

Konceptualizacija časovnega razvoja procesov oblikovanja padavinskega odtoka na porečju z uporabo meritev koncentracije nitratnega dušika v vodotoku

Klaudija Lebar¹, Simon Rusjan¹

Povzetek

V prispevku so predstavljeni rezultati uporabe meritev koncentracij nitratnega dušika z 20-minutnim časovnim korakom v vodotoku Kuzlovec (območje občine Dobrova-Polhov Gradec) za namen konceptualizacije časovnega razvoja procesov oblikovanja padavinskega odtoka. V analizo je bilo vključenih 43 padavinskih dogodkov, ki so se zgodili v obdobju med aprilom 2018 in aprilom 2020. Meritve koncentracij nitratnega dušika dopolnjujejo podatki meritev padavin (sedem lokacij), meritev pretokov, volumetrične vsebnosti vode v tleh, električne prevodnosti vode in indeksa listne površine, preko katerega smo opredelili fenološko fazo gozda, ki predstavlja poglavitno rabo tal na porečju. Rezultati analiz kažejo, da je hitrost tvorbe padavinskega odtoka najhitrejša na površini tal in upada z globino, o čemer smo sklepali na podlagi podatkov o časovni spremenljivosti pretoka in električne prevodnosti vode v vodotoku med padavinskim dogodkom. Podrobna analiza je pokazala, da je konica koncentracije nitratnega dušika dosežena pozneje kot konica hidrograma in električne prevodnosti vode v vodotoku. To kaže, da je najpomembnejši vir nitratnega dušika tik pod površino tal in nato z globino upada, kar je posledica sprememb vsebnosti vode v tleh in oblikovanja odtoka v talnih horizontih, ki je najhitrejši v sloju pod površino tal in se z globino upočasnjuje. Z raziskavo smo pokazali, da lahko z informacijami, pridobljenimi na podlagi meritev koncentracij nitratnega dušika v vodotoku, podrobneje in z večjo gotovostjo opredelimo časovni razvoj procesov tvorbe padavinskega odtoka.

Ključne besede: nitratni dušik, oblikovanje padavinskega odtoka, meritve s kratkim časovnim korakom,

Key words: nitrate nitrogen, rainfall-runoff formation, high-frequency measurements

Uvod

Oblikovanje padavinskega odtoka predstavlja enega najbolj kompleksnih delov vodnega kroga, ki se začne z začetkom padavin, taljenjem snežne odeje ali umetnim namakanjem površin. Vplivne dejavnike oblikovanja padavinskega odtoka v osnovi delimo med meteorološke dejavnike in fizikalne karakteristike porečja. Med prve spadajo vrsta padavin, intenziteta padavin, trajanje padavin, količina padavin, prostorska porazdelitev padavin, smer gibanja padavin, predhodne padavine, temperatura zraka, veter, relativna vlažnost zraka idr. Med fizikalnimi karakteristikami porečja so najpomembnejše raba tal, vegetacija, vrsta tal, oblika porečja, naklon, topografija, nadmorska višina (USGS, 2021).

Za razumevanje oblikovanja padavinskega odtoka, predvsem pa poti stekanja, nam poleg običajnih hidrometeoroloških podatkov in podatkov o lastnostih porečja, lahko pomagajo tudi opazovanja in meritve koncentracij snovi v vodotoku (Exner-Kittridge et al., 2016), kot je recimo hranilo nitratni dušik. Ti podatki omogočajo tudi odkrivanje novih znanj (Aubert et al., 2016), lociranje virov opazovane snovi (Bernal et al., 2006) ter napovedovanje, kako

