

Meritve kakovosti padavin na prostem in v sestoji na ploskvah intenzivnega spremljanja gozdnih ekosistemov

Measuring of Precipitation Quality in the Open and in a Stand on the Plots for Intensive Monitoring of Forest Ecosystems

Daniel ŽLINDRA¹, Mitja SKUDNIK², Matej RUPEL³, Primož SIMONČIČ⁴

Izvleček:

Žlindra, D., Skudnik, M., Rupel, M., Simončič, P.: Meritve kakovosti padavin na prostem in v sestoji na ploskvah intenzivnega spremljanja gozdnih ekosistemov. *Gozdarski vestnik*, 69/2011, št. 5–6. V slovenščini z izvlečkom v angleščini, cit. lit. 16. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

Meritve kakovosti padavin v organizaciji Gozdarskega inštituta Slovenije (GIS) imajo v Sloveniji skoraj dvajsetletno tradicijo, od leta 2003 pa so osnovane ploskve intenzivnega spremljanja gozdnih ekosistemov (IMGE), kjer te meritve potekajo kontinuirano in sistematično že deveto leto. Poleg merjenja količine padavin na Gozdarskem inštitutu Slovenije vzorce analiziramo tudi kakovostno po metodah, predpisanih s strani ICP Forests. Na podlagi rezultatov ocenimo vnos snovi v gozd (*in situ* podatki), kar omogoča izračun vodne in snovne bilance za gozdne ekosisteme. Z meritvami na prostem in v sestoji pod krošnjami pridobimo vhodne podatke za pripravo ocen kritičnih obremenitev gozdnih ekosistemov z onesnažili. Zaradi daljšega časovnega spremljanja depozitov detektiramo trende v depozitih onesnažil – predvsem amonijevega in nitratnega dušika ter žvepla v obliki sulfata – na posameznih lokacijah. Največji depozit dušika je na ploskvi Trnovo, kjer ga na prostem in v sestoji v povprečju zaznamo 17 kg ha⁻¹ leto⁻¹ v amonijevi in nitratni obliki skupaj. Po depozitu žvepla prednjači ploskev Lontovž, kjer je letni depozit v povprečju dobrih 8 kg ha⁻¹ velja za meritve na prostem in v sestoji. Najopaznejši trend je zmanjševanje depozita amonijevega dušika in sulfata na ploskvi Lontovž v sedemletnem obdobju meritev.

Gljučne besede: intenzivno spremljanje gozdnih ekosistemov, kakovost padavin, vnos snovi, Slovenija.

Abstract:

Žlindra D., Skudnik M., Rupel M., Simončič P.: Measuring of Precipitation Quality in the Open and in a Stand on the Plots for Intensive Monitoring of Forest Ecosystems. *Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 69/2011, vol. 5-6. In Slovenian, abstract in English, lit. quot. 16. Translated by Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Precipitation quality measurements, organized by Slovenian Forestry Institute (Gozdarski inštitut Slovenije –GIS), have almost twenty years of tradition in Slovenia. On the plots for intensive monitoring of forest ecosystems (IMGE), established in 2003, these measurements are continually and systematically taking place for the ninth year. In addition to measuring precipitation quantity, we at Slovenian Forestry also analyze quality of samples using the methods, prescribed by ICP Forests. On the basis of the results we estimate the input of substances into the forest (*in situ* data), which enables the calculation of water and substance balance for forest ecosystems. Through measurements in the open and in the stand under tree crowns we acquire input data for preparing the estimation of critical exposure of forest ecosystems to pollutants. Due to a longer temporal monitoring of the deposits we detect trends in deposits of pollutants, above all ammonium and nitrate nitrogen and sulphur in the sulphate form, on individual locations. The highest deposit of nitrogen is found on the Trnovo plot, where we detect, in the open and in the stand, averagely 17 kg per ha per year, in the ammonium and nitrate form together. Sulphur deposit is the highest on the Lontovž plot, where its annual deposit amounts to around 8 kg per ha, which applies to the measurements in the open and in the stand. The most striking trend is the decrease of the ammonium nitrogen and sulphate on the Lontovž plot in the seven-year period of the measurements.

Key words: intensive monitoring of forest ecosystems, precipitation quality, input of substances, Slovenia.

¹ D. Ž., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, daniel.zlindra@gozdis.si

² M. S., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za načrtovanje in monitoring gozdov in krajine. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. mitja.skudnik@gozdis.si

³ M. R., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, matej.rupel@gozdis.si

⁴ dr. P. S., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. primoz.simoncic@gozdis.si

