}$) na prostem in pod zastorom

$\delta^{15}\text{N}$ pod zastorom

Največjo vrednost ima 389 (−3,89 ‰), HR2 (−4,20 ‰). Povprečna vrednost je −5,93 ‰. Najmanjša vrednost je na ploskvi 354 (−8,80 ‰) (slika 9).

$\delta^{15}\text{N}$ na prostem

Največjo vrednost ima HR2 (−0,84 ‰), SLO13-EMEP (−3,21 ‰). Povprečna vrednost je −5,57 ‰. Najmanjša vrednost je na ploskvi 354 (−8,07 ‰) (slika 9).



Slika 9: Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ (‰) na prostem in pod zastorom

Poskušali smo ugotoviti, ali so statistično značilne razlike med vsebnostjo dušika, žvepla in $\delta^{15}\text{N}$ glede na mesto vzorčenja – pod zastorom ali na prostem. Pri tem smo uporabili parni t-test (Paired t-test). Vzorec pod zastorom je združen v kompozitni vzorec iz petih podvzorcev, nabranih pod zastorom. Podatki na prostem pa so povprečje vsebnosti petih vzorcev nabranih v vrzelih.

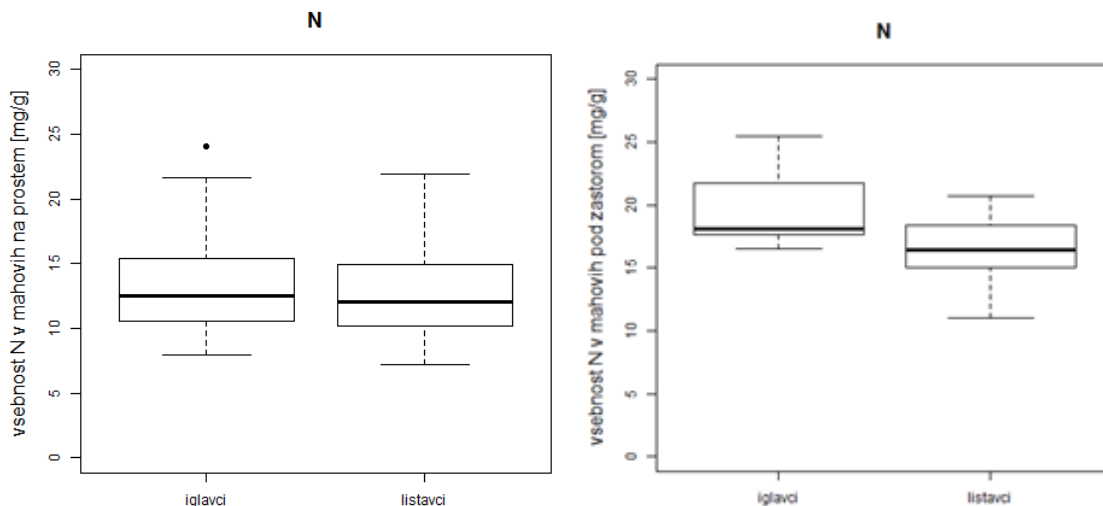
Statistična analiza je pokazala, da je statistično značilna razlika med vsebnostjo dušika v mahovih na prostem in pod zastorom pri statističnem tveganju $p = 0,000252$. Poleg tega pa je statistično značilna povezava med vsebnostjo dušika na prostem in pod zastorom ($r = 0,659$). Povprečna vsebnost na prostem za dušik je 12,7 mg/g, pod zastorom pa 17,4 mg/g.

Tudi za žveplo velja, da je statistično značilna razlika med vsebnostjo žvepla v mahovih na prostem in pod zastorom pri statističnem tveganju $p = 0,00457$. Povezava med vsebnostjo žvepla na prostem in pod zastorom je statistično značilna ($r = 0,538$). Povprečna vsebnost za žvepla na prostem je 1020 $\mu\text{g/g}$ in 1340 $\mu\text{g/g}$ pod zastorom.

Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ niso statistično različne v mahovih, nabranih na prostem in pod zastorom, pri statističnem tveganju $p = 0,05$. Povezava med vrednostjo $\delta^{15}\text{N}$ na prostem in pod zastorom pa je statistično značilna ($r = 0,71$). Povprečna vrednost $\delta^{15}\text{N}$ na prostem je $-5,57$ ‰ in pod zastorom $-5,93$ ‰.

5.4. DODATNE ZNAČILNOSTI OKOLJA IN NJIHOV VPLIV NA VSEBNOSTI DUŠIKA, ŽVEPLA IN VREDNOSTI $\delta^{15}\text{N}$ V MAHOVIH

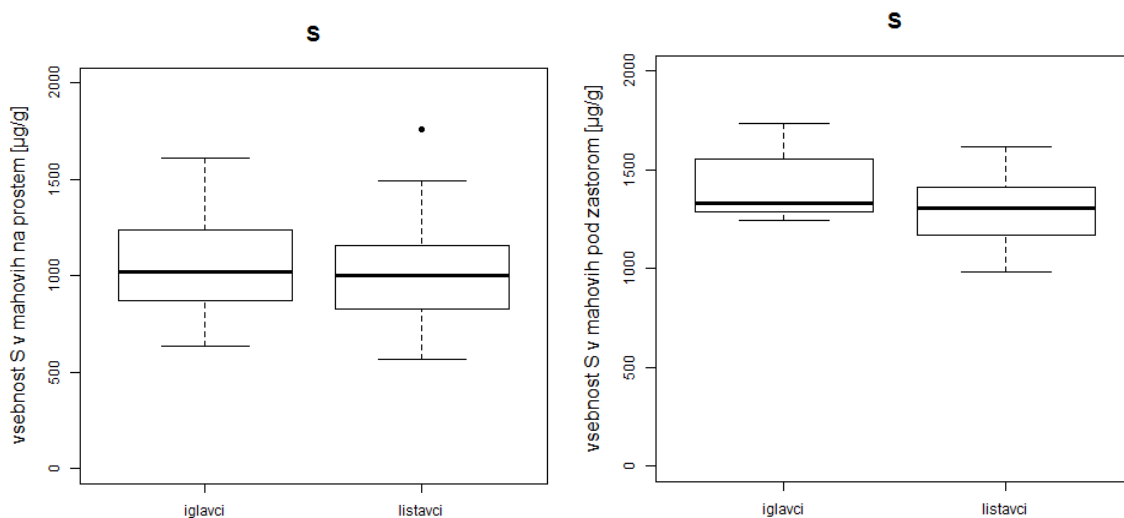
Posamezne vrednosti smo primerjali med sabo glede na vrsto gozda (listnati, iglasti) in jih prikazali ločeno na prostem in pod zastorom. Tip gozda smo s popisom določili na terenu (slika 10). Glede na prevladujočo drevesno vrsto smo določili 16 ploskev z iglastim gozdom in 10 z listnatim gozdom.