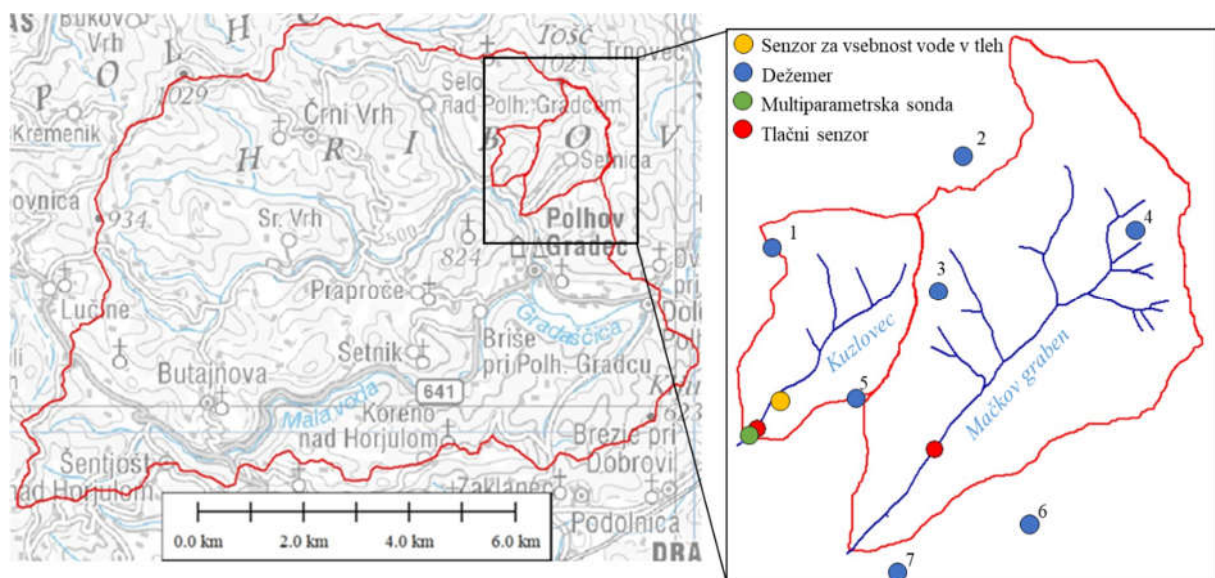
¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova c. 2, 1000 Ljubljana

se bo porečje odzvalo na padavinski dogodek v smislu zadrževanja in sproščanja snovi s porečja (Rusjan and Vidmar, 2017).

V prispevku so predstavljeni rezultati uporabe meritev koncentracij nitratnega dušika z 20-minutnim časovnim korakom v vodotoku Kuzlovec (območje občine Dobrova-Polhov Gradec) za namen konceptualizacije časovnega razvoja procesov oblikovanja padavinskega odtoka Namen raziskave je bil identificirati glavne vire opazovanega hranila (nitratnega dušika) in transportne poti po padavinskih dogodkih. S poznavanjem povezav med hidrološkimi spremenljivkami in iznosi nitratnega dušika s porečja lahko dobimo podrobnejši vpogled v oblikovanje procesov padavinskega odtoka (Schwab et al., 2017), ki so pomembne za izračune projektnih hidrogramov, na drugi strani pa so informacije o iznosih nitratnega dušika zaradi njegove pomembne vloge v ekosistemih ključnega pomena za upravljanje kakovosti voda (Pellerin et al., 2014).

Opis eksperimentalnega porečja

Za raziskavo smo izbrali manjše gozdno porečje vodotoka Kuzlovec (slika 1), enega od pritokov Velike Božne, ki se po združitvi z Malo vodo v Polhovem Gradcu izliva v Gradaščico. Porečje Gradaščice je eno od eksperimentalnih porečij, na katerih Katedra za splošno hidrotehniko UL FGG izvaja različne raziskave, ki so bile in so podlaga za uspešen razvoj področja hidrologije v Sloveniji (Brilly et al., 2020; Šraj et al., 2016). Na porečju vodotoka Kuzlovec je velik del uporabljene merske opreme (npr. dežemeri in tlačne sonde) bil nameščen že v okviru projekta SedAlp, ki je potekal med letoma 2012 in 2015 (npr. Rusjan et al., 2014). Z meritvami koncentracij nitratnega dušika, električne prevodnosti in drugih fizikalno-kemijskih parametrov vode, kot so temperatura, pH in motnost, ki jih predstavljamo v tem prispevku, smo pričeli aprila 2018, za analizo pa smo uporabili podatke, pridobljene vključno do aprila 2020. Te meritve smo izvajali z multiparametrsko sondo Hydrolab MS5 (OTT, 2020).



Slika 1 – Prikaz območja raziskave in lokacij posamezne merske opreme

Poleti 2019 smo v enem talnem profilu na treh globinah (15, 40 in 70 cm) namestili še senzorje za spremljanje vsebnosti volumetrične vode v tleh. Pretoke, padavine, koncentracije

nitratnega dušika, električno prevodnost in volumetrično vsebnost vode v tleh smo merili in/ali preračunali na 20-minutni časovni korak, kar je z vidika hidrometeoroloških in biogeokemičnih meritev relativno velika časovna resolucija na eni strani ter redek tovrsten podatkovni niz gledano svetovno literaturo na drugi strani. Pretežno z gozdom pokrito porečje, na katerem ni prisotnih človekovih vplivov in/ali dejavnosti, smo izbrali zaradi zagotavljanja referenčnega naravnega stanja, ki je za področje spiranja hranil med drugim pomembno tudi za razumevanje procesov in stanj na na območjih, kjer obstajajo antropogeni vplivi na kroženje in količino hranil (Rodríguez-Blanco et al., 2018).

Metode analize podatkov

Za analizo podatkov smo uporabili metodo določitve časovnega zamika med odzivi posameznih procesov na padavine ter individualno analizo identificiranih časovnih dogodkov v obravnavanem obdobju. Kot padavinski dogodek smo opredelili čas od prvega zabeleženega podatka padavin na dežemeru do vključno 6 ur po zadnjem zabeleženem podatku ob pogoju, da je kumulativno padlo vsaj 10 mm padavin. Skupaj smo identificirali 43 padavinskih dogodkov, za katere smo imeli vse potrebne podatke, tj. o padavinah, pretokih, koncentracijah nitratnega dušika, električni prevodnosti. Za 24 od teh dogodkov smo imeli na voljo tudi podatke o spremembah volumetrične vsebnosti vode v tleh. V preglednici 1 so predstavljene osnovne statistične vrednosti lastnosti padavinskih dogodkov, in sicer količine padavin, trajanja padavin, najvišje enourne in srednje intenzitete padavin, najvišji pretok, najvišja izmerjena koncentracija, najvišji dosežen iznos nitratnega dušika, število dni pred dogodkom brez padavin, višjih od 10 mm.

Preglednica 1 – Osnovne statistike posameznih lastnosti padavinskih dogodkov (N = 43)

Spremenljivka	Povprečje	Standardna deviacija	Najvišja vrednost	Najnižja vrednost	Mediana
Količina padavin [mm]	32,1	21,4	95,0	10,0	24,3
Trajanje padavin [min]	964,2	704,6	3040,0	20,0	760,0
Srednja intenziteta padavin [mm/h]	3,7	5,8	34,2	0,6	2,0
Najvišja 60-minutna intenziteta padavin [mm/h]	15,9	14,4	85,5	2,7	10,2
Najvišji pretok [l/s]	11,8	13,6	75,9	2,0	8,1
Najvišja koncentracija nitratnega dušika [mg/l]	1,4	0,7	3,5	0,8	1,2
Najvišji iznos nitratnega dušika [g/20 min]	17,2	17,1	82,4	2,3	11,1
Število predhodnih dni brez padavin [dnevi]	8,0	10,3	53,2	0,3	4,1

Metoda časovnih zamikov temelji na določitvi centroidov diagramov pretokov, iznosa nitratnega dušika in volumetrične vsebnosti vode v tleh glede na pojav centroida histograma padavin (preglednica 2). Metodo smo povzeli po Banasik et al. (2005), ki so na enak način določili časovne zamike med pretoki in transportom sedimentov s porečja. Vseh 43 dogodkov smo analizirali tudi individualno glede na grafični prikaz časovnega razvoja

omenjenih procesov. Na podlagi grafičnih prikazov smo pridobili predvsem informacije o časih odziva na padavine, konice posamezne opazovane spremenljivke ter povratka v stanje, kot je bilo pred začetkom dogodka.

Preglednica 2 – Metoda določitve časovnih zamikov s pojasnjenimi pojmi in enačbami za izračun (LAGQ, LAGN, LAGSM15, LAGSM40 in LAGSM70 so oznake za čas pojava centroidov diagramov pretoka, iznosa nitratnega dušika ter vsebnosti vode v tleh na globinah 15, 40 in 70 cm)

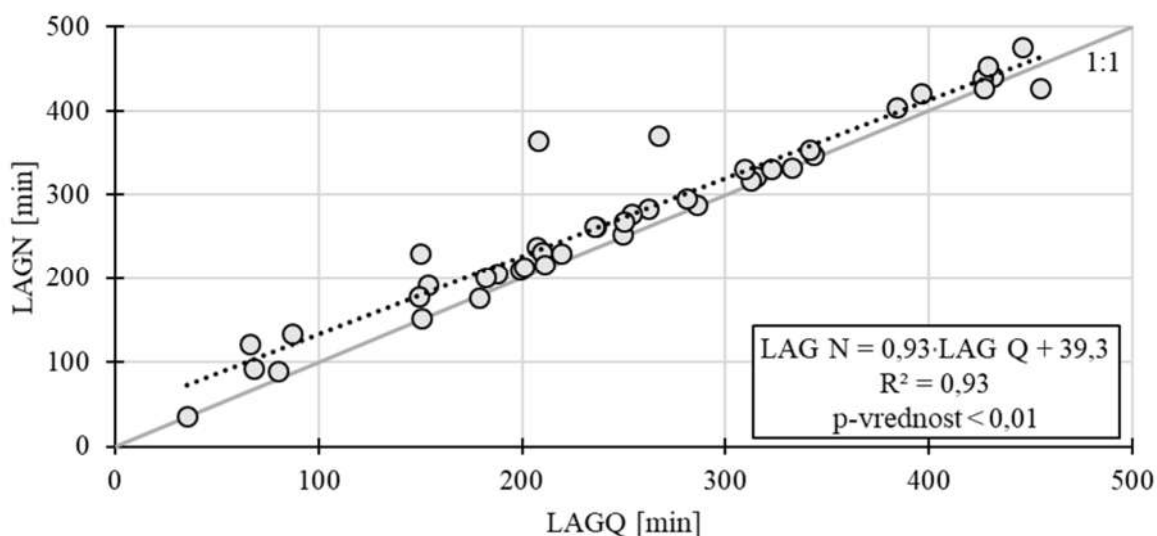
Centroid diagrama	Oznaka centroida	Oznaka časa pojava centroida	Enačba časa zakasnitve
padavin (hietograma)	M_P	/	/
pretoka (hidrograma)	M_Q	LAGQ	LAGQ – LAGP
iznosa nitratnega dušika	M_N	LAGN	LAGN – LAGP
vsebnosti volumetrične vsebnosti vode v tleh na globini 15 cm	M_{SM15}	LAGSM15	LAGSM15 – LAGP
vsebnosti volumetrične vsebnosti vode v tleh na globini 40 cm	M_{SM40}	LAGSM40	LAGSM40 – LAGP
vsebnosti volumetrične vsebnosti vode v tleh na globini 70 cm	M_{SM70}	LAGSM70	LAGSM70 – LAGP
Splošna enačba določitve centroida (M_X)			
$M_X = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n Y_i}; t_i \dots \text{časovni korak (20 minut); } Y_i \dots \text{vrednost posamezne spremenljivke v časovnem koraku } t_i$			

Rezultati in diskusija

Za 43 dogodkov, vključenih v analizo, smo ugotovili, da so časi zakasnitve pretoka (LAGQ) in iznosov nitratnega dušika (LAGN) močno linearno povezani s koeficientom determinacije 0,93 (slika 2), na podlagi česar sklepamo, da so količine iznesenega nitratnega dušika odvisne od hidroloških razmer med padavinskimi dogodki na porečju. V povprečju se je centroid diagrama iznosa nitratnega dušika zgodil 24 minut za pojavom centroida hidrograma. V primerjavi s predhodnimi raziskavami, kjer je bil poudarek na iskanju povezav med časovnim pojavom konice hidrograma in konice koncentracije opazovanega hranila, je uporaba časov pojava centroida hidrograma in diagrama iznosa nitratnega dušika ustrežnejša, saj na ta način zajamemo celotni časovni razvoj dogodka. Podobno močno linearno zvezo ($R^2 = 0,99$) so ugotovili tudi Banasik et al. (2005) za pet karpatskih porečij, vendar je v njihovem primeru prišlo do centroida diagrama iznosa sedimentov prej kot do centroida hidrograma. Časovna zakasnitev pojava centroida diagrama nitratnega dušika kaže poleg tega, da se spiranje nitratnega dušika dogaja v času padajočega dela hidrograma, tudi na oddaljenost virov nitratnega dušika od neposredne bližine rečne mreže (Sapač et al., 2020).

Močno linearno povezavo smo ugotovili tudi med časi zakasnitve LAGQ in volumetrične vsebnosti vode v tleh (LAGSM) v vseh treh globinah ($R^2 = 0,71-0,75$, p-vrednost $< 0,001$). Do pojava težišča diagrama volumetrične vsebnosti vode v tleh je prišlo v vseh treh globinah približno hkrati, kar kaže na dobro vertikalno povezanost talnih horizontov. Pri 24

analiziranih dogodkih se je v povprečju težišče v najplitvejšem sloju pojavilo v 241 min, v srednjem in najglobljem sloju pa v 243 min.



Slika 2 – Linearna povezanost časov zakasnitve iznosa nitratnega dušika (LAGN) s časom zakasnitve pretoka (LAGQ)

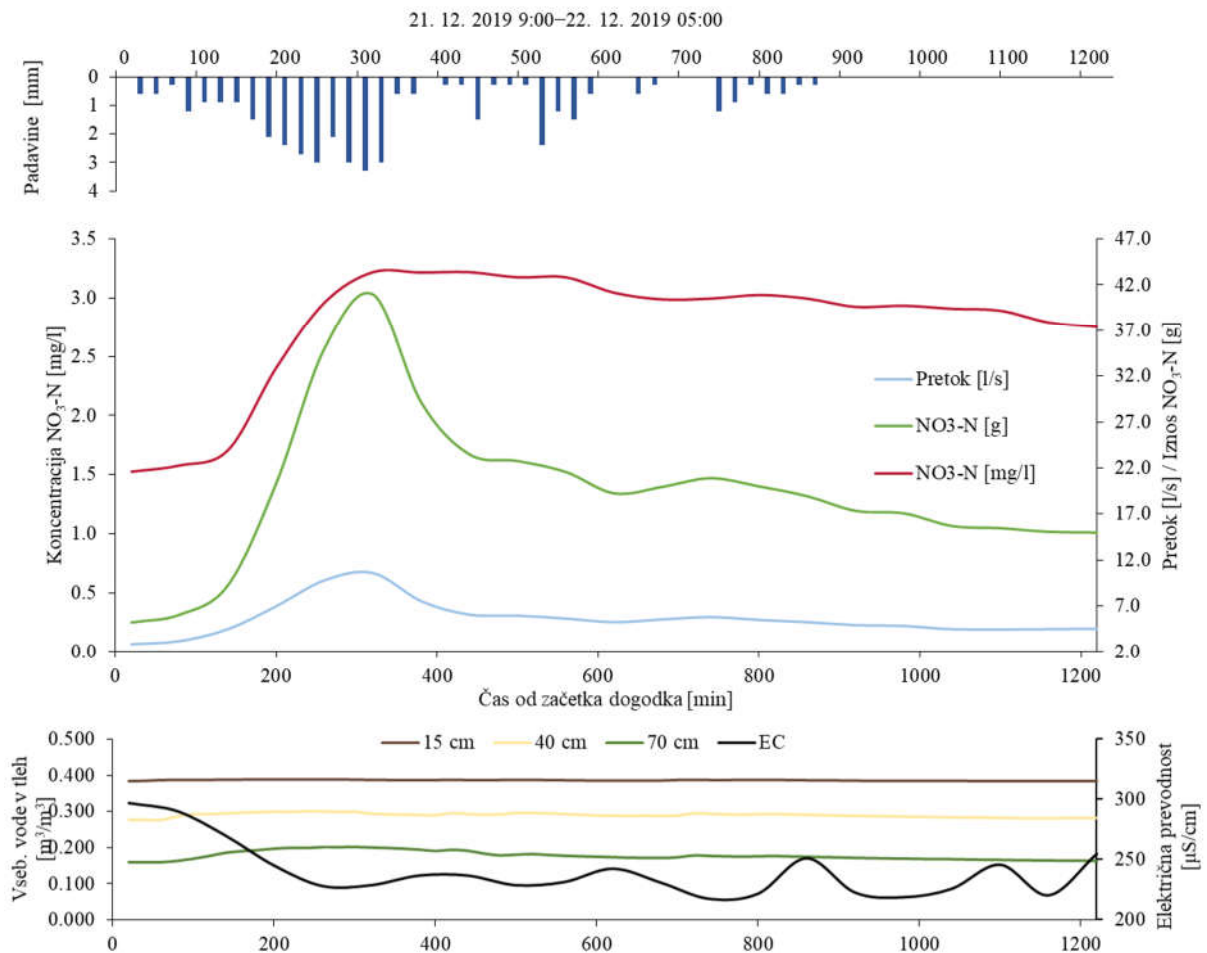
Izračunani časi zakasnitve pretokov, iznosa nitratnega dušika in vsebnosti vode v tleh ter njihova medsebojna primerjava nam je omogočila vpogled v časovno povezanost procesov, vendar pa samo na podlagi te analize nismo mogli upoštevati ostalih lastnosti padavinskih dogodkov (npr. jakosti). Raziskavo smo zato dopolnili z analizami posameznih padavinskih dogodkov, pri čemer smo opazovane spremenljivke dogodkov, tj. padavine, pretok, iznos nitratnega dušika, električno prevodnost in spremembe vsebnosti vode v tleh na treh globinah, najprej analizirali na podlagi grafičnih prikazov (npr. slika 3), nato pa smo opažanja še kvantificirali s pomočjo pridobljenih podatkov meritev.

V prispevek smo vključili primer podrobne analize enega dogodka (slika 3), ki se je zgodil decembra 2019. Med dogodkom je padlo skupaj 43,5 mm padavin s srednjo intenziteto 3 mm/h. Dogodek je skupno trajal 1220 min. Absolutna konica pretoka je bila dosežena 2 uri in 20 min pred absolutno konico koncentracije nitratnega dušika, medtem ko je med časom pojava težišča diagramov, ki upoštevata celotno časovno dinamiko dogodka, približno 30 min razlike. Težišča volumetrične vsebnosti vode v tleh pa so se zgodila skoraj sočasno, približno 15 min po težišču diagrama koncentracije nitratnega dušika. Iz grafa na sliki je opaziti tudi, da je bila najnižja električna prevodnost dosežena približno sočasno s konicama pretoka in koncentracij nitratnega dušika. Podrobnejše analize posameznih dogodkov pa so predstavljene v disertaciji Lebar (2021).

Električno prevodnost vode smo v analizo vključili, ker lahko na podlagi teh podatkov ugotovimo časovno spreminjanje deleža nove vode (padavin) v strugi vodotoka. Najnižje vrednosti električne prevodnosti kažejo na prisotnost največjega deleža padavin v strugi, ki niso bile v (daljšem) stiku s tlemi in so strugo vodotoka dosegle s hitrim površinskim odtokom ali pa so padle neposredno v strugo vodotoka. Najnižje vrednosti električne prevodnosti so se v splošnem zgodile pred konico pretoka, konica pretoka pa pred konico koncentracije nitratnega dušika, kar kaže na to, da največji vir nitratnega dušika ni površina tal, ampak plitvi talni horizonti. Prisotnost nitratnega dušika v talnih horizontih smo preverili z laboratorijsko analizo tal (Kmetijski inštitut Slovenije, 2018), ki je pokazala, da ga je največ v najplitvejših delih pod površino tal (razgradnja organske snovi), nato pa z globino

izrazito pade. Razlog, da večji del padavin odteče kot lateralni oziroma površinski odtok, lahko pripišemo predvsem zelo strmemu naklonu porečja, ki v povprečju znaša 50 %, najvišji nakloni pa celo več kot 100 % (Bezak et al., 2013).

Analizirani padavinski dogodki so bili med seboj zelo raznoliki glede na lastnosti padavin (npr. količina, intenziteta, trajanje) in hidrološke razmere v porečju (npr. predhodna namočenost, predhodna evapotranspiracija) (Sapač et al., 2020). Ne glede na to so bile hkratne meritve različnih spremenljivk, ki so medsebojno odvisne, ključnega pomena za interpretacijo procesov spiranja nitratnega dušika in oblikovanja padavinskega odtoka.

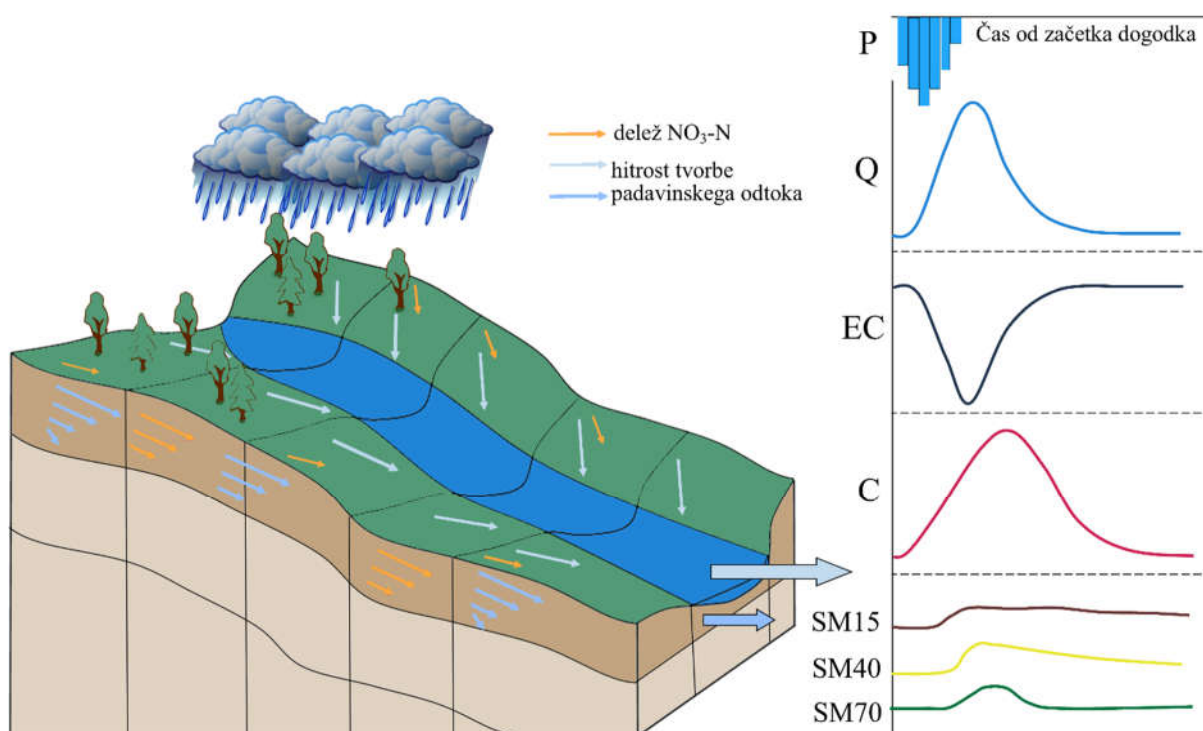


Slika 3 – Časovni potek padavin, pretoka, koncentracije in iznosa nitratnega dušika, električne prevodnosti v vodotoku in sprememb vsebnosti vode v tleh med padavinskim dogodkom, ki se je zgodil med 21. decembrom 2019 9:00 in 22. decembrom 2019 05:00.

Na sliki so prikazana urna povprečja podatkov.

Na podlagi zgoraj predstavljenih rezultatov smo za obravnavano porečje izdelali shemo časovnega razvoja opazovanih procesov, s poudarkom na iznosih nitratnega dušika in odtoka s porečja (slika 4). Modre puščice označujejo poti stekanja in hitrost tvorbe odtoka, oranžne puščice pa delež celotnega iznosa nitratnega dušika s porečja. Shemo dopolnjejo grafi časovnih sprememb padavin (P), pretoka (Q), električne prevodnosti (EC), koncentracije nitratnega dušika v vodotoku (C) volumetrične vsebnosti vode v tleh na treh globinah

(SM15, SM40, SM70). Koncentracija nitratnega dušika doseže vrh pozneje kot hidrogram, električna prevodnost pa prej kot hidrogram, na podlagi česar sklepamo, da hitrost tvorbe odtoka pada z globino tal. Skupaj z rezultati kemijskih analiz vzorcev talnih horizontov lahko sklepamo, da se glavni vir nitratnega dušika nahaja v najplitvejših delih pod površino tal. Temu pritrjujejo tudi ugotovitve uporabe modelov multiple linearne regresije za pojasnitev pojava centroidov hidrograma in diagrama nitratnega dušika, ki so pokazali, da sta v modelu za LAGN statistično značilni spremenljivki spremembi volumetrične vsebnosti vode v tleh v zgornjih dveh slojih, medtem ko sprememba v najglobljem sloju (70 cm) ni bila statistično značilna (Sapač et al., 2020).



Slika 4 – Koncept časovnega razvoja oblikovanja padavinskega odtoka na porečju vodotoka Kuzlovec na osnovi analiz podatkov, pridobljenih z meritvami z 20-minutnim časovnim korakom. Oranžne in modre puščice kažejo delež nitratnega dušika k celotnemu iznosu oziroma hitrost tvorbe padavinskega odtoka. Grafi na desni strani kažejo časovni razvoj opazovanih procesov na porečju (P so padavine, Q je pretok, EC električna prevodnost, C pa koncentracija nitratnega dušika).

Zaključki

Za konceptualizacijo časovnega razvoja procesov oblikovanja padavinskega odtoka na porečju in določitev virov nitratnega dušika smo uporabili metodo časovne zakasnitve težišč diagramov pretoka, iznosa nitratnega dušika in volumetrične vsebnosti vode v tleh. Izkazalo se je, da so procesi oblikovanja odtoka hitrejši od procesov spiranja opazovanega hranila ter da se viri nitratnega dušika ne nahajajo v neposredni bližini rečne mreže. To ugotovitev dopolnjujejo analize časovnih sprememb volumetrične vsebnosti vode v tleh, ki so pokazale, da so glavni vir nitratnega dušika, ki se sprosti v vodotok med padavinskimi dogodki, gozdna tla. Gozdna tla oziroma odtok skozi gozdna tla pa glede na močno linearno zvezo med težišči

vseh treh analiziranih diagramov predstavlja enega glavnih kontrolnih mehanizmov spiranja nitratnega dušika s porečja.

Zahvala

Raziskava, predstavljena v prispevku, je bila finančno podprta s strani Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna v okviru usposabljanja mladih raziskovalcev prve avtorice ter raziskovalnega programa P2-0180. Dodatno je bila raziskava sofinancirana s strani Ministrstva za izobraževanje, znanost in šport, Medvladnega hidrološkega programa UNESCO IHP.

Reference

- Aubert, A.H., Thrun, M.C., Breuer, L., Ultsch, A. (2016). Knowledge discovery from high-frequency stream nitrate concentrations: Hydrology and biology contributions. *Sci. Rep.* 6, 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep31536>
- Banasik, K., Madeyski, M., Mitchell, J.K., Mori, K. (2005). An investigation of lag times for rainfall-runoff-sediment yield events in small river basins. *Hydrol. Sci. J.* 50, 857–866. <https://doi.org/10.1623/hysj.2005.50.5.857>
- Bernal, S., Butturini, A., