

UDK/UDC: 550.47:556.51(497.4)

Prejeto/Received: 07.04.2015

Izvirni znanstveni članek – *Original scientific paper*

Sprejeto/Accepted: 01.10.2015

## SPREMLJANJE DINAMIKE VNOSA IN SPIRANJA NITRATNEGA DUŠIKA NA POREČJU POTOKA PADEŽ

## TRACING NITRATE NITROGEN INPUT-OUTPUT DYNAMICS AT THE PADEŽ STREAM WATERSHED

Katarina Česnik<sup>1,\*</sup>, Simon Rusjan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana

### Izvleček

Občutljivost ekosistemov na spremembe količin dušika v okolju je velika. V želji, da jih zaščitimo pred preobremenjenostjo s hranili in jim omogočimo zdrav razvoj, je poznavanje masne bilance dušika ključnega pomena. Spremembe v količini dušika se, poleg naraščajočih antropogenih vnosov dušikovih spojin v okolje, pojavijo zaradi delovanja meteoroloških, hidroloških, geoloških in bioloških dejavnikov oziroma biogeokemijskega kroženja med biotopom in biocenozo. S pomočjo podatkov o koncentracijah nitratnega dušika v vodotoku in padavinah ter podatkov o količini padavin in odtoku s prispevnega območja potoka Padež smo analizirali mesečno dinamiko vnosa in spiranja nitratnega dušika, ki je podana kot razlika med količino vnesenega in spranega nitratnega dušika na hektar prispevne površine. V časovni dinamiki je opazen sezonski vpliv. Porečje nekaj časa deluje kot izvor in nekaj časa kot ponor nitratnega dušika, odvisno od hidroloških razmer in potencialne količine mobilnega nitratnega dušika v sistemu tal, ki se nadalje spira v vodotok, ter njegove koncentracije v padavinah.

**Ključne besede:** nitratni dušik, biogeokemija, hidrološke razmere, porečje Padeža.

### Abstract

The sensitivity of ecosystems to changes in the amounts of nitrogen in the environment is large. In order to protect them against overloads of nutrients and to allow their healthy development, the knowledge of the nitrogen mass balance is crucial. Differences in the amount of nitrogen occur because of increasing inputs from anthropogenic sources, but they are also due to meteorological, hydrological, geological and biological factors or, in other words, to biogeochemical circulation between the biotope and organisms. The data on stream water nitrate concentrations and nitrate concentrations in precipitation together with measurements of precipitations and Padež stream discharge were used to analyze nitrate-nitrogen input-output dynamics. The analysis is presented as a difference between inputs and outputs of nitrate-nitrogen per hectare of catchment area. The impact of seasonality could be observed. Watershed behaves as a sink or as a source of nitrate-nitrogen depending on the hydrological conditions and the amount of potentially available nitrate-nitrogen in soil which is flushed towards the stream and its concentrations in precipitation.

**Keywords:** nitrate nitrogen, biogeochemistry, hydrological conditions, the Padež stream watershed.

---

\*Stik / Correspondence: [katarina.cesnik@gmail.com](mailto:katarina.cesnik@gmail.com)

© Česnik K., Rusjan, S.; Vsebinska tega članka se sme uporabljati v skladu s pogoji [licence Creative Commons Priznanje avtorstva – Nekomercialno – Deljenje pod enakimi pogoji 4.0.](#)

© Česnik K., Rusjan, S.; This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution – Non Commercial – Share Alike 4.0 Licence.](#)

## 1. Uvod

Čista in neoporečna voda je ključna za zdravje ljudi in delovanje naravnih ekosistemov, zato je varstvo kakovosti voda eden od temeljev evropske okoljske politike. To potrjuje tudi dejstvo, da je bila že leta 1991 sprejeta direktiva o nitratih, ki je eden izmed prvih zakonodajnih aktov v EU, katerih namen je nadzorovati onesnaževanje voda in izboljševati njihovo kakovost.

Če želimo sonaravno in trajnostno gospodariti z vodotoki, je potrebno poznati procese, ki se odvijajo na celotnem prispevne območju (porečju) vodotoka (Fogg in Wells, 1998). Proces biogeokemijskih pretvorb in transporta hranil na nivoju posameznih prostorskih in ekosistemskih enot so že vrsto let predmet raziskav znanstvenikov z različnih znanstvenih področij. Ob tem je dušik zaradi splošne okoljske razširjenosti in kritične vloge kot dejavnik biološke produkcije bil, in prav gotovo bo tudi v prihodnje, deležen posebne pozornosti (Vitousek et al., 1997).

V prispevku smo pozornost posvetili kroženju nitratnega dušika znotraj eksperimentalnega porečja potoka Padež. Pridobili smo vpogled v bilanco »naravnega ozadja« količin nitratnega dušika in ugotovili, v katerih primerih in kdaj porečje deluje kot potencialni izvor in kdaj kot ponor nitratnega dušika.

Za obdobje dveh let (2006 in 2007), smo imeli na voljo podatke o hidrometeoroloških razmerah in kemizmu vode na gozdnatem prispevnem območju potoka Padež. S pomočjo pridobljenih podatkov smo izračunali masno bilanco vnesenega in spranega nitratnega dušika v tem času in opredelili letno, sezonsko in mesečno masno bilanco nitratnega dušika v gozdnatem porečju Padeža.

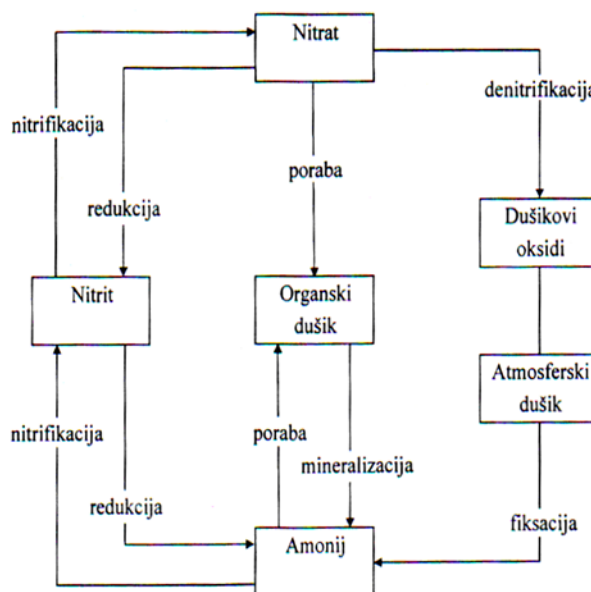
## 2. Metode

### 2.1 Kroženje dušika

Kroženje dušika v naravi (slika 1) opišemo z dušikovim ciklom, ki predstavlja enega izmed pomembnejših biogeokemijskih ciklov v naravi.

Glavni biološki procesi dušika v biosferi so (Stopar, 2013):

- biološka fiksacija dušika,
- mineralizacija dušika (amonifikacija),
- nitrifikacija (heterotrofna in autotrofna),
- denitrifikacija,
- asimilacija dušika (imobilizacija).



**Slika 1:** Shematični prikaz kroženja dušika (prilagojeno po Ward, 2005).

**Figure 1:** Schematic diagram of the nitrogen cycle (adapted after Ward, 2005).

Biološka fiksacija dušika omogoča vezavo atmosferskega dušika v anorgansko obliko, ki jo rastline lahko asimilirajo. Običajno je glavni produkt mineralizacije amonij, zato temu procesu rečemo tudi amonifikacija. Gonilno silo mineralizacije dušika predstavlja mineralizacija ogljika. Pri razgradnji ogljika mikroorganizmi razgradijo organsko snov, pri tem pa se sprostijo tudi drugi elementi, del teh se porabi za sintezo nove biomase. Mineralizacije dušika so sposobni skoraj vsi mikroorganizmi, zato je potencialna mineralizacija vedno prisotna, njena hitrost v tleh pa je odvisna od (Stopar, 2013): vlage, prezračenosti, pH vrednosti, temperature, anorganskih hranil, talnih koloidov.

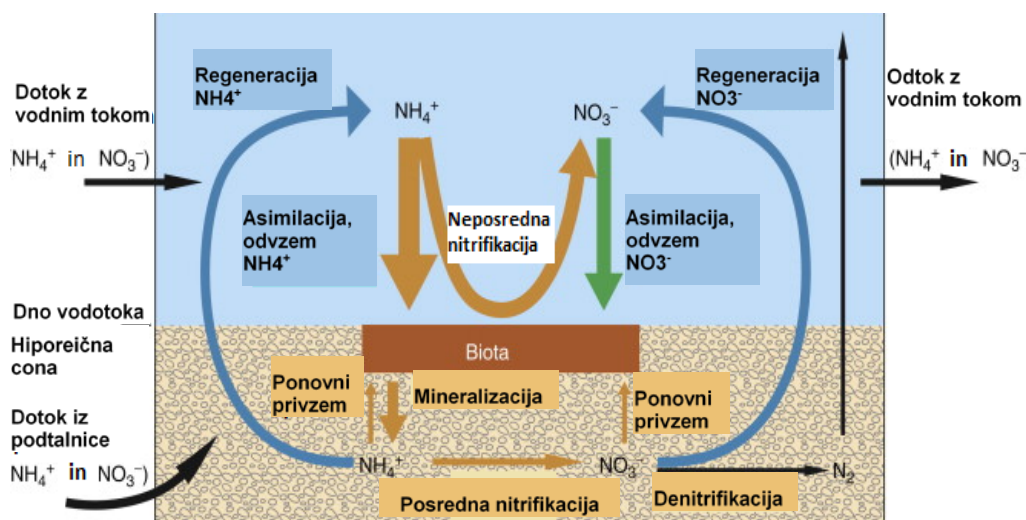
Razpadajoča organska snov se v procesu mineralizacije oziroma amonifikacije spremeni v amonijev ion  $\text{NH}_4^+$ , ki predstavlja izhodiščno spojino za nadaljnje pretvorbe. V vodnem okolju ob prisotnosti kisika poteče mikrobni proces nitrifikacija. Pri tem procesu pride do pretvorbe amonijevega dušika v oksidirane oblike. Mineralizacija organskih dušikovih spojin ter nadaljnja nitrifikacija se najintenzivneje odvijata v zgornjih talnih horizontih, posledica tega je, da z globino vsebnost dušikovih spojin upada (Rusjan, 2008). Velja, da se poraba dušika s strani heterotrofnih mikrobov ob višjih vrednostih razmerja C/N poveča. V kolikor je limitirajoči faktor dušik, pride do imobilizacije dušika v tleh in zmanjšanja razpoložljivih količin za nadaljnjo nitrifikacijo in odtok s pronicajočo vodo. Če je limitirajoči faktor ogljik, pride do neto mineralizacije. Nadaljnja nitrifikacija poteka v dveh stopnjah, v prvi stopnji kot produkt nastane nitrit  $\text{NO}_2^-$ , v drugi nitrat  $\text{NO}_3^-$ . Nitrat je hranilo za vse primarne proizvajalce, ki ga kot vir dušika asimilirajo in vežejo v organske snovi. Povečana asimilacija v vodnem sistemu pospeši rast alg in makrofitov ter potencialno evtrofnost. Pride lahko tudi do obratnega anaerobnega mikrobnegega procesa denitrifikacije (redukcije), v katerem bakterije pretvarjajo organske dušikove spojine nazaj v elementarni dušik ( $\text{N}_2$ ) (Ward, 2005). Poti kroženja dušika v vodotoku so prikazane na sliki 2.

Kroženje dušika je sezonsko pogojeno glede na stopnjo aktivnosti vegetacije. V obdobju

neaktivnosti vegetacije pozno jeseni, pozimi in zgodaj spomladi so bile v številnih gozdnih ekosistemih v vodotokih opažene višje koncentracije raztopljenega neorganskega dušika (večinoma nitrata). Te dodatne količine predstavljajo presežek neorganskega dušika za gozdni ekosistem in se akumulirajo v sistemu gozdnih tal, dokler hidrološke razmere ne omogočijo njihove mobilizacije (Rusjan, 2008).

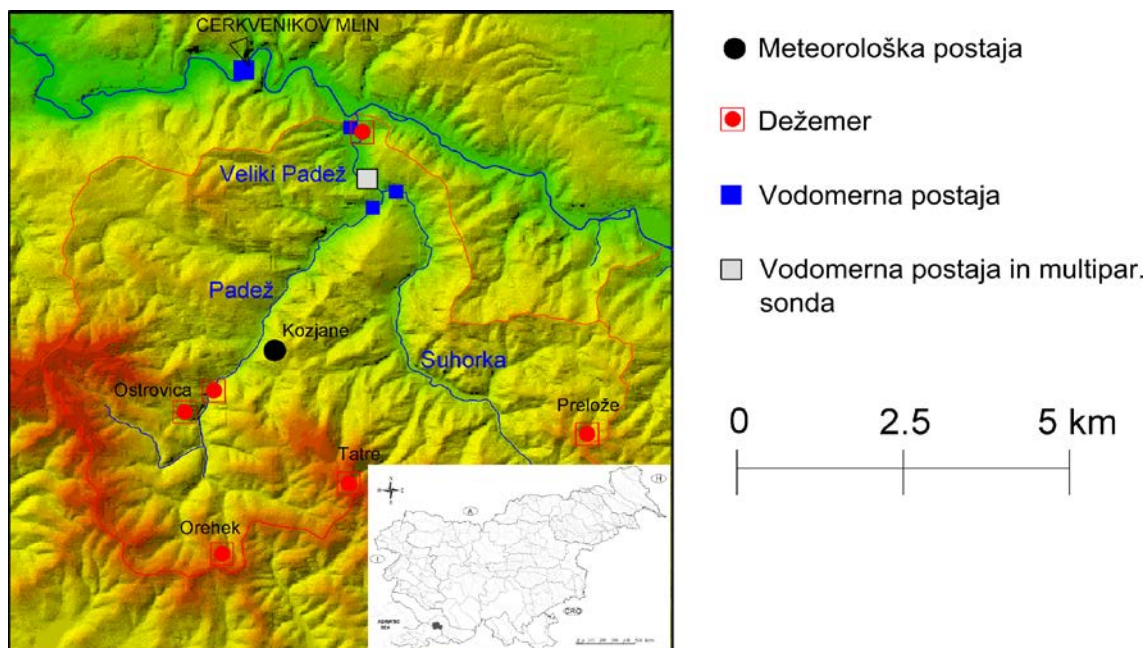
Največ dušika se v porečje vnese s padavinami (mokra depozicija - odlaganje), manjši del pa s suho depozicijo nekaterih dušikovih spojin.

Povprečne ocene količine vnesenega dušika iz atmosfere se gibljejo od 1 do 5 kg-N/ha/leto na območjih brez industrijskega onesnaženja do več kot 25 kg-N/ha/leto na intenzivno kmetijskih in industrijskih območjih v Evropi (Binkley et al., 2000). Potencialno zelo velik vir vnosa dušika v porečje je lahko biološka fiksacija dušika (Binkley et al., 1994). Na biološko fiksacijo dušika močno vplivajo okoljske razmere (biološka fiksacijska sposobnost nekaterih rastlinskih vrst) in zaloge ogljikovega substrata v tleh. Stopnja biološko fiksiranega dušika je letno večinoma manjša od nekaj kilogramov na hektar površine (Mitchell et al., 1996). V prisotnosti simbiotskega razmerja med bakterijami, sposobnimi fiksacije dušika, in rastlinskimi vrstami (od drevesnih vrst npr. jelša) pa lahko količina fiksiranega atmosferskega dušika preseže 100 kg/ha/leto (Binkley et al., 1994).



**Slika 2:** Kroženje dušika v vodotoku (povzeto po Haggie et al., 1999).

**Figure 2:** Nitrogen cycle in surface waters (adapted from Haggie et al., 1999).



*Slika 3: Merska oprema na prispevnem območju potoka Padež (Rusjan, 2008).*

*Figure 3: Monitoring system at Padež stream watershed. (Rusjan, 2008).*

Količine dušika, ki se z odtokom sperejo z gozdnatih prispevnih območij in dejansko predstavljajo izgubo ali presežek hranila za gozdni ekosistem, so zelo različne v odvisnosti od strukture gozda in klimatskih razmer, večinoma pa se gibljejo med 5 in 10 kg-N/ha/leto (Rusjan, 2008). V Sloveniji se višje vrednosti spranega dušika pojavljajo zelo prostorsko razdrobljeno v zelo majhnem obsegu. Podatki kažejo, da prihaja do večjih količin spranega dušika na manj kot 1% gozdnih območij Slovenije (Eler et al., 2010).

## 2.2 Opis porečja Padež

Porečje Padež, ki obsega 42,1 km<sup>2</sup>, je del porečja reke Reke. Nahaja se na hribovitem območju Brkinov, ki predstavljajo klimatsko prehodno območje med primorsko in celinsko Slovenijo. Iz notranjosti na območju piha burja z morske strani pa toplejši veter jugo. Povprečna gostota poselitve znaša na območju Brkinov manj kot 5 ljudi/km<sup>2</sup>. Posledično več kot 80% prispevnega območja Padež prekrivajo gozdovi, preostali del pripada različnim kmetijskim površinam. Znotraj porečja se nahajata glavna vodotoka Padež in Suhorka s pritoki (slika 3).

## 2.3 Metode zajema podatkov

Količine padavin na prispevnem območju Padež so bile izmerjene s pomočjo avtomatskih dežemerov ONSET RG2-M. Merjenje pretokov je potekalo s pomočjo dveh različnih inštrumentov, srednji in višji pretoki so bili merjeni z merilcem pretočnih hitrosti Flowtracker HandheldADV, ki deluje na principu Dopplerjevega pojava, medtem ko je merjenje nizkih pretokov potekalo s pomočjo prenosnega merilca Flo-Tracker, ki pretok izračuna na podlagi sprememb v koncentraciji sledila v vodotoku.

Merjenje fizikalnih in kemijskih parametrov vode je potekalo z minisondo Hydrolab DataSonder 4. Sonda je opremljena s senzorji za merjenje temperature in pH vrednosti vode, elektroprevodnosti, količine raztopljenega kisika, redoks potenciala in koncentracije nitratnega dušika. Za natančnost podatkov je potrebno sondo redno umerjati in vzdrževati. Kontinuirane meritve so potekale na vodomerni postaji Padež (slika 3), zajem podatkov se je izvajal s 15-, 30-minutnim in urnim časovnim korakom, izračuni količin spranega nitratnega dušika so bili opravljeni v urnem časovnem koraku. Za kontrolo delovanja multiparameterske sonde so služile laboratorijske



analize, ki jih je v letih 2005 in 2006 izvajal Zavod za zdravstveno varstvo Maribor (Rusjan, 2008). S programskim orodjem za rudarjenje po podatkih WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) so bile na podlagi izmerjenih koncentracij modelirane koncentracije nitratnega dušika v [mg/l-N] v času, ko le-te niso bile izmerjene.

Meritve kemijske sestave padavin so v okviru osnovne merilne mreže (meritve Agencije Republike Slovenije za okolje – ARSO) potekale na merilnem mestu Škocjan, ki se nahaja na nadmorski višini 420 m, v relativno čistem in podeželskem okolju. Zbiranje padavin je potekalo s pomočjo le-mokrih (wet-only) padavinskih vzorčevalnikov. Padavine se zberejo v posebni posodi, ki ne spremeni kemijske sestave padavin in daje zanesljive podatke o njihovi dnevni količini. Vzorči se torej samo mokro usedlino (kapljice padavin) zato podatki o vnosu suhih usedlin v analizi niso bili upoštevani. Posamezni dnevni vzorci padavin so bili združeni v tedenske vzorce (dnevni vzorci od ponedeljka do nedelje iste serije) in so bili nato kemijsko analizirani (Bolte, 2007).

#### 2.4 Računanje masne bilance nitratnega dušika

Na podlagi časovnega spremljanja količine vnosa in iznosa dušika v določenem okoljskem (prostorskem) okvirju lahko izračunamo masno bilanco dušika. Izražamo jo v kilogramih dušika na hektar prispevne površine (kg N/ha). Pri računanju sezonskih zalog dušika v ekosistemu upoštevamo dva kriterija. Kot prvo določimo usmerjenost izmenjave snovi, torej ali se dušik v ekosistem vnaša ali se iz njega izgublja, kot drugo določimo magnitudo izmenjave oziroma spremembo v količini med neto vnosom in izgubo dušika v ekosistemu (Likens in Bormann, 1995). Masna bilanca dušika v posameznih komponentah hidrološkega kroga letno, predvsem pa sezonsko, močno niha, zato so za analizo spremenljivosti potrebna dolgoletna merjenja in spremljanja hidrološke bilance in vsebnosti dušika (Likens in Bormann, 1995).

Z vidika vpliva hidroloških mehanizmov na kroženje dušika so najbolj zanimive tiste kemijske

oblike, ki so z vodo najbolj mobilne, obenem pa je njihova količina prevladujoča. Če zaradi odsotnosti antropogenih vplivov in rabe tal na porečju Padeža zanemarimo vnos nitratnega dušika zaradi delovanja človeka, se v obravnavan ekosistem, v našem primeru je to porečje, nitratni dušik v prispevno območje vnese iz ozračja preko padavin, spiranje iz sistema pa poteka pod vplivom tvorbe padavinskega odtoka. Dodatno na spiranje nitratnega dušika iz sistema močno vplivajo intenzivni biogeokemijski procesi pretvorb različnih kemijskih oblik dušika (procesni fiksacije, mineralizacije, denitrifikacije) v odvisnosti od fizikalnih okoljskih razmer, sestave rastlinstva, geološke in pedološke sestave tal (Aber et al., 1991; Band et al., 2001). Teoretično nam razlike med sezonskim vnosom nitratnega dušika (I - Input) in spiranjem (O - Output) povedo, ali se kvantitativno dušik v obliki nitrata v ekosistemu akumulira (I>O), se iz njega izgublja (I<O) ali ostajajo količine enake (I=O) (Likens in Bormann, 1995). Raziskave po svetu in v Sloveniji sicer kažejo na pomemben vnos nitratnega dušika iz atmosfere v gozdne sestoje (Simončič et al., 2011).

Biogeokemijske procese, ki vplivajo na pretvorbe nitratnega dušika v porečju (v tleh in samem vodotoku), v analizi nismo upoštevali, temveč smo analizirali samo razmerja med vnesenim in spranim nitratnim dušikom ter na podlagi tega skušali sklepati, kako sezonsko deluje porečje kot potencialni vir/ponor nitratnega dušika. V raziskavi smo se tako osredotočili na izračun bilance nitratnega dušika v porečju na podlagi merjenega vnosa nitratnega dušika s padavinami in merjenega in delno modeliranega spiranja nitratnega dušika iz porečja. Koncentracije amonijevega dušika so bile v vodotoku za skoraj dva razreda velikosti nižje od koncentracij nitratnega dušika in v izračunih niso upoštevane. Prav tako v izračunih ni upoštevan padavinski vnos amonijevega dušika.

### 3. Rezultati

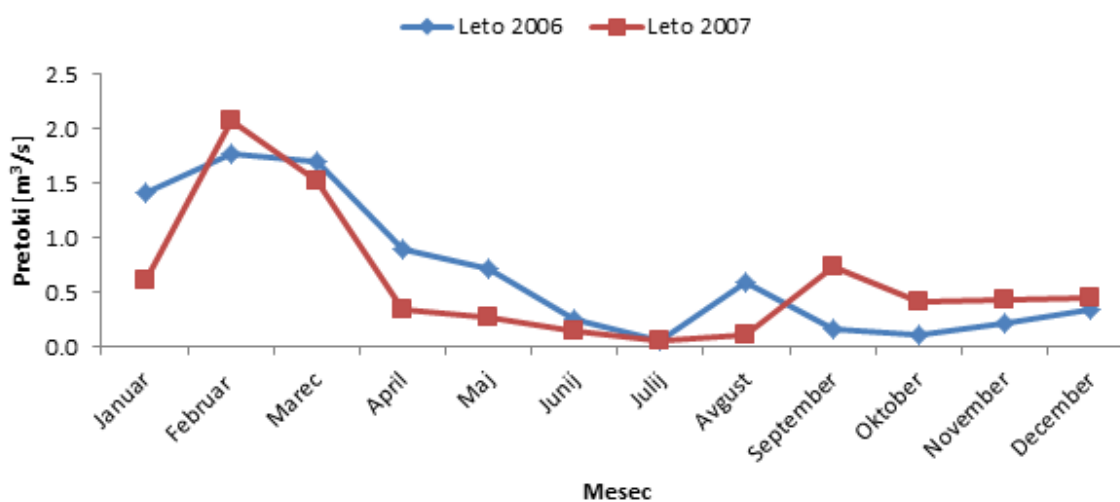
#### 3.1 Mesečni pretoki, vodna bilanca v letih 2006 in 2007

Povprečni mesečni pretoki, izračunani na podlagi urnih podatkov o pretoku, so prikazani na sliki 4.

V opazovanem obdobju so povprečni mesečni pretoki najvišji v zimskem obdobju in dosežejo svoje najvišje vrednosti v mesecu februarju, ko znašajo 1,76 m<sup>3</sup>/s leta 2006 in 2,08 m<sup>3</sup>/s leta 2007. Povprečni mesečni pretoki se nato zmanjšujejo in dosežejo najnižje vrednosti meseca junija, razlog je poletna suša in povišana evapotranspiracija. Padavinski dogodki meseca avgusta v letu 2006 in meseca septembra leta 2007 so povzročili dvig pretokov.

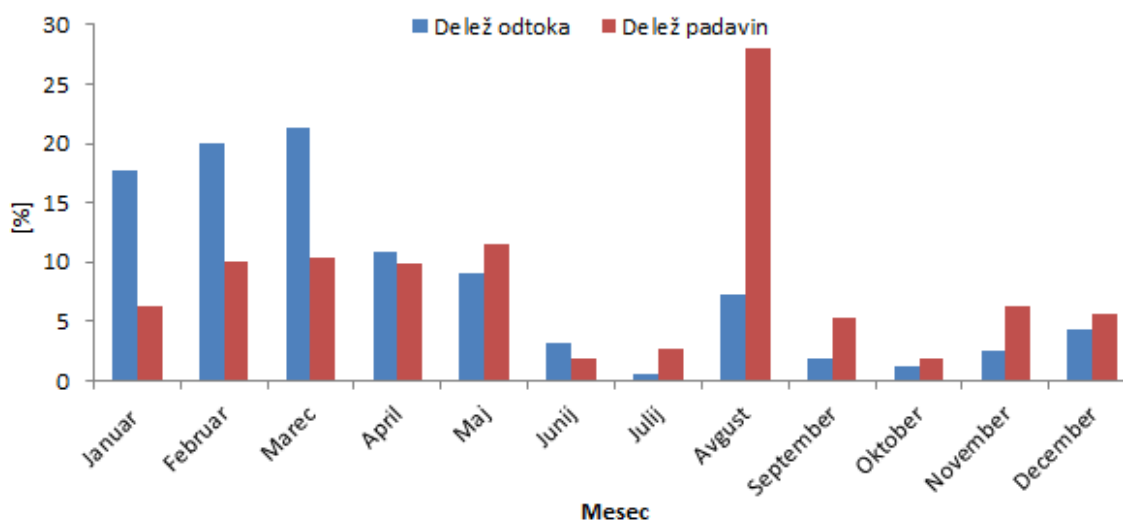
Veliko o procesu izpiranja nitratnega dušika lahko sklepamo iz bilance odtoka vode (Rusjan, 2008).

Na sliki 5 so prikazani mesečni deleži padavin in odtoka vode iz prispevnega območja Padež glede na skupne letne padavine in odtok v letu 2006. Opazimo, da deleži odtoka niso sorazmerni z deleži padavin. Največji delež vode odteče v zimskih mesecih, od januarja do marca. V teh treh mesecih iz porečja odteče dobrih 60% vode, medtem ko pade zgolj dobrih 25% letnih padavin. Od meseca aprila naprej je opazen upad odtoka vode, izjema je mesec avgust, v katerem je prišlo do obilnega in dolgotrajnega deževja, delež odtoka po strugi pa je bil v tem obdobju sorazmerno majhen.



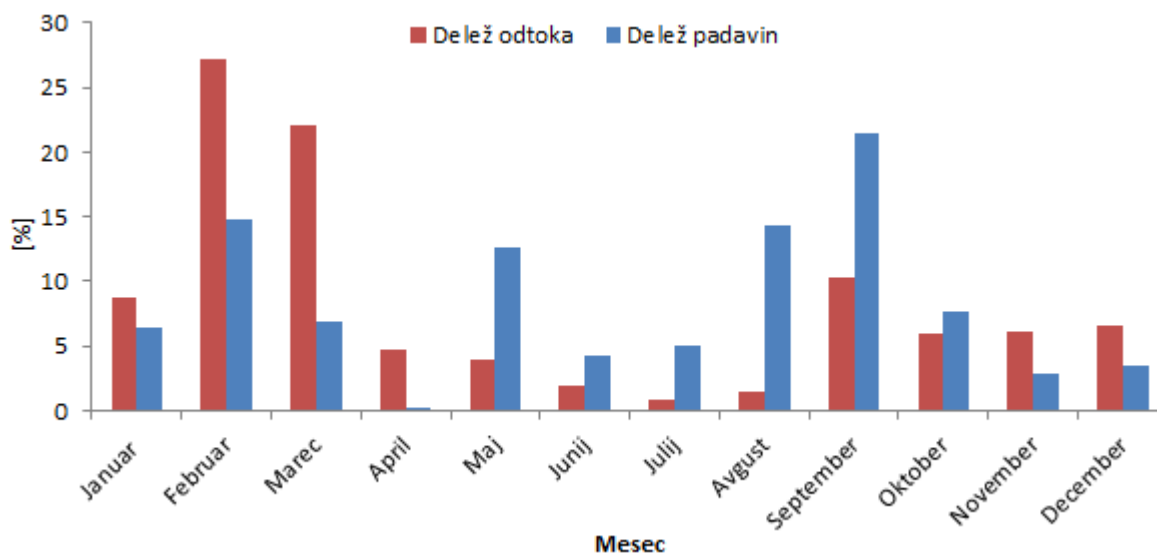
*Slika 4: Povprečni mesečni pretoki potoka Padež v letih 2006 in 2007.*

*Figure 4: Average monthly discharges of the Padež stream in 2006 and 2007.*



*Slika 5: Mesečni deleži padavin in odtoka vode za porečje Padeža v letu 2006.*

*Figure 5: Monthly proportion of rainfall and runoff for the Padež stream watershed in 2006.*



*Slika 6: Mesečni deleži padavin in odtoka vode za porečje Padež v letu 2007.*

*Figure 6: Monthly proportion of rainfall and runoff for the Padež stream watershed in 2007.*

Deleži padavin in bilanca odtoka vode iz prispevnega območja Padež v posameznem mesecu glede na letne količine v letu 2007 so prikazani na sliki 6. Največji delež vode je odtekel v mesecu februarju, več kot 25% letnega odtoka vode, povečan odtok, dobrih 20% letnega odtoka, je nastopil tudi v mesecu marcu, medtem ko je skupno v teh dveh mesecih padlo zgolj 20% letnih padavin. Od maja do avgusta je na porečje padlo 35% letnih padavin, kljub temu pa so se odtoki močno znižali in vse do meseca septembra znašajo manj kot 5% letne količine. Septembra je padlo kar 20% letnih padavin, posledično se je odtok povečal. Odteklo je dobrih 10% letnega odtoka. Tudi v letu 2007 so odtoki v poletnih, toplejših mesecih manjši, nekoliko se povečajo šele v poznoletnem oziroma zgodnjejesenskem času. Odtoki ostanejo povečani vso zimo.

### 3.2 Dinamika atmosfersko vnesenega in spranega nitratnega dušika v letih 2006 in 2007

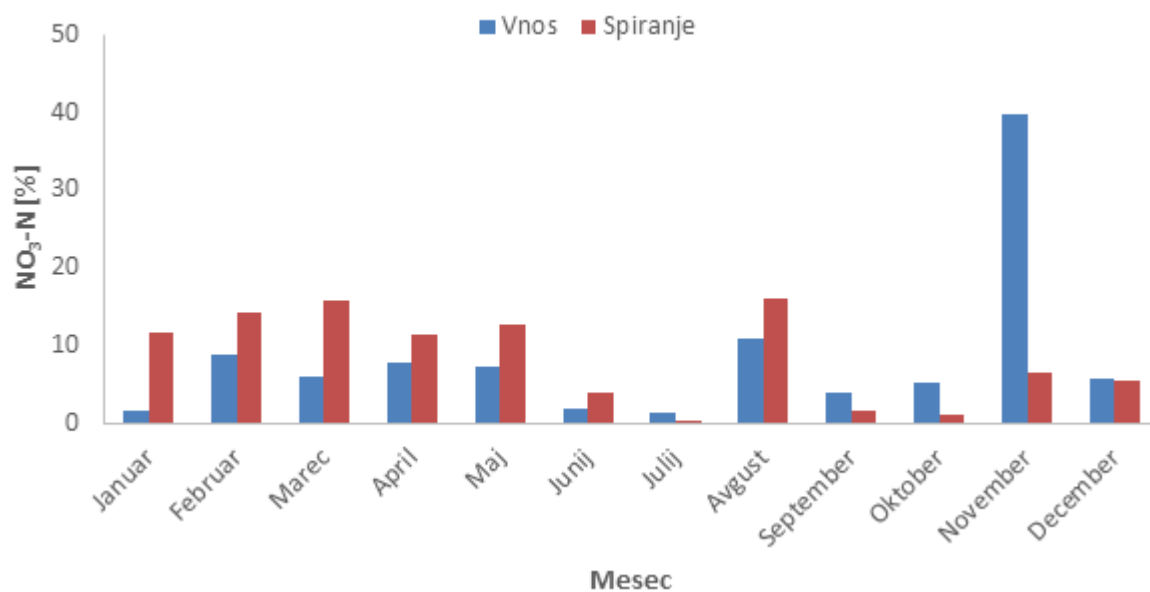
S pomočjo podatkov o urnih količinah padavin, vrednostih pretokov in koncentracijah nitratnega dušika v vodotoku ter koncentracijah nitratnega dušika v padavinah smo izračunali vrednosti vnesenega in spranega nitratnega dušika v kilogramih na hektar prispevnega območja (kg/ha). Rezultati izračunov deležev mesečnih količin

vnesenega in spranega nitratnega dušika glede na letne vsote so prikazani na slikah 7 in 8.

V letu 2006 se povišan vnos nitratnega dušika pojavi v avgustu (dobrih 10% letnih količin), razlog je obilno in dolgotrajno deževje. Največji atmosferski vnos je v novembru (40% letnih količin), takrat je bila izmerjena močno povišana koncentracija nitratnega dušika v padavinah (6,76 mg/l-N), medtem ko letno povprečje znaša zgolj 0,45 mg/l-N. Največ nitratnega dušika se iz porečja izpere od januarja do marca (40% letnih količin), v tem času je bil zabeležen povečan delež odtoka vode.

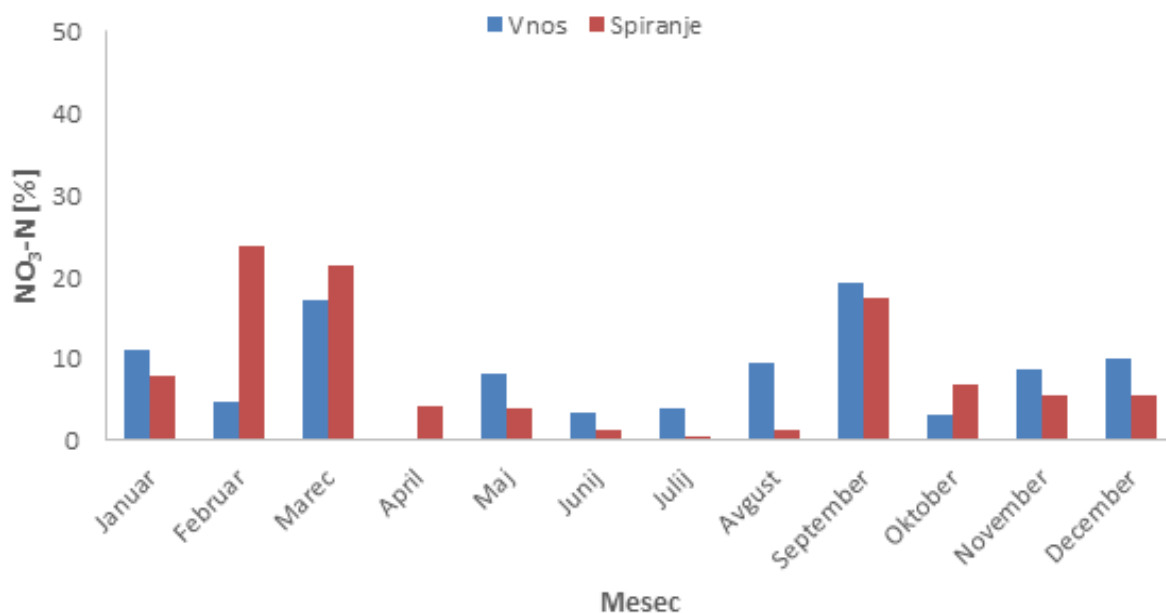
V letu 2007 se največ nitratnega dušika vnese septembra (20% letnih količin), ko nastopi obilno in dolgotrajno deževje, ter v marcu, ko je bila izmerjena najvišja letna koncentracija nitratnega dušika v padavinah (2,91 mg/l-N). Skupni letni vnos nitratnega dušika s padavinami je bil v letu 2006 8,15 kg/ha in v letu 2007 8,31 kg/ha.

Od junija do septembra se iz porečja spere dobrih 20% letnih količin nitratnega dušika, medtem ko se v tem času vnese slabih 40% letnih količin. V hladnejšem delu leta, od januarja do maja, je ravno obratno, dobrih 60% letnih količin nitratnega dušika se iz porečja spere, medtem ko se vnese okrog 40%.



**Slika 7:** Mesečni deleži masne bilance atmosfersko vnesenega in spranega nitratnega dušika na porečju Padeža glede na letne količine, leto 2006.

**Figure 7:** The monthly proportions of the input/output nitrate mass balance at the Padež watershed, according to the annual quantities in 2006.



**Slika 8:** Mesečni deleži masne bilance atmosfersko vnesenega in spranega nitratnega dušika na porečju Padeža glede na letne količine, leto 2007.

**Figure 8:** The monthly proportions of the input/output nitrate mass balance at the Padež watershed, according to the annual quantities in 2007.

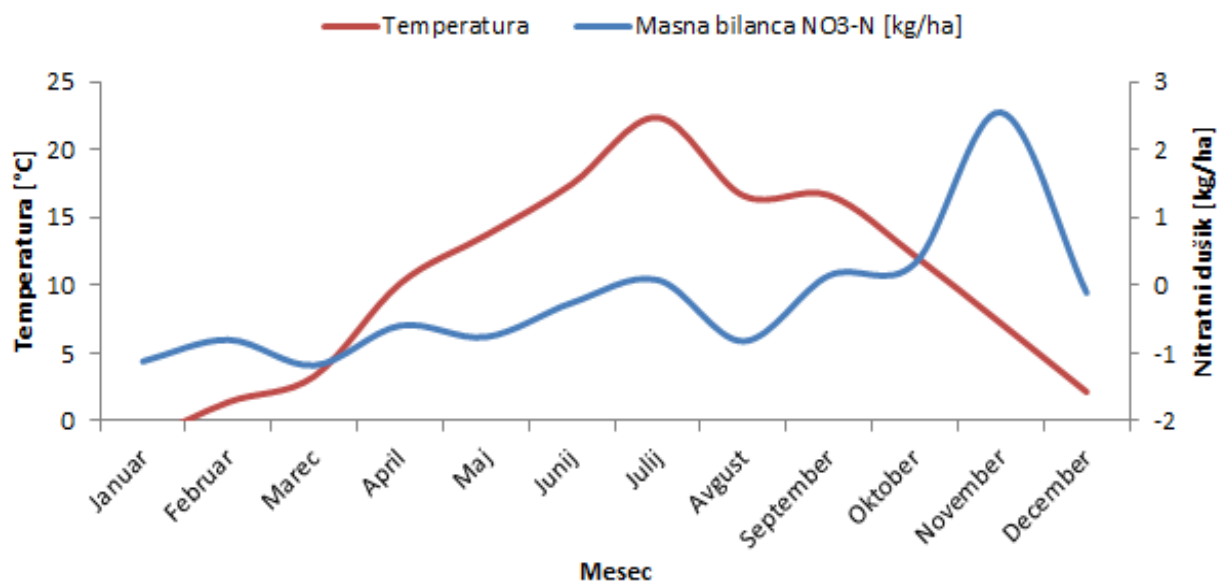


Opazna je velika soodvisnost med deleži spranega nitratnega dušika in deleži odtekle vode. V toplejših mesecih se zaradi povečane evapotranspiracije, odsotnosti hidroloških mehanizmov in povečane biološke aktivnosti del nitratnega dušika v porečju najverjetneje zadrži (akumulira). V hladnejših delih leta je nitratni dušik podvržen povečanemu spiranju.

### 3.3 Vpliv sezonskih razmer

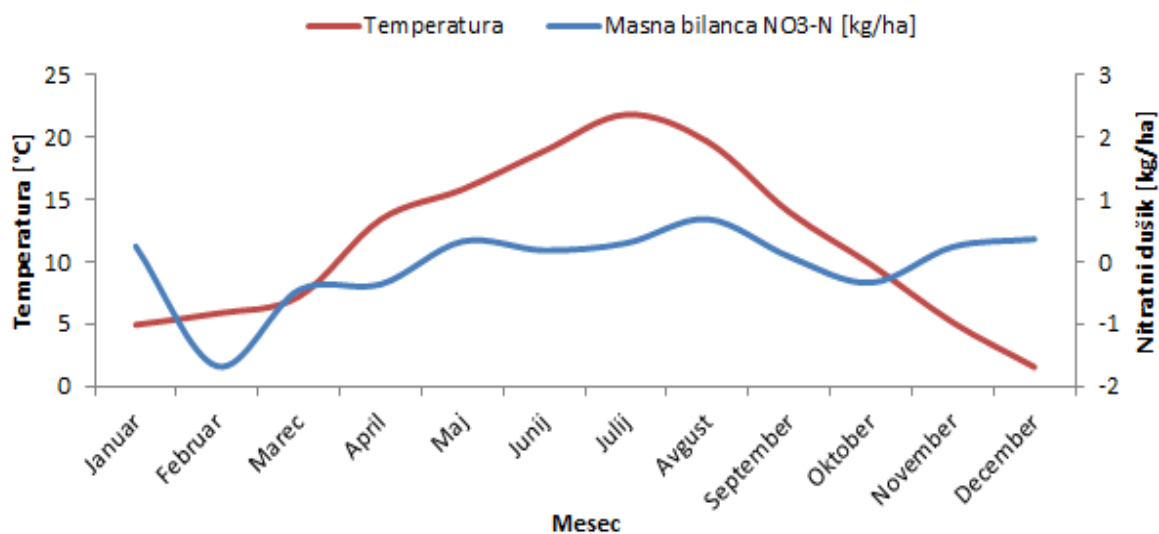
Temperatura velja za ključni fizikalni dejavnik, ki uravnava procese znotraj dušikovega kroga. (mineralizacijo, nitrifikacijo in denitrifikacijo). Ob povečani mineralizaciji in nitrifikacij dušikovih spojin lahko sklepamo, da gozdnata porečja v toplejših delih leta predstavljajo potencialni vir nitratnega dušika, ki se pod vplivom intenzivnejših hidroloških mehanizmov mobilizira. V primeru odsotnosti hidroloških mobilizacijskih

mehanizmov v času daljših sušnih obdobj, se nitratni dušik kot produkt mineralizacije in nitrifikacije v tleh akumulira. Mesečna dinamika vnosa in spiranja nitratnega dušika s porečja ter povprečna mesečna temperatura zraka sta prikazani na slikah 9 in 10. Opazimo, da se v splošnem v toplejših delih leta več nitratnega dušika v porečje vnese kot iz njega spere, v tem času nastopi povišana biološka poraba nitratnega dušika v okolju. V hladnejših delih leta se več nitratnega dušika iz porečja spere. Poleg povečane hidrološke mobilizacije je delno povečan iznos nitratnega dušika iz porečja vezan tudi na zmanjšano biološko porabo. Ob tem velja omeniti, da se v času izdatnejših padavin v toplejših delih leta (npr. avgust 2006) pod vplivom hidroloških mehanizmov nitratni dušik intenzivno spira iz porečja, mesečna bilanca nitratnega dušika v porečju je bila v tem primeru negativna (Slika 9).



*Slika 9: Povprečne mesečne temperature zraka in mesečne bilance nitratnega dušika v letu 2006.*

*Figure 9: Average monthly air temperature and monthly nitrate balance in 2006.*



*Slika 10: Povprečne mesečne temperature zraka in mesečne bilance nitratnega dušika v letu 2007.*

*Figure 10: Average monthly air temperature and monthly nitrate balance in 2007.*

#### 4. Diskusija in sklepi

Letna dinamika vnosa in spiranja nitratnega dušika je odvisna od sezonskih (klimatskih) razmer in hidro-meteoroloških razmer v posameznem letu, saj je od njih odvisen atmosferski vnos nitratnega dušika in količina odtekle vode ter z njo sprana količina nitratnega dušika. Sezonska gibanja zaloga nitratnega dušika v porečju so odvisna predvsem od aktivnosti prisotne vegetacije in njenih lastnosti, temperaturnih in vlažnostnih razmer v tleh. Lahko rečemo, da se od decembra do maja nitratni dušik iz porečja izgublja (spiranje je večje od vnosa). Do povečane količine spranega nitratnega dušika v poznojesenskih, zgodnjepomladanskih in zimskih mesecih prihaja zaradi:

- pronicanja nitratnega dušika iz globljih tal proti vodotoku,
- večjih količin padavin in s tem povečanega vnosa iz atmosfere,
- zmanjšane mikrobiološke delovanja/fiksacije in vegetacijskega odvzema,
- povišanega deleža odtoka vode, ki povzroči intenzivnejše spiranje nitratnega dušika.

Na podlagi predstavljenih rezultatov lahko sklepamo, da v zimskem času porečje Padež deluje pretežno kot vir nitratnega dušika, kvantitativno se

dušik iz sistema izgublja ( $I < O$ ), dinamika nitratnega dušika ima tako negativen predznak.

Biogeokemijsko najbolj aktivna obdobja so pozno spomladi, poleti in v začetku jeseni, oziroma v času rastle sezone. Iz mesečnih bilanc nitratnega dušika je razvidno, da v tem času večinoma prihaja do akumulacije nitratnega dušika v porečju zaradi:

- vegetacijskega odvzema,
- povečane stopnje mikrobiološke mineralizacije in nitrifikacije,
- povečane evapotranspiracije ter posledično zmanjšane deleža odtekle vode,
- daljših sušnih obdobj in posledične odsotnosti hidroloških mehanizmov, ki bi mobilizirali akumulirane količine nitratnega dušika v porečju.

V poletnem času porečje ob odsotnosti hidroloških mehanizmov deluje kot ponor nitratnega dušika, kar pomeni, da se nitratni dušik v porečju zadržuje ( $I > O$ ). Obilnejše padavine v tem času lahko povzročijo, da se nitratni dušik kot produkt mineralizacije v gozdnih tleh prične iz porečja intenzivneje spirati, kvantitativno se nitratni dušik iz porečja izgublja. Kot primer lahko navedemo dogajanje avgusta 2006.

Kot posledica podnebne spremenljivosti se napoveduje višanje povprečnih temperatur zraka, s tem pa podaljševanje biogeokemijsko

najaktivnejših obdobjih (Glavan et al., 2015). Ob tem lahko v prisotnosti hidroloških mehanizmov (padavinski dogodki z visoko intenziteto) pričakujemo potencialno povečanje količin nitratnega dušika, ki se z gozdnatih prispevnih območij sprostijo v vodotoke. Dodatno lahko zaradi naraščajočega antropogenega vnosa neorganskih dušikovih spojin v ozračje (povečevanje porabe umetnih gnojil, fosilnih goriv) pričakujemo povečan atmosferski vnos nitratnega dušika. Povečane količine spranega nitratnega dušika po vodotokih v vegetacijsko aktivnih obdobjih pomenijo dodatne količine hranil za mikroorganizme in vegetacijo, ki se nahaja dolvodno. Poveča se možnost eutrofikacije vodnih teles.

V odsotnosti podrobne analize časovne spremenljivosti vsebnosti nitratnega dušika v tleh, kjer potekajo intenzivni biogeokemijski procesi tvorbe in odvzema nitratnega dušika, ponujajo predstavljeni rezultati raziskave zgolj grob vpogled v časovno spremenljivost dinamike vnosa in spiranja nitratnega dušika iz porečja potoka Padež. Ob tem se nakazujejo vzorci sezonske spremenljivosti dinamike vnosa in spiranja nitratnega dušika, ki so močno pogojeni s spremenljivostjo hidroloških razmer. Rezultati meritev nadalje kažejo, da lahko časovno zvezno spremljanje koncentracije nitratnega dušika v vodotoku v času padavinskih dogodkov veliko pripomore k boljši kvantifikaciji količin spranega nitratnega dušika z manjših prispevnih območij, kakršno je porečje potoka Padež. Za natančnejši vpogled v spremenljivost masne bilance dušika na območju eksperimentalnega porečja Padež bi bila potrebna dolgotrajnejša in večletna spremljanja koncentracij različnih oblik dušikovih spojin v vodotoku, atmosferi in tleh.

## Viri

- Aber, J.D., Melillo, J.M., Nadelhoffer, K.J., Pastor, J., Boone, R.D. (1991). Factors controlling nitrogen cycling and nitrogen saturation in northern temperate forest ecosystems. *Ecological Application*, **1**, 303–315.
- Band, L.E., Tague, C.L., Groffman, P., Belt, K. (2001). Forest ecosystem processes at the watershed scale: hydrological and ecological controls of nitrogen export. *Hydrological Processes* **15**(10), 2013–2028.
- Binkley, D., Cromack, K., Baker, D. (1994). Nitrogen Fixation by Red Alder; Biology, Rates and Controls. V: Hibbs, D.E., DeBell, D.S., Tarrant, R., The Biology & Management of Red Alder, Oregon State University Press, Corvallis: 57–72.
- Binkley, D., Son, Y., Valentine, W.D. (2000). Do Forests Receive Occult Inputs of Nitrogen? *Ecosystems* **3**(4), 321–331.
- Bolte, T. (2007). *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2006*. ARSO: 106 str.
- Eler, K., Kobal, M., Simončič, P. (2010). Kritični vnos in prekomerne obremenitve ekosistemov z dušikom in žveplom. [http://kazalci.arso.gov.si/print?ind\\_id=576&lang\\_id=302](http://kazalci.arso.gov.si/print?ind_id=576&lang_id=302) (Pridobljeno 15. 03. 2014).
- Fogg, J., Wells, G. (1998). *Stream Corridor Restoration, Principles, Processes, and Practices*, U.S. Department of Agriculture, U.S. Environmental Protection Agency, Tennessee Valley Authority, Federal Emergency Management Agency, U.S. Department of Commerce, U.S. Department of Housing and Urban Development, U.S. Department on the Interior: 536 str.
- Glavan, M., Ceglar, A., Pintar, M. (2015). Assessing the impacts of climate change on water quantity and quality modelling in small Slovenian Mediterranean catchment – lesson for policy and decision makers. *Hydrological Processes* **29**(14), 3124–3144.
- Heggie, D. T., Skyring, G. W., Orchardo, J., Longmore, A. R., Nicholson, G. J., and Berelson, W. M. (1999). Denitrification and denitrifying efficiencies in sediments of Port Phillip Bay: direct determinations of biogenic N<sub>2</sub> and N-metabolite fluxes with implications for water quality. *Marine Freshwater Research* **50**, 589–596.
- Likens, G.E., Bormann, F.H. (1995). *Biogeochemistry of a Forested Ecosystem*. 2nd edition. New York, Springer-Verlag: 159 str.
- Mitchell, M.J., Driscoll, C.T., Kahl, J.S., Likens, G.E., Murdoch, P.S., Pardo, L.H. (1996). Climatic Control of Nitrate Loss from Forested Watersheds in the Northeast United States, New York, *Environmental science and technology* **8**, 2609–2612
- Rusjan, S. (2008): Hidrološke kontrole sproščanja hranil v porečjih (Hydrological controls of nutrient mobilization in watersheds). Unpublished Doctoral

Thesis, Univerza v Ljubljani, FGG: 206 p. (in Slovenian).

Simončič, S., Kutner, L., Kovač, M., Skudnik, M., Žlindra, D., Ferlan, M., Levanič, T., Verlič, A. (2011). Raziskovalna ploskev Brdo. Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana: 2 str.

Stopar, D. (2013). Kroženje dušika.

<http://web.bf.uni-lj.si/zt/mikro/homepage>

[/krozenjeDUSIK.pdf/](#)

(Pridobljeno 13. 09. 2013).

Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, P.A., Schindler, D.W., Schlesinger, W.H., Tilman, D.G. (1997). Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecological Application* 7, 737–750.

Ward, B. (2005). *The Global Nitrogen Cycle*. V: Knoll, A.H., Canfield, D.E., Konhauser, K.O., Fundamentals of Geobiology, Blackwell publishing; 36–48.