Slika 10: Vsebnost dušika (N) v iglastem in listnatem sestoju na prostem in pod zastorom

Iz slike 10 je razvidno, da so glede na tip sestoja (listavci, iglavci) statistično značilne ($p = 0,02$) razlike v vsebnosti dušika v mahovih, nabranih pod zastorom. Vsebnosti N so večje v mahovih, nabranih pod iglavci.

Na prostem so vsebnosti dušika v mahovih ne razlikujejo glede na tip sestoja (slika 10).

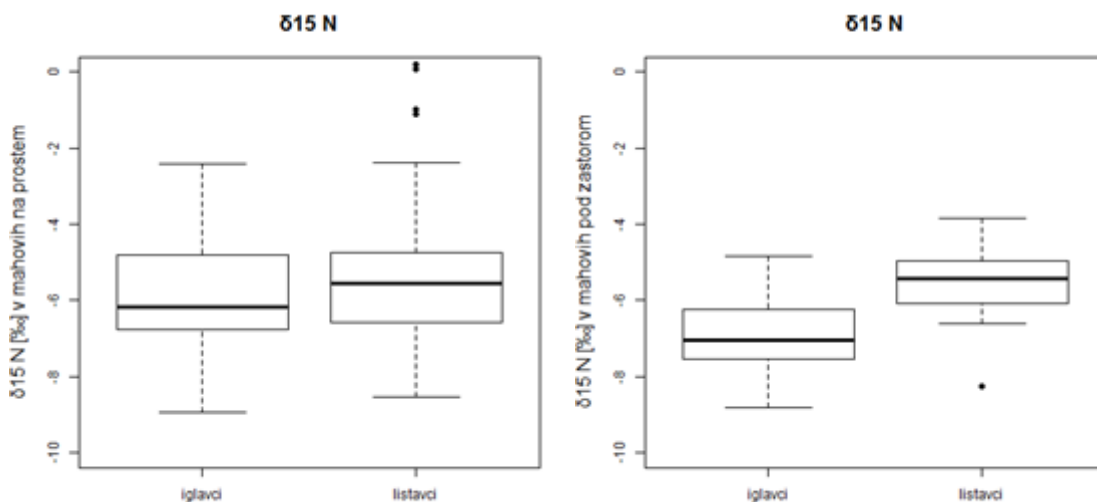


Slika 11: Vsebnost žvepla (S) v iglastem in listnatem sestoju na prostem in v sestoju

Iz slike 11 je razvidno, da so vsebnosti žvepla v mahovih pod zastorom večje kot na prostem. Glede na tip sestoja pa ni statistično značilnih razlik niti pod zastorom niti na prostem.

Pod zastorom so vrednosti in razlike večje kot na prostem.

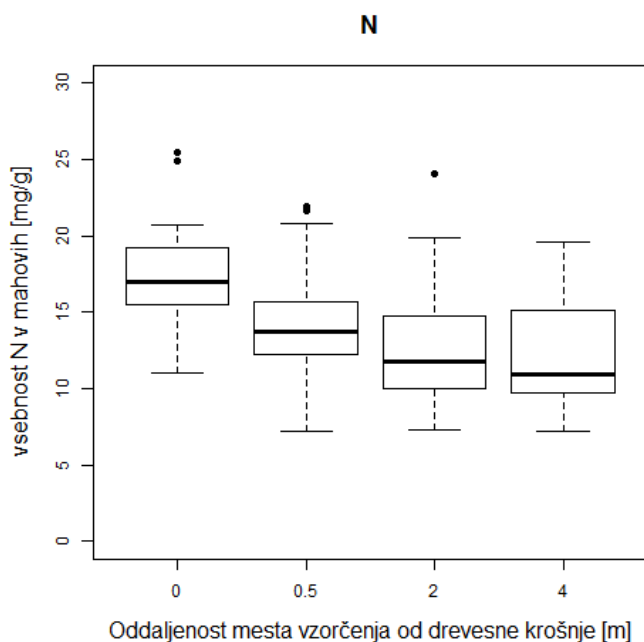
Pod zastorom je statistično značilna razlika ($p = 0,011$) med iglavci in listavci (slika 12).



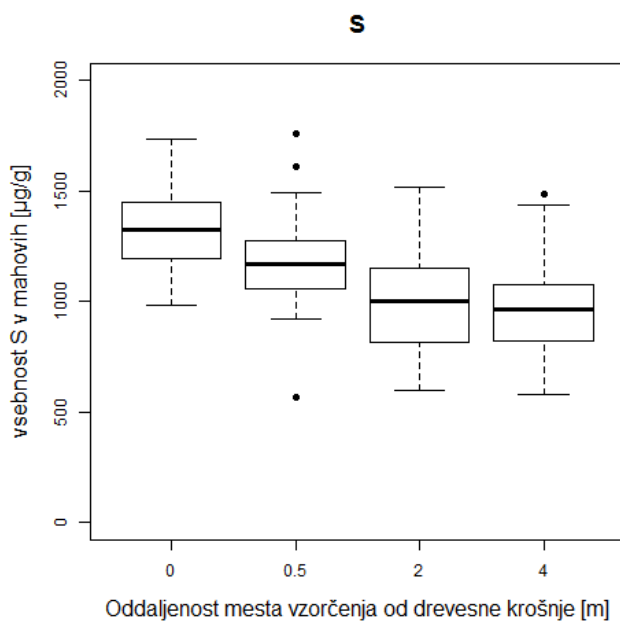
Slika 12: Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ v iglastem in listnatem sestoju na prostem in pod zastorom

Vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ (slika 12) se statistično značilno razlikujejo ($p = 0,011$) v mahovih, nabranih pod iglavci in listavci. Manj negativne vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ smo določili v mahovih, nabranih v listastih sestojih, bolj negativne pa v iglastih sestojih. Na prostem ni večjih razlik glede na sestavo gozdnega sestoja.

Vsebnosti N in S se zmanjšujejo z oddaljenostjo krošenj (sliki 13, 14).

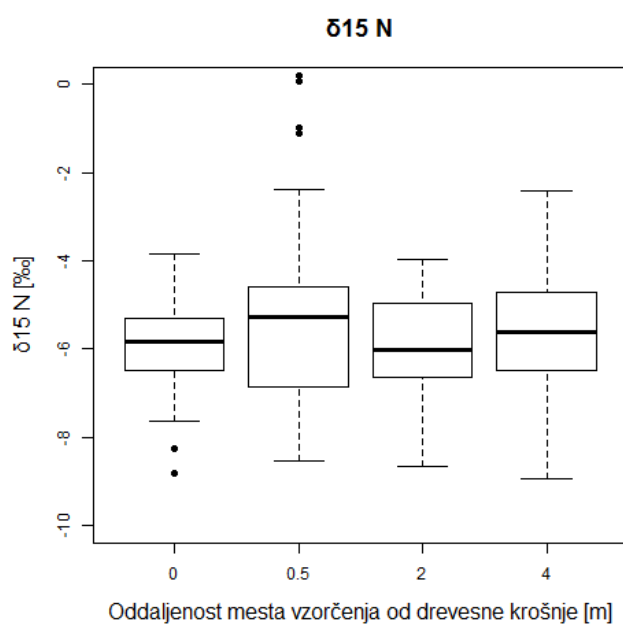


Slika 13: Vsebnost dušika (N) glede na oddaljenost mesta vzorčenja od drevesne krošnje



Slika 14: Vsebnost žvepla (S) glede na oddaljenost mesta vzorčenja od drevesne krošnje

V bližini drevesnih krošenj so vsebnosti elementov večje, z oddaljenostjo pa se zmanjšujejo. Pri vrednostih $\delta^{15}\text{N}$ ni opaznih trendov (slika 15).



Slika 15: Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ glede na oddaljenost mesta vzorčenja od drevesne krošnje

6 RAZPRAVA IN SKLEPI

6.1 RAZPRAVA

6.1.1 Vsebnosti dušika, žvepla in vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ v mahovih

Večina ploskev se z vsebnostmi dušika in žvepla v mahovih giblje okrog povprečne vrednosti: dušik (prosto: 12,7 mg/g, zastrto: 17,4 mg/g) in žveplo (prosto: 1000 $\mu\text{g/g}$, zastrto: 1300 $\mu\text{g/g}$). Zelo odstopata ploskvi 2669 Marjeta na Dravskem polju (Štajerska) (dušik 18,9 mg/g in žveplo 1500 $\mu\text{g/g}$) in 670 Trebija (Gorenjska) (dušik 19,9 mg/g in žveplo 1400 $\mu\text{g/g}$). Najmanjše vsebnosti dušika in žvepla na prostem pa smo zabeležili na ploskvi 3625 Visejec (Dolenjska) (dušik 8,51 mg/g, žveplo 640 $\mu\text{g/g}$).

Ploskev 2669 Marjeta na Dravskem polju ima v naši raziskavi največje vsebnosti dušika v mahovih 18,95 mg/g na prostem, 25,47 mg/g pod zastorom in povprečje 18,9 mg/g. Vsebnost žvepla na prostem je 1460 $\mu\text{g/g}$, pod zastorom 1730 $\mu\text{g/g}$ in povprečje 1500 $\mu\text{g/g}$. Na tem območju je Maguša (2012) v diplomski nalogi ugotavljal stanje zraka s pomočjo lišajev.

Maguša (2012) je poudaril, da je območje Slovenskih goric (zajema tudi ploskev 2669) močno obremenjeno z zračnimi onesnažili zaradi intenzivnega kmetijstva (vinogradništvo in sadjarstvo), prometa in daljinskega vnosa zračnih onesnažil. Predvsem zaradi kmetijstva je območje obremenjeno z nitrati in fitofarmacevtskimi sredstvi, zato prevladujejo toksitolerantni in nitrofilni lišaji.

Lišaji se pojavljajo glede na kislost podlage. Bližje mestom je podlaga bolj kisla, s kislostjo tal pa bi morala nitrofilnost upadati, vendar ta raste. Tako se nitrofilni lišaji pojavljajo tako na kisli kot bazični podlagi. V suhem vremenu povzročajo eutrofikacijo amonijak in dušikovi oksidi, ki se povežejo v amonijev nitrat. V vlažnem vremenu pa se v obliki dušikovih kislin odlaga mokra depozicija, njihov osmotski vpliv pa so sposobni tolerirati lišaji z višjimi osmotskimi vrednostmi. V bližini mest lišajska vegetacija propada, se pravi, da je še vedno preveč onesnažil v zraku (Maguša, 2012).

Ploskev 670 Trebija ima največjo vsebnost dušika: na prostem 19,85 mg/g, pod zastorom 24,96 mg/g in povprečje 19,9 mg/g. Vsebnost žvepla na prostem je 1400 $\mu\text{g/g}$, pod zastorom 1740 $\mu\text{g/g}$ in povprečje 1400 $\mu\text{g/g}$. Zelo velike vsebnosti so najverjetneje posledica transporta čezmejnih onesnažil iz severne Italije. Lokacija leži na zahodu Slovenije, kjer orografske padavine nastanejo ob dvigu vlažnega zraka čez gorske pregrade. Zaradi večje količine padavin je možen povečan vnos onesnažil na tem območju.

Na ploskvi 3625 Visejec smo zabeležili najmanjše vsebnosti dušika in žvepla na prostem. Območje je v zelo čistem predelu Dolenjske, ki ni prometno niti kmetijsko obremenjeno.

V Sloveniji so v raziskavi na Institutu »Jožef Stefan« (Jeran, 2006) leta 2000/2001 dobili podatke vsebnosti dušika v štorovem sedju v bližini presečišč mreže stalnih vzorčnih ploskev 16×16 km. Minimum je bil 7,6 mg/g, maksimum 23,5 mg/g, srednja vrednost pa je bila 17,1 mg/g. V raziskavi 2005/2006 (Jeran, 2007) pa so bili minimum 8,2 mg/g, maksimum 28,2 mg/g in povprečna vrednost 18,4 mg/g. Povprečna vrednost se je v celotni Evropi v letu 2005/2006 gibala v vrednostih 7,9–18,4 mg/g, kar pomeni, da je po teh podatkih Slovenija spadala med države z največjimi vsebnostmi dušika (Jeran, 2009).

Če primerjamo vsebnosti dušika (na prostem) iz 2010 s povprečno vrednostjo v raziskavi 2005/2006 17,1 mg/g, ugotovimo, da presegata to vrednost dve ploskvi: 670 (19,9 mg/g) in 2669 (18,9 mg/g). Blizu te vsebnosti je še ploskev 866 (17,0 mg/g). Ostale ploskve na prostem iz leta 2010 imajo manjšo vsebnost dušika. Možni vzrok nižjih vrednosti dušika v mahovih, nabranih v letu 2010 glede na prejšnja leta, je v vzorčenju, saj se pri vzorčenju mahov leta 2001 in 2005 ni beležila oddaljenost od roba krošenj (osebna komunikacija).

V evropski raziskavi (Harmens in sod., 2008) navajajo povprečne vsebnosti dušika: Švica 11 mg/g, Nemčija in Belgija 15 mg/g, Slovenija in Slovaška 18 mg/g. Še manjše kot v Švici pa so bile vsebnosti na Nizozemskem, Finskem in v Veliki Britaniji 8–9 mg/g.

Vsebnosti na ploskvah v Sloveniji so malo večje kot v Švici. Povprečna vsebnost dušika je v Švici 11,00 mg/g, v Sloveniji pa 12,70 mg/g (naši rezultati za 26 lokacij).

V Švici so ugotavljali vsebnost dušika v mahu *Hypnum cupressiforme* Hedw. v različnih regijah. V posameznih regijah so izračunali povprečje meritev za leti 1995 in 2005. V regiji Jura je povprečje znašalo 10,45 mg/g, v Mittelland 11,20 mg/g in v Alpah 10,90 mg/g (Thöni in sod., 2008). V vseh pokrajinah so bile vsebnosti manjše, kot je bilo povprečje na naših izbranih ploskvah (12,70 mg/g).

V avstrijski raziskavi (Zechmeister in sod., 2009) so ugotovili, da so vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ med –10,04 in –2,45 ‰ s povprečno vrednostjo –6,25 ‰. V naši raziskavi pa so se vrednosti gibale med –8,07 in –0,84 ‰ s povprečno vrednostjo –5,57 ‰.

Na Norveškem so dobili povprečne vsebnosti žvepla (*Hylocomium splendens*) 900 µg/g. V Avstriji je bila povprečna vsebnost 1110 µg/g, na Češkem 1180 µg/g, na severnem Finskem pa 810 µg/g (Reinmann in sod., 2006). Slovenija se z našimi vsebnostmi 1000 µg/g uvršča za Finsko in Norveško. Večje vsebnosti žvepla pa imata Avstrija in Češka. V Evropi izstopa pri onesnaženju z žveplom Italija, kjer so namerili v mahu *Hypnum cupressiforme* Hedw. vsebnosti 2000–2400 µg/g (Loppi in Bonini, 2000).

Na Kitajskem so s pomočjo mahovne vrste *Haplocladium microphyllum* testirali vsebnosti žvepla v zraku in dobili na odprtem vsebnosti 2500–5600 µg/g (Liu in sod., 2009). V primerjavi z našimi (1000 µg/g) vsebnostmi so te precejšnje.

6.1.1.1 Primerjava dušikovih in žveplovih usedov z raziskavo v Švici

V raziskavi *Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz* (Thöni in sod., 2008) so poleg kovin obravnavali tudi vnos dušikovih in žveplovih usedov. V šestnajstih deželah v Švici so med letom 2003 in 2005 izmerili vnos dušika in žvepla s padavinami.

V Švici so na podlagi določitve vsebnosti N v mahu v letih 2003 in 2005 ocenili, da znaša used dušika 9,8 kg/ha/leto (Thöni in sod., 2008). V našem izračunu pa smo dobili povprečje N_{used} na prostem 10,2 kg/ha/leto, kar je nekoliko večje kot v Švici.

Glede na modelne izračune iz podatkov za padavine so bile za leto 2011 za Slovenijo ocenjene kritične vrednosti za dušik na 10–20 kg N/ha/leto (Posch in sod., 2011). Večino podatkov za izračun kritične vrednosti je bilo pridobljenih iz meritev ICP-Forest raven II. Podatki so bili izračunani za različne gozdne združbe. Za Slovenijo so uporabili ploskev Brdo, kjer uspevajo tipične kisloljubne vrste, in Borovec, ploskev ki leži v dinarskih bukovih gozdovih s karbonatno podlago. Kritične vrednosti so bile izračunane v skladu z SMB modelom (Posch in sod., 2011). To kritično vrednost po naših izračunih (ocenah) presežeta le dve ploskvi, in sicer ploskev 670 s 23,2 kg/ha/leto in ploskev 2669 s 25,1 kg/ha/leto. Blizu kritične vrednosti pa je tudi ploskev 866 19,2 kg/ha/leto. Usedi dušika pod zastorom so precej večji in so 6,6–36,8 kg/ha/leto, kar pa precej preseže kritično vrednost.

Za izračunane usede za žveplo smo dobili povprečje 5,5 kg/ha/leto. Največja depozicija je bila ocenjena za ploskvi 2669 15,9 kg/ha/leto in 670 14,6 kg/ha/leto. V švicarski raziskavi pa so žveplovci usedi okrog 2 kg/ha/leto (BAFU, 2011), kar je precej manj kot v Sloveniji.

Vendar pa žveplo ne kaže odvisnosti med vsebnostjo v mahu in usedi. R^2 je le 0,14. Mahovi so se izkazali kot slab organizem za biomonitoring žvepla.

6.1.2 Variabilnost na ploskvah in med ploskvami

Ugotovili smo, da je variabilnost na ploskvah manjša, kot je variabilnost med ploskvami, kar je bil pogoj za uporabnost mahov kot bioindikatorjev. V Sloveniji smo analizirali vzorce mahu na 26 lokacijah. Za dušik je znotraj ploskve varianca 2,355 mg/g in med posameznimi ploskvami 6,386 mg/g. Za žveplo je znotraj ploskve varianca 167,284 µg/g in med posameznimi ploskvami 413,293 µg/g. Pri analizi na vseh petih podploskvah smo za $\delta^{15}\text{N}$ dobili varianco 0,828 ‰, med ploskvami pa varianco 3,186 ‰.

V Avstriji so primerjali vzorce mahu na 68 lokacijah. Varianca na ploskvi je bila za $\delta^{15}\text{N}$ 0,632 ‰, med ploskvami pa 2,429 ‰. Za dušik je bila na ploskvi varianca 0,141 mg/g in med ploskvami 1,131 mg/g (Zechmeister in sod., 2009).

Varianca v avstrijski raziskavi pri $\delta^{15}\text{N}$ je nekoliko manjša kot v Sloveniji (na izbranih ploskvah). Pri dušiku pa je varianca v Sloveniji tako na ploskvi kot tudi med ploskvami precej večja kot v Avstriji.

6.1.3 Primerjava vsebnosti pod zastorom in na prostem

Problem vzorčenja v Sloveniji je prevelika zastrtost s krošnjami in premajhne vrzeli. Le redki vzorci so bili nabrani čisto na prostem. Večinoma se v bližini vzorca nahajajo krošnje ali pa so tla zaraščena z grmovnicami, ki tudi vplivajo na povečanje vsebnosti dušika, žvepla in vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ z izpiranjem. Na sušnejših območjih smo imeli težave z nabiranjem mahu pod zastorom, saj je bil zelo redek.

Pri primerjavi vsebnosti dušika in žvepla na prostem in pod zastorom smo ugotovili, da so vsebnosti večje pod zastorom. To potrjujejo vsebnosti na vseh ploskvah razen na ploskvi 866, kjer so vsebnosti dušika pod zastorom (16,0 mg/g) manjše kot na prostem (17,0 mg/g). To lahko pripišemo nabiranju v vrzeli, kjer je bila opravljena sečnja v obdobju zadnjih treh let.

6.1.4 Dodatne značilnosti okolja in njihov vpliv na vsebnosti dušika, žvepla in vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ v mahovih

Pri naši raziskavi smo ugotovili, da so vsebnosti dušika pod zastorom med iglavci in listavci statistično značilne $p = 0,02$. Vsebnosti dušika v mahovih so večje v iglastih sestojih glede na listaste. Na prostem ni statističnih razlik med vsebnostmi dušika v mahovih glede na tip sestoja.

Vsebnosti žvepla v mahovih se glede na sestavo sestoja statistično ne razlikujejo ne na prostem in ne pod zastorom. Vsebnosti so podobne tako v iglastih kot v listnatih sestojih.

Vrednostih $\delta^{15}\text{N}$ v mahovih so statistično značilno različne ($p = 0,02$) med dvema različnima gozdnima sestojema, saj so v mahovih, nabranih v listnatih gozdovih, vrednosti manj negativne, v iglastih pa bolj negativne. Na prostem ni statistično značilnih razlik. Vsebnosti N in S se z oddaljenostjo od drevesnih krošenj zmanjšujejo. Največje vsebnosti so v bližini krošenj zaradi izpiranja z njih.

V članku so se Wuyts in sodelavci (2008) ukvarjali s primerjavo usedov v notranjosti gozda v primerjavi z gozdnim robom in pa vplivom vrste sestoja. Ugotovljeno je bilo, da je pri isti klimi in lokaciji vnos usedov dušika in žvepla večji pod iglastim (bor) kot pod listnatim sestojem (breza in hrast).

Iglasti gozdovi prepustijo več dušika in žvepla zaradi sledečih faktorjev:

- razlike v strukturi vegetacije kot na primer manjša višina dreves, LAI (listni indeks) v iglastih sestojih, večja gostota sestoja in gostota krošenj, volumen iglastih sestojev,
- odpadanje listov v listnatih sestojih v mirujoči sezoni,
- vpliv intercepcije – večje listne strukture prestrežejo več kot manjše iglice (Wuyts in sod., 2008).

6.2 SKLEP

Variabilnost na lokaciji vzorčenja je manjša kot med lokacijami. Akumulacija dušika in žvepla v mahovih ni zgolj rezultat naravnih in antropogenih vplivov, temveč na used v mahovih vplivajo še sam mikorelief, mesto odvzema vzorca, mikroklima, vitalnost mahu idr.

Pri primerjavi vsebnosti dušika in žvepla na prostem in pod zastorom smo ugotovili, da so vsebnosti večje pod zastorom. Pod zastorom se povečajo vsebnosti onesnažil zaradi vpliva izpiranja dušika in žvepla s površine asimilacijskih organov (iglice, listje) ter skorje/površine debla in vej.

Pri ugotavljanju vsebnosti pod zastorom in na prostem glede na tip gozda smo ugotovili statistično značilne razlike pod zastorom. Vsebnosti dušika so bile večje v iglastih sestojih, pri žveplu ni bilo statističnih razlik glede na tip sestoja, vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ pa so bile manj negativne pod listavci (mediana -5‰), pod iglavci pa bolj negativne (mediana -7‰). Na prostem med iglavci in listavci ni bilo statistično značilnih razlik. Za potrditev ugotovitve, da so večje vsebnosti vnosov elementov v iglastih gozdovih kot v listnatih, bi potrebovali več ploskev.

Vsebnosti dušika in žvepla se z oddaljenostjo od krošenj zmanjšujejo. V njihovi bližini pa so vsebnosti povečane zaradi vpliva izpiranja. Vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ pa ne kažejo trendov glede na oddaljenost.

S preračunanimi usedi (kg/ha/leto) vnosa dušika smo v primerjavi z drugimi državami v Evropi nekje v sredini. Najmanjše usede imajo na Nizozemskem, Finskem in Veliki Britaniji sledijo Švica, Slovenija, Nemčija in Belgija, Slovaška. Kritično vrednost v Sloveniji v naši raziskavi presežeta dve ploskvi, kjer bi morali zmanjšati onesnaženje. Pri usedih žvepla je bilo ugotovljeno, da mahovi niso najbolj primeren indikator za ugotavljanje vsebnosti žvepla (Thöni in sod., 2008).

7 POVZETEK

Onesnaženje zraka je svetovni problem, ki pa se z naraščanjem prebivalstva stalno povečuje (Erisman in sod., 2011). Navkljub čedalje bolj osveščenemu prebivalstvu se še vedno srečujemo s prevelikimi emisijami onesnažil v ozračju in onesnaženjem okolja nasploh. K temu prispevajo industrija, promet, kmetijstvo in drugi antropogeni viri. Onesnaženje zraka s plini povzroča težave z zdravjem ljudi, evtrofikacijo in acidifikacijo (zakisljevanje) ter poškodbe na ekosistemih in zgradbah (korozija) (Izpusti snovi ..., 2009). Da lahko spremljamo in zmanjšamo vnos onesnažil v ozračje, je treba uporabiti primerno metodo. Uporaba mahov kot bioindikatorjev se je izkazala za zelo uporabno in poceni metodo. Metodo, ki izvira iz skandinavskih držav, smo prilagodili za slovenske razmere. Naše vzorčenje je potekalo v okviru programa za intenzivno spremljanje gozdnih ekosistemov (IMGE).

Vzorčenje mahov na izbranih ploskvah smo izvedli po navodilih programa ICP-Vegetation (Harmens in sod., 2008), ki smo jih delno priredili za slovenske razmere (Skudnik in sod., 2011). Vzorčili smo mah štorovo sedje (*Hypnum cupressiforme* Hedw). Vzorčenje je potekalo na izbranih ploskvah na sistematični mreži 16×16 oz. 16×8 km, ki jih Gozdarski inštitut Slovenije uporablja pri monitoringu gozdov in gozdnih ekosistemov (MGGE). Uporabili smo podatke s 26 ploskev.

Vzorke smo nabirali leta 2010. Nabirali smo jih v papirnate vrečke in z vinilnimi rokavicami, da se vzorci ne bi kontaminirali. Lokacija nabiranja mahov je morala biti čim bolj oddaljena od virov onesnaženja: prometnic, kmetijskih površin, industrije idr. Nobeno vzorčeno mesto ni bilo v neposredni bližini emisijskih virov. Na vsaki ploskvi smo nabrali pet podvzorcev v gozdnih vrzelih in pet podvzorcev pod krošnjami dreves, ki smo jih kasneje združili v kompozitni vzorec. Mahove smo nabirali na tleh, na kosih odmrle lesne mase (veje, panji, debla), v primeru, da niso bili najdeni na prejšnjih dveh substratih, pa na kamnih ali skalah. Pri vzorčenju na odprtih površinah smo nabrali mahove, ki niso bili neposredno zastrti s krošnjami bližnjih dreves, saj dež spira elemente z drevesnih krošenj na mahove pod njimi in se tako spremeni vsebnost elementov v njih (Skudnik in sod., 2011).

Mahove smo nabirali na nekoliko dvignjenih delih reliefa, da smo tako izključili vpliv površinskih voda. Mahov prav tako nismo vzorčili na dniščih dreves zaradi vpliva odtoka po deblu (Skudnik in sod., 2011).

Vzorke smo očistili iglic, delcev prsti, listja ter starejših rjavih delov steljke. Za analizo smo uporabili le živi del mahu, prirasel v treh letih, saj se v starejših delih lahko nakopičijo večje količine elementov.

Nato smo vzorce za analizo dušika in žvepla posušili na sobni temperaturi in jih za primerljivost rezultatov z drugimi študijami korigirali z vsebnostjo vlage v vzorcu pri sušenju na 40 °C. Z elementarnim analizatorjem LECO CNS-2000 smo v laboratoriju za gozdno ekologijo na Gozdarskem inštitutu Slovenije izmerili vsebnosti dušika in žvepla.

Meritve izotopske sestave dušika ($\delta^{15}\text{N}$) so bile opravljene na Institutu Jožef Stefan z masnim spektrometrom za analitiko stabilnih izotopov lahkih elementov – Europa Scientific 20-20 s preparacijskim nastavkom za trdne in tekoče vzorce ANCA SL.

Pri primerjavi vsebnosti dušika in žvepla na prostem in pod zastorom smo ugotovili, da so vsebnosti večje pod zastorom. Pod zastorom se povečajo vsebnosti onesnažil zaradi vpliva izpiranja elementov s krošenj.

Pri ugotavljanju vsebnosti dušika in žvepla pod zastorom in na prostem glede na tip gozda smo ugotovili statistično značilne razlike pod zastorom. Vsebnosti dušika so bile večje v mahovih, nabranih pod iglavcih, pri žveplu ni bilo statistično značilnih razlik. Vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ so bile glede na tip sestoja manj negativne v vzorcih, nabranih pod listavci, in bolj negativne pod iglavci. Na prostem med iglavci in listavci ni bilo statistično značilnih razlik. Za potrditev ugotovitve, da so večje vsebnosti vnosov elementov v iglastih gozdovih kot v listnatih, bi potrebovali več ploskev.

Vsebnosti dušika in žvepla se z oddaljenostjo od krošenj zmanjšujejo. V njihovi bližini pa so le-te povečane zaradi vpliva izpiranja. Vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ ne kažejo trendov glede na oddaljenost od roba krošenj.

Preračunane usede dušika in žvepla smo primerjali med državami. Za dušikove usede je bilo ugotovljeno, da je v Sloveniji povprečje 10,2 kg/ha/letno, v Švici pa 9,8 kg/ha/letno. Kritično vrednost (10–20 kg N/ha/letno), določeno z modelnimi izračuni iz podatkov za padavine za leto 2011 (Posch in sod., 2011), sta presegli dve ploskvi: ploskev 670 z 23,2 kg/ha/letno in ploskev 2669 z 25,1 kg/ha/letno, kar je zaskrbljujoče. Za izračunane usede za žveplo smo dobili povprečje 5,5 kg/ha/letno. V švicarski raziskavi pa so žveplovi usedi okrog 2 kg/ha/letno (BAFU, 2011), kar je precej manj kot v Sloveniji.

8 VIRI

Atherton I., Bosanquet S., Lawley M. 2010. British mosses and liverworts a field guide. British Bryological Society.

<http://www.bbsfieldguide.org.uk/content/hypnum-cupressiforme> (24. sept. 2012)

A Typical Bryophyte Life Cycle.

http://www.cliffsnotes.com/study_guide/A-Typical-Bryophyte-Life-Cycle.topicArticleId-23791,articleId-23760.html (24. sep. 2012)

BAFU 2011. NABEL – Luftbelastung. 2010. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). (Umwelt-Zustand. 1118). Bundesamt für Umwelt, Bern.: 126 str.

Batič F., Wraber T., Turk B. 2003. Pregled rastlinskega sistema s seznamom rastlin in navodil za pripravo študentskega herbarija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.

Dawson T. E., Mambelli S., Plamboeck A. H., Templer P. H., Tu K. P. 2002. Stable isotopes in plant ecology. Annual Review of Ecology and Systematics, 33: 507–559.

Erisman J. W., Grinsven v. H., Grizzetti B., Bouraoui F., Powlson D., Sutton M. A., Bleeker A., Reis S. 2011. The European nitrogen problem in a global perspective. V: The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives: 9–31.

Goffinet B., Shaw A. J. 2009. Bryophyte Biology. 2nd ed. Cambridge University Press. Cambridge: 581 str.

Harmens H., Norris D., Cooper D., Hall J. and the participants of the moss survey. 2008. Spatial trends in nitrogen concentration in mosses across Europe in 2005/2006: report on Nitrogen in European Mosses: work package 4: The UNECE International Cooperative Programme on Vegetation. Centre for Ecology and Hydrology: 18 str.

ICP-Forests.net

<http://icp-forests.net/> (4. okt. 2012)

Izpusti dušikovih oksidov (zadnji podatki na voljo v sklopu kazalcev ZR09 in ZR10).

2009. Državne emisijske evidence. Agencija Republike Slovenije za okolje. (24. jun. 2009)

http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=161 (16. jan. 2013)

Izpusti snovi v zrak, razdeljeni po glavnih kategorijah virov. 2009. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.

http://eionet-si.arso.gov.si/Dokumenti/GIS/zrak/obremenitve/79_opis.htm (5. okt. 2012)

Izpusti žveplovega dioksida (zadnji podatki na voljo v sklopu kazalca ZR09). 2009. Državne emisijske evidence. Agencija Republike Slovenije za okolje. (24. jun. 2009)
http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=208 (16. jan. 2013)

Jeran Z. 2006. Strokovne podlage za ugotavljanje depozicije kovin in dušika v Sloveniji v letu 2006/2007 na podlagi Konvencije o prekomernem onesnaževanju zraka na velike razdalje: fazno poročilo za leto 2006. (IJS delovno poročilo, 9477). Ljubljana, Institut Jožef Stefan: 16 str.

Jeran Z., Smrke J., Mrak T., Šlejkovec Z., Mazej D., Ogrinc N. 2007. Strokovne podlage za ugotavljanje depozicije kovin in dušika v Sloveniji v letu 2006/2007 na podlagi Konvencije o prekomernem onesnaževanju zraka na velike razdalje: poročilo o izvedbi projekta (IJS delovno poročilo, 9741). Ljubljana, Institut Jožef Stefan: 29 str.

Jeran Z. 2009. Kazalci – depozicija kovin in dušika. Ljubljana, Institut Jožef Stefan.

Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2011. 2012. Bolte T. (ur.). Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 177 str.
http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/KAKOVOST_ZRAKA%202011.pdf

Kosior G., Samecka-Cymerman A., Chmielewski A., Wierchnicki R., Derda M., Kempers A. J. 2007. Native and transplanted *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. as a bioindicator of N deposition in a heavily industrialized area of Upper Silesia (S Poland). *Atmospheric Environment*, 42: 1310–1318.

Köhl M. International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests. United Nations Economic Commissions for Europe.
<http://www.unece.org/env/lrtap/workinggroups/wge/forests.html> (4. okt. 2012)

Kutnar L., Martinčič A. 2008. Bryophyte species diversity of forest ecosystems in Slovenia (intensive monitoring programme). *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 85:11–26.

Lešnjak M., Kovač N. 2003. Implementacija programa EMEP v Sloveniji. MOPE-ARSO.
<http://eionet-si.arso.gov.si/Dokumenti/GIS/zrak/odzivi/183.pdf> (10. okt. 2012)

Liu X.-Y., Xiao H.-Y., Liu C.-Q., Li Y.-Y., Xiao H.-W. 2008. Atmospheric transport of urban-derived NH_x : Evidence from nitrogen concentration and $\delta^{15}\text{N}$ in epilithic mosses at Guiyang, SW China. *Environmental Pollution*, 156: 715-722.

Liu X.-Y., Xiao H.-Y., Liu C.-Q., Xiao H.-W., Wang Y.-L. 2009. Assessment of atmospheric sulfur with the epilithic moss *Haplocladium microphyllum*: Evidences from tissue sulfur and $\delta^{34}\text{S}$ analysis. *Environmental Pollution*, 157: 2066–2071.

Loppi S., Bonini I. 2000. Lichens and mosses as biomonitors of trace elements in areas with thermal springs and fumarole activity (Mt. Amiata, central Italy). *Chemosphere*, 41: 1333–1336.

Lövblad G., Tarrasón L., Tørseth K., Dutchak S. 2004. EMEP Assessment Part I European Perspective. Oslo, Norwegian Meteorological Institute: 180 str.

Maguš R. 2012. Bioindikacija stanja zraka in okolja v Slovenskih goricah s pomočjo epifitskih lišajev po različnih metodah: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in gozdne vire). Ljubljana, samozal.: str. 58.

Markert B. A., Breure A. M., Zechmeister H. G. 2003. Bioindikators & Biomonitors: Principles, Concepts and Applications. 6nd edition. Oxford, Elsevier science: 997 str.

Monitoring gozdov. 2009. Ljubljana, Gozdarski Inštitut Slovenije.
<http://www.gozdis.si/index.php?id=11> (23. nov. 2012)

Pavšič Mikuž P. 2005. Kovine in mikroelementi v mahovih in epifitskih lišajih na območju Slovenije: magistrsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo). Ljubljana, samozal.: 131 str.

Pearson J., Wells D. M., Seller K. J., Bennett A., Soares A., Woodall J., Ingrouille M. J. 2000. Traffic exposure increases natural ^{15}N and heavy metal concentrations in mosses. *New Phytologist*, 147: 317–326.

Pitcairn C. E. R., Leith I. D., Sheppard L. J., Sutton M. A., Fowler D., Munro R. C., Tang S., Wilson D. 1998. The relationship between nitrogen deposition, species composition and foliar nitrogen concentrations in woodland flora in the vicinity of livestock farms. *Environmental Pollution*, 102, S1: 41–48.

Posch M., Slootweg J., Hettelingh J. -P. 2011. Modelling Critical Thresholds and Temporal Changes of Geochemistry and Vegetation Diversity. CCE Status Report 2011. Bilthoven, Coordination Centre for Effects: 186 str.

Reimann C., Arnoldussen A., Boyd R., Finne T. E., Nordgulen Ø., Volden T., Englmaier P. 2006. The influence of a city on element contents of a terrestrial moss (*Hylocomium splendens*). *Science of The Total Environment*, 369: 419–432.

Rühling A., Steinnes E. 1998. Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe 1995–1996. Copenhagen, Nordic Council of Ministry.

Serdinšek T. 2011. Ugotavljanja useda kovin v gozdne ekosisteme z mahovi kot bioindikatorji: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 69 str.

Simončič P., Čater M., Ferlan M., Kutnar L., Levanič T., Ogris N., Rupel M., Sinjur I., Skudnik M., Verlič A., Vilhar U., Žlindra D., Kovač M. 2012. Poročilo o spremljanju stanja gozdov za leto 2011.

http://www.gozdis.si/fileadmin/user_upload/stanje_gozdov/Porocilo_o_stanju_gozdov_za_leto_2011_po_PVG_2009.pdf (12. jan. 2013)

Skudnik M., Japelj A., Kovač M. 2011a. Stanje osutosti dreves na ploskvah IMGE v letu 2009 in odvisnost osutosti od nekaterih izbranih kazalnikov. *Gozdarski vestnik*, 69, 5–6: 263–270.

Skudnik M., Kutnar L., Batič F., Jeran Z., Simončič P. 2011b. Mahovi kot bioindikatorji stanja okolja. *Gozdarski vestnik*, 69, 9: 402–408, 425–430.

Skudnik M., Jeran Z., Kastelec D., Simončič P., Batič F. 2013. Korelacija med vsebnostjo N v mahovih in količino mokrega useda N na izbranih ploskvah. Ljubljana, gozdarski inštitut Slovenije (neobjavljeno).

Solga A., Burkhardt J., Zechmeister H. G., Frahm J. -P. 2005. Nitrogen content, ¹⁵N natural abundance and biomass of the two pleurocarpous mosses *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. and *Scleropodium purum* (Hedw.) Limpr. in relation to atmospheric nitrogen deposition. *Environmental Pollution*, 134: 465–473.

Thöni L., Matthaei D., Seidler E., Bergamini A. 2008. Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz. Moosanalysen 1990–2005. (Umwelt-Zustand, Nr. 0827) Bern, Bundesamt für Umwelt: 150 str.

Woolgrove C. E., Woodin S. J. 1996. Current and historical relationships between the tissue nitrogen content of a snowbed bryophyte and nitrogenous air pollution. *Environmental Pollution*, 91: 3, 283–288.

Wuyts K., Schrijver A. D., Staelens J., Gielis L., Vandenbruwane J., Verheyen K. 2008. Comparison of forest edge effects on throughfall deposition in different forest types. *Environmental Pollution*, 156: 3, 854–861.

Zechmeister H. G., Richter A., Smidt S., Hohenwallner D., Roder I., Maringer S., Wanek W. 2008. Total Nitrogen Content and $\delta^{15}\text{N}$ Signatures in Moss Tissue: Indicative Value for Nitrogen Deposition Patterns and Source Allocation on a Nationwide Scale. *Environmental science & technology*, 42, 23: 8661–8667.

30 years of effects research, monitoring and modelling under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. 2011. Working Group on Effects (WGE).
<http://www.unece.org/env/lrtap/WorkingGroups/wge/welcome.html> (4. okt. 2012)

R Development Core Team. 2010. R: A language and environment for statistical computing. Vienna.
<http://www.R-project.org> (5. okt. 2012)

ZAHVALA

Mentorju prof. dr. Francu Batiču, somentorju dr. Primožu Simončiču, Mitji Skudniku in doc. dr. Zvonki Jeran se lepo zahvaljujem za vso strokovno pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Prof. dr. Maji Jurc se zahvaljujem za recenzijo ter mag. Maji Božič za tehnični pregled naloge.

Zahvaljujem se vsem uslužbencem Gozdarskega Inštituta Slovenije, ki so pomagali pri izvedbi naloge in analizirali vsebnost dušika v vzorcih mahov.

Za izvedbo analiz vsebnosti izotopov dušika v vzorcih mahov se zahvaljujem zaposlenim na Odseku za znanosti o okolju na Institutu »Jožef Stefan«.

Tadeju Serdinšku in Boži Majstorovič se zahvaljujem za pomoč pri čiščenju mahov.

Še posebej se zahvaljujem Primožu Klemenšku ter mojim staršem za potrpljenje in podporo v času nastanka te naloge.

Zahvaljujem se Tjaši Štrbenk in Nini Gradič Planko za korekten prevod v angleški jezik ter lektoriranje.

Hvala vsem tistim, ki ste kakorkoli pripomogli k nastanku te naloge.

PRILOGE

Priloga A: Formular za popis mahov

Datum: _____ Ura (začetek vzorčenja): _____
 Ime in Priimek popisovalca: _____
 Zaporedna številka ploskve: _____

Obkroži številko pred pravilno trditvijo in/ali zapišite izmerjeno/ocenjeno vrednost

Vreme: 1. deževno 2. sončno 3. oblačno 4. megleno 5. drugo (navedi) _____	Topografija: 1. ravnina 2. vrh hriba, greben 3. dno kotanje 4. pobočje 5. konveksni prelom pobočja 6. konkavni prelom pobočja 7. jarek, ozka dolinica	GPS lokacija: X _____ Y _____ Z _____ ali ocena oddaljenosti od ploskve v metrih: _____ in smer neba: _____ Naklon (v stopinjah): _____ Ekspozicija (v stopinjah): _____ Število pod-vzorcev: _____
Volumen vzorca v litrih: 1. < 1 liter 2. 1 – 2 litra 3. > 2 litra		
Tip rasti: 1. raztreseno 2. posamezne blazinice 3. večje površine	Pogostost: 1. redek 2. pogost	Vidni delci prahu: 1. ne 2. redki 3. številni
		Dolžina steljke (cm): 1. < 5 2. 5 – 10 3. 10 – 15 4. > 15

Za vsak vzorec v preglednico vpiši ustrezno šifro, ki so zapisane v nadaljevanju :

Vzorec	Vrsta mahu	Vzorec iz ...	Lokacija odvzema vzorca	Bližnja drevesna vrsta	Višina drevesa	Razdalja do grma	Grmovna vrsta	Višina grmovja
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
6.*								

* 6 vzorec se nabere na ploskvi pod krošnjami prevladujoče drevesne vrste.

Vrsta mahu: 1. Hypnum cupressiforme 2. Pleurozium schreberi 3. drugo (v primeru poznavanja vpiši v okence)	Lokacija odvzema vzorca: 1. pod drevesom 2. na robu krošnje (0 – 1 m) 3. v bližini krošnje (1 – 3 m) 4. na odprtem (> 3 m)	Lokacija odvzema vzorca pod grmovnim slojem: 1. pod grmom 2. na robu (0 – 1 m) 3. v bližini (1 – 3 m) 4. na odprtem (> 3 m)
Vzorec iz ...: 1. tal 2. panja, lesnega kosa 3. skale, kamna 4. drugo (navedi v okence)	V primeru da je lokacija odvzema 1, 2 ali 3 izpolni še naslednja polja. Bližnja drevesna vrsta: 1. listavec 2. iglavec Višina drevesa (ocena višine v metrih)	Grmovna vrsta: 1. listavec 2. iglavec Višina grmovnega sloja (ocena višine v metrih)

Prevladujoča raba tal v bližnji okolici mesta odvzema mahu:

1. mešan gozd
2. gozd iglavci
3. gozd listavci
4. naravno travnišče
5. pašnik
6. kmetijska površina (njiva, vinograd, ...)
7. rušje
8. zaraščajoča površina
9. močvirje
10. drugo: _____

Opis mesta odvzema mahu:

1. vrzel znotraj iglastih gozdov
2. vrzel znotraj listnatih gozdov
3. vrzel znotraj mešanih gozdov
4. vrzel znotraj mladovja/grmovja
5. rušje
6. travnišče, pašnik
7. drugo: _____

Posebnosti v bližini mesta odvzema mahu, ki lahko vplivajo na količino depozitov in oddaljenost teh posebnosti od mesta odvzema vzorcev:

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1. neporasle površine: _____m | 11. kmetijske površine: _____m |
| 2. kmetija (živalska farma): _____m | 12. orano kmetijsko polje: _____m |
| 3. posamezna hiša: _____m | 13. vas: _____m |
| 4. mesto: _____m | 14. makadamska cesta: _____m |
| 5. manjša asfaltirana cesta: _____m | 15. regionalna cesta: _____m |
| 6. avtocesta: _____m | 16. železniška proga: _____m |
| 7. industrija z visokimi dimniki: _____m | 17. manjša industrija: _____m |
| 8. sežigalnica odpadkov: _____m | 18. smetišče: _____m |
| 9. termoelektrarna: _____m | 19. gradbišče: _____m |
| 10. gramozna jama: _____m | |

Opombe (navedemo kakšne posebnosti kot so npr. dolgotrajnejše deževje, suša, v bližini izvedena sečnja, itd.):