1 UVOD

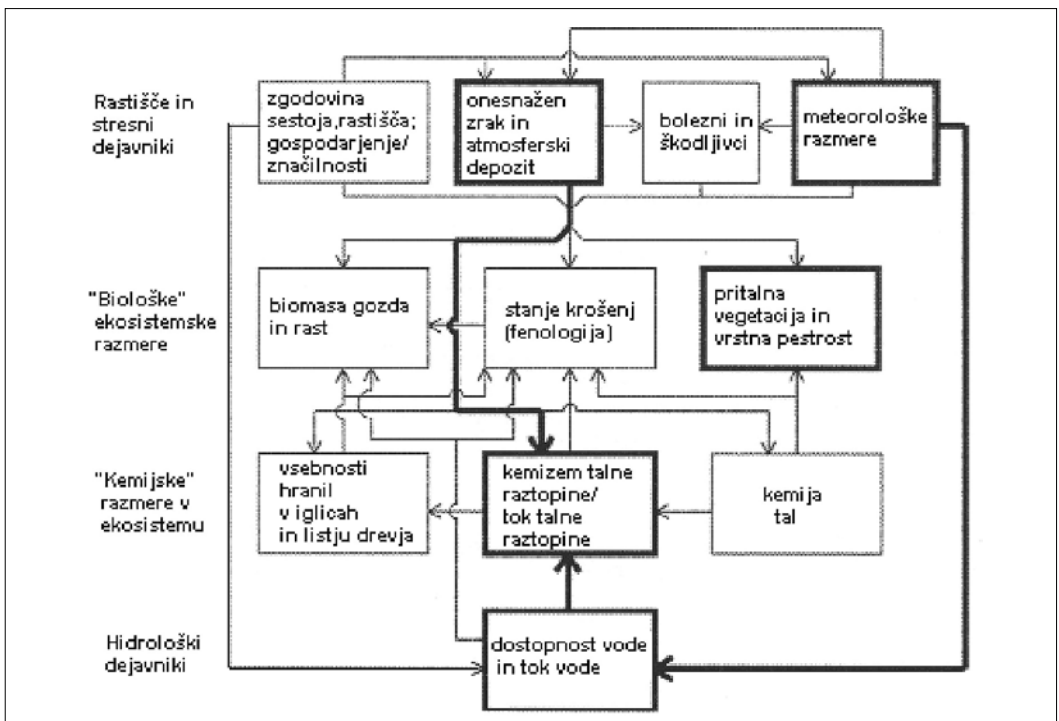
Kakovost padavin v naravnem okolju zunaj naselij se v Sloveniji spremlja v okviru dveh ločenih monitoringov: enega izvaja Agencija RS za okolje in prostor (ARSO), drugega Gozdarski inštitut Slovenije (GIS). Medtem ko ARSO izvaja meritve padavin v naravnem okolju le na meteorološki postaji Iskrba, jih GIS spremlja kar na sedmih ploskvah intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov (IMGE). Namen obeh je določiti kakovost padavin in v povezavi z njihovo količino ugotoviti, kolikšno je usedanje snovi, ki vplivajo na stanje okolja (Šegula in sod., 2009).

V gozdnem prostoru so potekale prve sistematične meritve kakovosti in količin padavin v gozdu v Sloveniji 1993 l. (Simončič, 1996). Sprva so potekale predvsem eksperimentalno na Rožniku, pozneje na Prednjem vrhu pri Zavodnjah v vplivnem območju TE Šoštanj (Simončič in sod., 2000) in nadaljevale v okviru ekositemskih raziskav na Pokljuki in Kočevski Reki (Mavsar in sod., 2000) ter na Rogu in Pohorju (Simončič in sod., 2004). Meritve na objektih v okolici Kočevske Reke so po obdobju

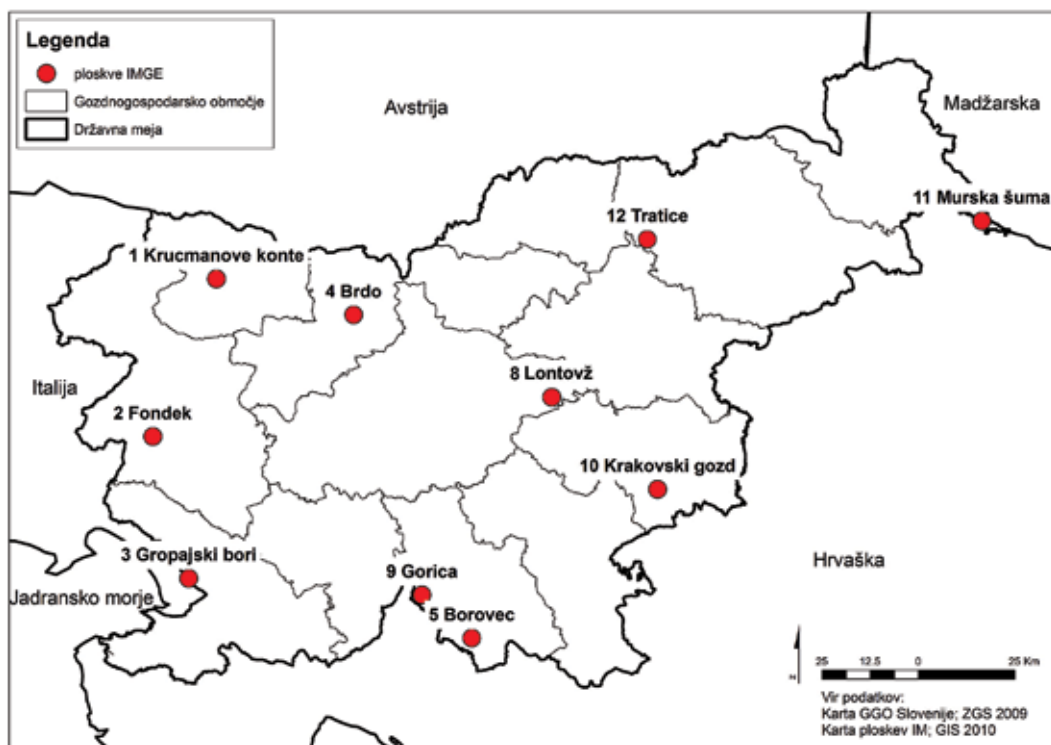
izvajanja eksperimentalnih meritev prešle v prvi monitoring sestojnih padavin (2001–2002), vendar z omejenim naborom meritev in analiz. Za potrebe modeliranja spremljanja kroženja vode v gozdu so podobne meritve potekale na Rogu (Rajhenav - rezervat, Snežna jama) (Vilhar, 2006; Vilhar, 2010) ter v porečju Dragonje (Šraj, 2003; Šraj, 2009).

V okviru evropskega monitoringa gozdov (Institute for World Forestry, 2007) so bile na ploskvi IMGE Brdo pri Kranju opravljene primerjave meritev količin in kakovosti padavin na prostem in v gozdnem sestoji s t. i. nacionalnimi vzorčevalniki in »harmoniziranimi« EU-vzorčevalniki – liji, oblikovanimi in izdelanimi v Sloveniji (Žlindra in sod., 2011, v tisku).

Namen spremljanja kakovosti in količine padavin v gozdu in na prostem v okviru spremljanja stanja gozda je pridobiti ustrezne podatke o količini in kakovosti depozitov za izbrane ploskve. Na takšen način pridobimo neposredno oceno vnosa snovi v gozd (*in situ* podatki), kar omogoča izračun vodne in snovne bilance za gozdne ekosisteme (Slika 1). Z meritvami na prostem (*bulk deposits*) in v sestoji pod krošnjami (*troughfall-stand deposits*) pridobimo



Slika 1: Shematski prikaz stresnih dejavnikov in njihov vpliv na stanje gozdnega ekosistema (Prirejeno po de Vries in sod., 1999); označena sta dejavnika, ki se posredno in neposredno navezujejeta na spremljanje kakovosti padavin ter depozitov.



Slika 2: Lokacije ploskev intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov; v l. 2010 so meritve kakovosti padavin potekale na ploskvah Fondek (2, Trnovska planota), Gropajski bori (3, pri Sežani), Brdo (4, protokolarno posestvo Brdo), Borovec (5, pri Kočevski Reki), Lontovž (8, pod Kumom), Murska šuma (11, pri Lendavi) in Tratice (12, Pohorje).

vhodne podatke za pripravo ocen kritičnih obremenitev gozdnih ekosistemov z onesnažili (žveplo, dušik, težke kovine, obstojna organska onesnažila – POP idr.) v skladu z mednarodnim programom sodelovanja na področju modeliranja in kartiranja (ICP Modelling and Mapping), ki deluje podobno kot ICP Forests v okviru Konvencije Ekonomske komisije za Evropo pod okriljem Združenih narodov o čezmejnem onesnaževanju zraka na daljavo (UNECE CLTRAP). Rezultati aktivnosti programa ICP M&M neposredno zavezujejo države, v kolikšni meri je treba omejiti emisije onesnažil.

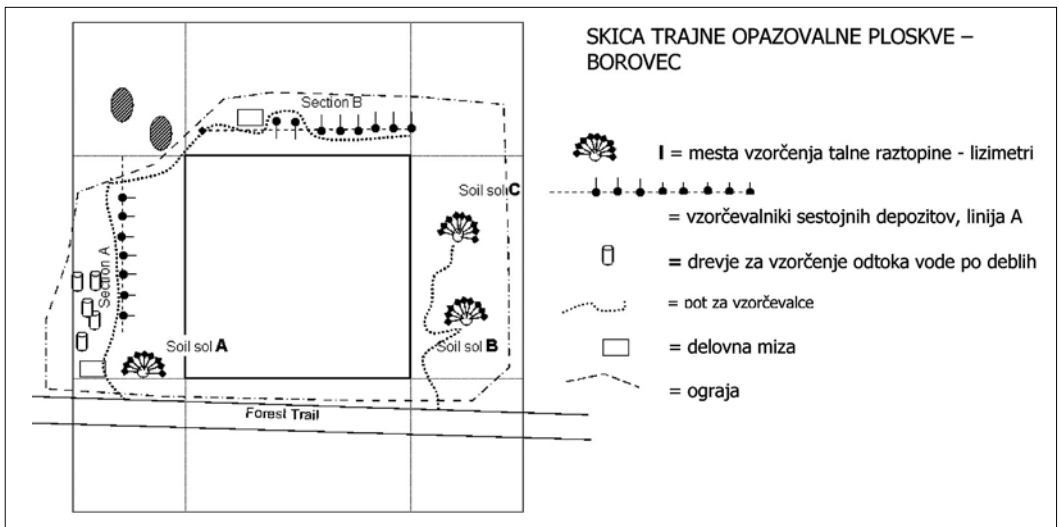
Spremljanje depozitov na ploskvah IMGE v Sloveniji poteka od jeseni 2003 oz. spomladi 2004. Sprva je spremljanje depozitov potekalo na petih ploskvah, t. j. Fondek, Brdo, Borovec, Lontovž in Murska šuma (EU program Forest Focus 2003/06, JGS/MKGP 2007/08), v l. 2009 pa smo v okviru Life+ projekta FutMon (LIFE07 ENV/DE/000218) dodali še dve ploskvi, Tratice in Gropajski bori (Slika 2) (Simončič in sod., 2010). Zaradi ukinitve evropskega sofinanciranja in trenutnega finančnega

stanja v Sloveniji v l. 2011 ni bilo več mogoče izvajati meritev na vseh sedmih ploskvah. Tako v letu 2011 poteka spremljanje depozitov samo na treh ploskvah v okviru nacionalnega intenzivnega spremljanja gozdov (financiranje Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano). Na Trnovski planoti, ploskev Trnovo, so meritve vsebinsko nadgrajene in začasno vključene v nov mednarodni LIFE+ projekt (Managing forests for multiple purposes: carbon, biodiversity and socio-economic wellbeing - ManFor CB.D, LIFE09 ENV/IT/000078), na ploskvah Murska šuma in Gropajski bori pa meritve potekajo v minimalnem, zgolj »informativnem« obsegu.

2 METODE

2.1 Ploskve, vzorčevalniki padavin, terensko delo

Spremljanje depozita na trajnih raziskovalnih ploskvah poteka na prostem in pod krošnjami dreves. Pod krošnjami dreves so vzorčevalniki postavljeni v 25-metrskem zaščitnem pasu, ki obkroža ploskev.



Slika 3: Skica ploskve Borovec pri Kočevski Reki, na kateri poteka intenzivno spremljanje stanja gozdnih ekosistemov; označeni so vzorčevalniki sestojnih padavin (depositov) in vzorčevalniki odtoka vode po deblu (Skica prirejena po Vel in sod., 2004).

Pri spremljanju kakovosti sestojnih padavin ločimo med vzorčevalniki pod krošnjami drevev (žlebiči s površino 185 cm²; t. i. *throughfall*) in vzorčevalniki odtoka vode po deblih (t. i. *stemflow*). Slednji se meri le v primeru, da na raziskovalni ploskvi rastejo listavci z gladko skorjo (bukev, gaber).

Spremljanje padavin se zaradi vrstne sestave drevev razlikuje od ploskve do ploskve. Na vseh ploskvah IMGE sta postavljeni dve liniji (A in B) vzorčevalnikov sestojnih padavin (Slika 3). Na vsaki liniji je postavljenih po pet žlebičev (»gutters«), s katerimi vzorčimo prepuščene padavine skozi krošnje, in za kontrolo žlebičem (količina dežja) še štiri vzorčevalniki – liji s površino 415 cm². Pozimi žlebiče nadomestijo posode za vzorčenje snežnih padavin – korneti s površino 415 cm² in so nameščeni na mestih lijev. Na ploskvah, na katerih prevladuje bukev, je postavljenih še pet vzorčevalnikov odtoka vode po deblu (Slika 4), s katerimi v primeru listavcev dodatno vzorčimo količino in kakovost sestojnih padavin (do 10 % količine skupnih sestojnih padavin).

Vzorčenje padavin za celovito bilanco padavin poteka tudi na prostem (t. i. *bulk deposit*): v neposredni bližini ploskve so na prostem postavljeni trije liji, površina vsakega meri 415 cm². V času padavin v obliki snega se tudi na prostem lije zamenja s korneti, ki imajo enako lovilno površino.

Uporabljena metoda (pravimo ji tudi *throughfall metoda*) upošteva in vključuje interakcijo med krošnjami drevev in kapljevino – padavinami, ki

prispejo do površja gozdnih tal za dušik, kalij, kalcij, magnezij itn..

Ploskve za spremljanje kakovosti in količine padavin na prostem so izbrane tako, da so bližnji objekti (po navadi drevesa) oddaljeni od vzorčevalnikov vsaj za dvakratno višino dreves ali drugače: gledano s pozicije vzorčevalnikov, vrh dreves ne sme biti nad obzorjem kota 35 °.

Vzorčenje padavin poteka vsako drugo sredo, vzorca dveh dvotedenskih vzorčenj pa se združita v enega za kemijsko analizo. Prevoz vzorcev s terena v laboratorij poteka v hladilnih torbah. Skrbniki ploskev (večinoma sodelavci Zavoda za gozdove Slovenije) jih najprej prenesejo na krajevne enote, od tam pa jih vodja skrbnikov dostavi na GIS, v laboratorij za gozdno ekologijo (LGE). Izmerjene količine depositov (padavine, sneg, odtok vode po deblu, prepuščene padavine (Slika 4) in rezultati analiz vzorcev depositov skupaj omogočajo izračun vnosa snovi v gozdne ekosisteme za izbrana merilna mesta.

2.2 Laboratorijske analize

V Preglednica 1 so predstavljene laboratorijske analize, ki se uporabljajo za analizo padavin (isti nabor analiz se izvaja tudi za vzorce talne raztopine), prinesenih s ploskev IMGE. Postopki so usklajeni v okviru skupine strokovnjakov Expert Panel on Deposition Measurements, ki je del aktivnosti ICP Forests (CLRTAP), in opisani v priročniku za vzorčenje in analizo depositov (Clarke in sod., 2010).



a



b



c



d

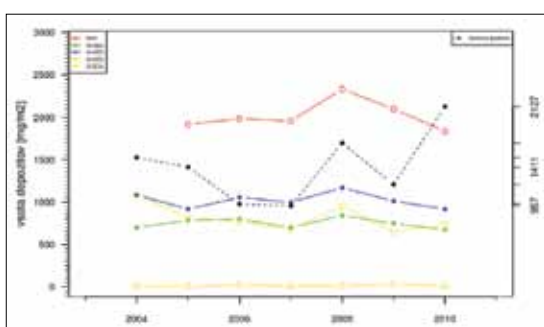
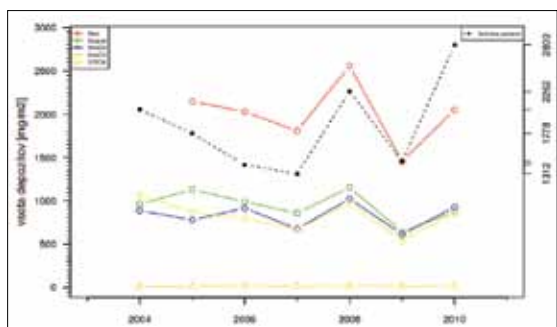
Slika 4: Fotografije: a – vzorčevalnik sestojnih padavin in b – vzorčevalnik padavin na prostem (obe Brdo pri Kranju); beli liji so harmonizirani vzorčevalniki; c – vzorčevalnik odtoka vode po deblu in d – demonstracija avtomatskih meritev (obe Tratice na Pohorju)

V preglednici so prikazani obvezni parametri, ki se določajo v vzorcih padavin s ploskev intenzivnega spremljanja stanja gozdov.

Kot onesnažila (nekatera v manjših koncentracijah služijo tudi kot hranila) sta pomembna predvsem dušik in žveplo. Anorganski dušik se pojavlja v več oblikah: amonij ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrat ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), nitrit ($\text{NO}_2^-\text{-N}$), določamo tudi skupni dušik (vsota organskih in anorganskih oblik dušika, N-tot). Najpomembnejša pojavna oblika žvepla v atmosferi in depozitu pa je sulfat ($\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$).

2.3 Rezultati in razprava

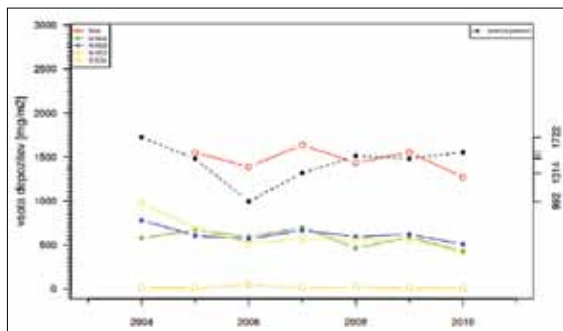
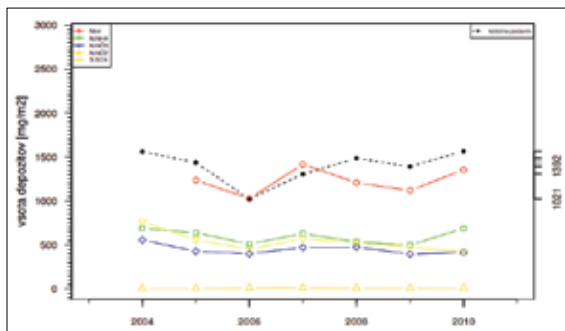
Na grafih 1 do 7 so grafični prikazi poteka letnih vnosov skupnega dušika (N-tot), anorganskih oblik dušika ($\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$) in žvepla v sulfatni obliki ($\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$) v padavinah na prostem in v sestojnih padavinah za gozdne ekosisteme na ploskvah IMGE: Fondek (2), Brdo (4), Borovec (5), Lontovž (8) in Murska šuma, na katerih so meritve padavin potekale vse od začetka l. 2004 do konca l. 2010. Na ploskvah Tratice na Pohorju (12) in Gropajski bori pri Sežani (3) so meritve potekale od l. 2009.



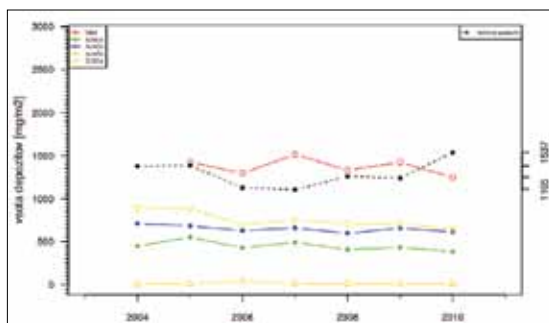
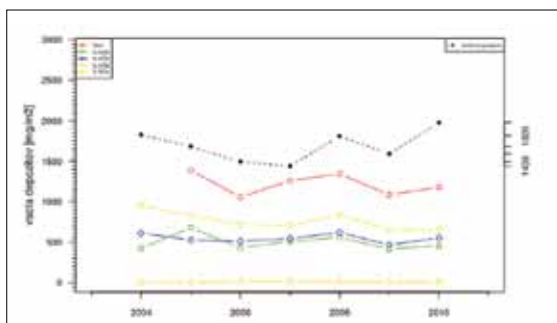
Graf 1: Fondek - Trnovska planota (2), na levi padavine na prostem in na desni pod krošnjami dreves, 2004–2010.

Preglednica 1: Metode, načini in tehnika ter obveznost izvajanja analiz padavin za vzorce s ploskev intenzivnega spremljanja stanja gozdov v Sloveniji, ki jih izvaja LGE/GIS (2011)

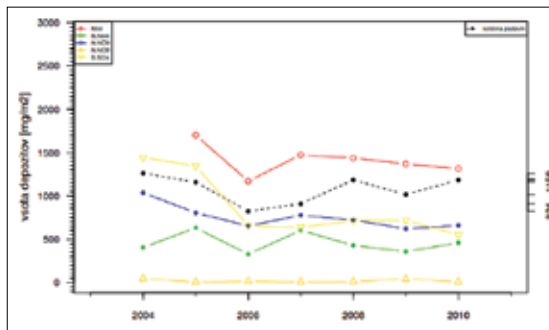
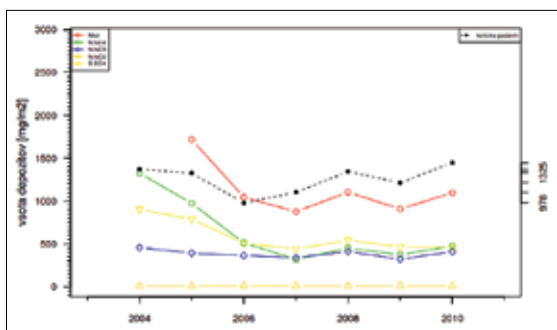
Metoda	Način	Aparat	Obvezno / neobvezno
<u>Določanje pH v vodi</u> ISO 10523: 1994	Merjenje razlike v potencialu s stekleno elektrodo s temperaturno kompenzacijo	Avtomatski pH-meter Metrohm	obvezni parameter
<u>Določanje elektroprevodnosti v vodi</u> ISO 7888: 1985	Merjenje prevodnosti – elektroprevodnostna elektroda	Avtomatski konduktometer Metrohm	obvezni parameter
<u>Določanje alkalitete</u> ISO 9963-1:1994	Titracija vodne raztopine z 0,01 M HCl do pH 4,5 in 4,2. Ekstrapolacija na 0.	Avtomatski titrator Metrohm	obvezni parameter
<u>Določanje anionov</u> ISO 10304-1: 1992 (Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₂ ⁻)	Ionska kromatografija s kemično supresijo	Modularni ionski kromatograf Metrohm s kolono Metrosep A supp 4-250 (do maja 2010) oz. Metrosep A supp 5-150 (od junija 2010 naprej).	obvezni parameter
<u>Določanje kationov</u> ISO 14911: 1998 (Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , NH ₄ ⁺ , Mn ²⁺)	Ionska kromatografija brez supresije	Modularni ionski kromatograf Metrohm s kolono Metrosep C 2-150 (do julija 2010) oz. Metrosep C 4-150 (od avgusta 2010 naprej).	obvezni parameter
<u>Določanje celotnega dušika v vodah</u> ISO 11905-1: 1997	Razklop s peroksodisulfatom v pufrni mešanici NaOH/H ₃ BO ₃ in avtoklaviranjem. Merjenje absorbance pri 220 nm valovne dolžine	UV-Vis spektrometer Varian Cary 50	obvezni parameter
<u>Določanje raztopljenega organskega ogljika (DOC) v vodah</u> ISO 8245: 1999	Sežig vzorca pri 680°C in merjenje CO ₂ z IR detektorjem.	Shimadzu TOC 5000-A	obvezni parameter



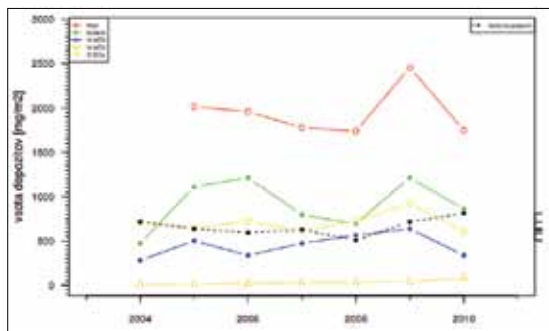
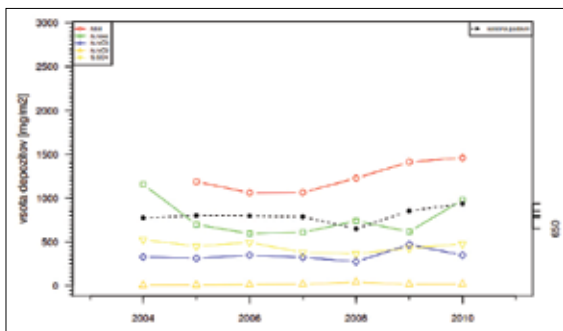
Graf 2: Brdo pri Kranju (4): padavine na prostem (levo) in pod krošnjami dreves (na desni), 2004–2010.



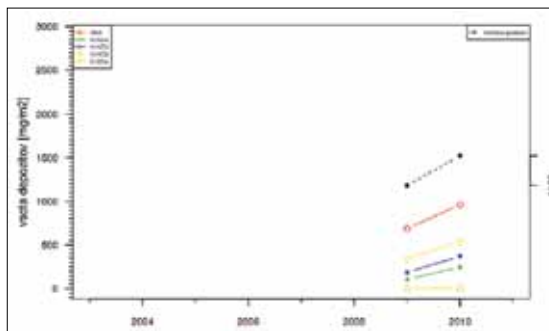
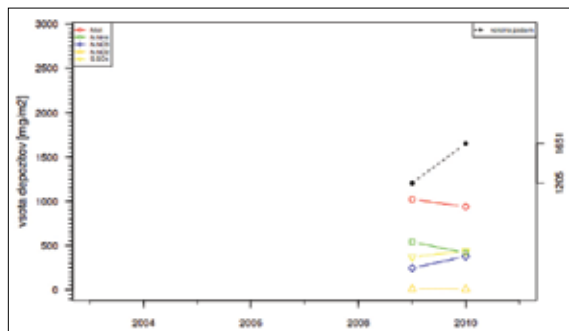
Graf 3: Borovec pri Kočevski Reki (5); padavine na prostem (levo) in pod krošnjami dreves (na desni), 2004–2010.



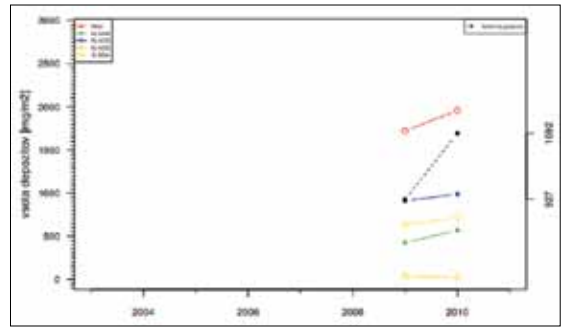
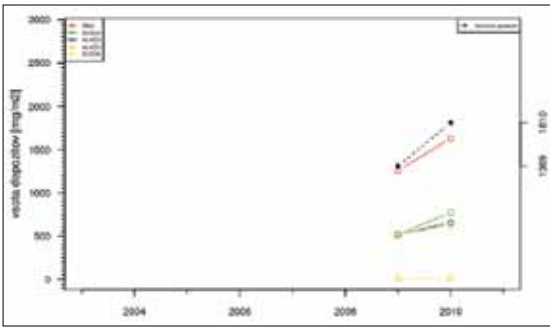
Graf 4: Lontovž pod Kumom (8); padavine na prostem (levo) in pod krošnjami dreves (na desni), 2004–2010.



Graf 5: Murska šuma (11); padavine na prostem (levo) in pod krošnjami dreves (na desni), 2004–2010.



Graf 6: Tratice na Pohorju (12); padavine na prostem (levo) in pod krošnjami dreves (na desni), 2009–2010.



Graf 7: Gropajski bori pri Sežani (3); padavine na prostem (levo) in pod krošnjami dreves (na desni), 2009–2010.

Rezultati izračunov letnih vnosov celotnega dušika (N-tot), amonijevega dušika ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitratnega dušika ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), nitritnega dušika ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) in sulfatnega žvepla ($\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$) so v padavinah na prostem in v sestojnih padavinah izraženi v $\text{mg m}^{-2} \text{ leto}^{-1}$, vrednost $1000 \text{ mg/m}^2 \text{ leto}^{-1}$ ustreza $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$. Kumulativne letne vrednosti vnosov so prvi izračuni; niso še upoštewane manjkajoče meritve za posamezne periode. Manjkajoče meritve so lahko nastale zaradi objektivnih (poškodbe cevi zaradi glodavcev, polomljeni vzorčevalniki itn.) ali subjektivnih (kontaminacija vzorca) vzrokov na terenu. Manjkajoče vrednosti se pojavljajo predvsem pri padavinah v sestoiu. Zato bodo končni rezultati vnosov N-tot, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ in $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ pod krošnjami dreves višji.

3.1 Padavine na prostem

Vrednosti vnosa dušika v obliki amonijevih ionov ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) se pri padavinah na prostem gibljejo od $3,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ (Lontovž v l. 2007) do $13,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ (Lontovž v l. 2004). Na posameznih ploskvah se letne kumulativne vrednosti $\text{NH}_4^+\text{-N}$ iz leta v leto spreminjajo (ploskve Fondek, Lontovž, Murska šuma), medtem ko so razlike med leti na ploskvah Brdo in Borovec manjše. Največji povprečni letni vnosi amonijevega dušika so na ploskvi Fondek na Trnovski planoti ($9,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$), najmanjši pa na ploskvi Tratice na Pohorju ($4,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$).

Potek po letih in absolutne vrednosti depozitov nitratnega dušika so podobne amonijevemu dušiku, le da so vrednosti v primeru ploskev Fondek, Brdo in Lontovž in Murska šuma manjše (od $0,5$ do $2,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$), ploskve Borovec pa večje (za $0,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$). Na ploskvi Lontovž so bile v letih 2004 in 2005 izmerjene večje vrednosti za amonijev dušik, pozneje pa se je razmerje $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ustalilo pri vrednosti 1 : 1. Razlika med obema oblikama dušika

je največja na ploskvi Murska šuma, kjer vrednosti za amonijev dušik ($7,7 \text{ kg/ha leto}^{-1}$) dosegajo tudi dvakratnik vrednosti nitratnega dušika ($3,4 \text{ kg/ha leto}^{-1}$). Vir amonijevega dušika je intenzivna kmetijska pridelava, ki je blizu ploskvi in se zato amoniak oz. amonijevi ioni ne uspejo oksidirati do nitrata.

Depoziti žvepla v obliki sulfata se gibljejo od $3,6$ do $10,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$. Na vseh ploskvah je opazen trend zmanjševanja depozicije žvepla; najbolj je opazen na ploskvi Lontovž v neposredni bližini Termoelektrarne Trbovlje (TET), kjer se je depozit žvepla iz leta 2004 ($9,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$) v sedmih letih prepolovil (2010: $4,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$). Sledijo ploskve Brdo, Borovec in Fondek z zmanjšano depozicijo žvepla za okoli $3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ v sedemletnem obdobju ter ploskev Murska šuma, kjer je depozit žvepla v obdobju meritev 2004–2010 približno konstanten in znaša okrog $4,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$. Za primerjavo: največje izmerjene vrednosti vnosa žvepla v sulfatni obliki (ploskev Lontovž v l. 2004) so bile 2- do 3-krat nižje, kot pa so bile izmerjene v okolici TEŠ v l. 1995 (Simončič, 1996).

3.2 Padavine v sestoiu

Depoziti amonijevega dušika ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) so na vseh ploskvah v sestoiu manjši kot na odprtem. Ploskev z najmanjšim depozitom $\text{NH}_4^+\text{-N}$ je ploskev Tratice (v povprečju $1,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$), sledijo ji ploskvi Borovec, Lontovž, Gropajski bori in Brdo ($4,5$; $4,6$; $5,0$ in $5,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$), največ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ pa pade na ploskvi Fondek ($7,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$). Vrednosti so glede na depozite na prostem nižje od $0,5$ do $2,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$, razen v primeru ploskve Murska šuma, kjer je depozit $\text{NH}_4^+\text{-N}$ v sestoiu višji v povprečju za $1,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$. Razlog lahko iščemo v suhem depozitu na krošnjah, kjer so hrastovi listi pri lovljenju le-tega zelo učinkoviti in se ob dežju sperejo z vsemi naloženimi amonijevimi ioni v dvotedenskem

obdobju, medtem ko k amonijevemu dušiku na odprtem prispeva samo količina amonijevih ionov, ki so takrat trenutno v ozračju.

Vnos nitratnega dušika (NO_3^- -N) pod krošnje drevja je primerljiv z večanjem oz. manjšanjem vnosa nitratnega dušika v depozitih na prostem, vendar je do $2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ večji. To nakazuje na pomembnejši prispevek suhega depozita pri snovni bilanci gozda, saj se nitrati v bilanci kroženja snovi v gozdnih ekosistemih spirajo s krošenj drevja. Najvišje vrednosti nitratnega dušika smo izmerili na ploskvi Fondek, kjer je sedemletno povprečje $10,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ in gibanje nima večjih odklonov (interval $[9,2-11,7] \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$). Za ploskev Fondek lahko glede na rezultate analiz padavin ugotovimo, da je vnos dušika obeh oblik (NH_4^+ -N in NO_3^- -N) praviloma največji (razen v sestoji, kje je vnos amonijevega dušika večji v Murski šumi) in kaže na regijski oz. daljinski transport, saj v neposredni bližini ni večjih intenzivno obdelanih kmetijskih površin. Sledi ji ploskev Gropajski bori ($9,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ in interval $[9,1-9,9] \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$). Na preostalih ploskvah so vrednosti vnosa nitratnega dušika manjše: Lontovž, Borovec, Brdo, Murska šuma in Tratice z vrednostmi 7,5; 6,5; 6,2; 4,5 in $2,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$.

Depoziti žvepla v sestoji v obliki sulfata se v primerih ploskev Fondek, Brdo, Borovec, Tratice in Gropajski bori ne razlikujejo veliko od depozitov na prostem ($< 1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$). Na ploskvah Lontovž in Murska šuma je v sestoji padlo za $2,8$ oz. $2,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$ več žvepla kot na prostem. Še posebno odstopata leti 2004 in 2005 za ploskev Lontovž, saj je bila razlika približno $5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$. Vzrok je suhi depozit z višjo koncentracijo sulfatnih ionov v atmosferi. Od leta 2006 so vrednosti primerljive z vrednostmi na ploskvah Brdo, Murska šuma in Tratice.

4 ZAKLJUČKI

Od vseh ploskev IMGE, kjer Gozdarski inštitut Slovenije opravlja vzorčenje in meritve količine in kakovosti padavin, je v povprečju največ padavin padlo na ploskvi Trnovo ($1870 \text{ mm leto}^{-1}$), najmanj na ploskvi Murska šuma (800 mm leto^{-1}). Trendu količini padavin zelo dobro sledijo trendi depozitov. Depoziti onesnažil v padavinah na prostem, ki smo jih obravnavali (amonijev in nitratni dušik, sulfatno žveplo), so na nekaterih ploskvah stagnirali: Brdo, Borovec za amonijev dušik, Brdo, Borovec, Lontovž in Murska šuma za nitratni dušik, Murska šuma za sulfatno žveplo. Na nekaterih ploskvah je opazen trend zmanjševanja depozitov: za sulfatno žveplo

najbolj na ploskvi Lontovž ter na ploskvah Brdo in Borovec. Zelo se je zmanjšal trend količine depozita za amonijev dušik na ploskvi Lontovž, medtem ko se je na ploskvi Murska šuma do leta 2006 trend zmanjševal, od takrat naprej pa se zopet veča.

5 ZAHVALA

Zahvaljujemo se vsem skrbnikom ploskev Zavoda za gozdove Slovenije in sodelavcem Gozdarskega inštituta Slovenije, ki so v obdobju 2003–2011 sodelovali pri spremljanju količin in kakovosti padavin na ploskvah IMGE. Še posebno se zahvaljujemo sodelavcem Zavoda za gozdove Slovenije, ki so sedem let v vsakem vremenu vzorčili vzorce dežja, snega in ledu na oddaljenih raziskovalnih objektih.

6 REFERENCE

- Clarke, N., Žlindra, D., Ulrich, E., Mosello, R., Derome, J., Derome, K., König, N., Lövblad, G., Draaijers, G. P. J., Hansen, K., Thimonier, A., Waldner, P., 2010. Sampling and Analysis of Deposition - Part XIV. Hamburg, vTI - Institute for World Forestry: 66 str.
- de Vries, W., Reinds, G. J., Deelstra, H. D., Klap, J. M., Vel, E. M., 1999. Intensive Monitoring Of Forest Ecosystems In Europe - Technical Report, 1999. Brussels, Geneva, EC, UN/ECE: 174 str.
- Institute for World Forestry. 2007. FutMon. <http://www.futmon.org/index.htm> (12. april 2011)
- Mavsar, R., Simončič, P., Batič, F., 2000. Stanje gozdov zaradi onesnaženega zraka v Sloveniji - rezultati monitoringa 1990–1999. Varstvo zraka v Sloveniji. Ljubljana: 97–106
- Simončič, P. 1996. Odziv gozdnega ekosistema na vplive kislih odločin s poudarkom na proučevanju prehranskih razmer za smreko (*Picea abies* (L.) Karst.) in bukev (*Fagus sylvatica* L.) v vplivnem območju TE Šoštanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 156 str.
- Simončič, P., Grebenc, T., Kraigher, H., Čater, M., Urbančič, M., Vilhar, U., 2004. Nat-Man WP4: Slovenia. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 44 str.
- Simončič, P., Kalan, P., Rupel, M., 2000. Kroženje hranil in biomase na raziskovalnih ploskvah. Rizosfera: 90–102
- Simončič, P., Skudnik, M., Kušar, G., Vochl, S., Ogris, N., Levanič, T., Stojanova, D., Krajnc, R., Jurc, D., Kutnar, L., Rupel, M., Žlindra, D., Ferlan, M., Verlič, A., Vilhar, U., Kovač, M., 2010. Poročilo o projektni

- nalogi FutMon LIFE07ENV/D/000218: 3. mejnik. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 88 str.
- Šegula, A., Murovec, M., Koleša, T., Komar, Z., Muri, G., Grošelj, D., Cegnar, T., Otoresec, P., 2009. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2009. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje: 160 str.
- Šraj, M., 2003. Modeliranje in merjenje prestrežnih padavin. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 151 str.
- Šraj, M., 2009. Prestrežne padavine: meritve in analiza = Intercepted precipitation : measurements and analysis. Geografski vestnik, 81, 9: 99–111
- Šraj, M., Lah, A., Brilly, M. 2008. Meritve in analiza prestreženih padavin navadne breze (*Betula pendula* Roth.) in rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) v urbanem okolju = Measurements and analysis of intercepted precipitation of Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) and Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in urban area. Gozdarski Vestnik, 66, 9: 406–416
- Vel, E., Simončič, P., Kalan, P., Mavsar, R., Smolej, I., 2004. Intenzivno spremljanje stanja gozdnih ekosistemov (IMP-SI) Letno poročilo (2003). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 24 str.
- Vilhar, U., 2006. Vodna bilanca dinarskega jelovo-bukovega gozda v Kočevskem Rogu. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 196 str.
- Vilhar, U., 2010. Padavinski režim v izbranih vrzelih in sestojih dinarskega jelovo-bukovega gozda. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 91: 43–58
- Žlindra, D., Eler, K., Clarke, N., P. S., 2011. Towards harmonization of forest deposition collectors - case study of comparing collector designs - v tisku. iForest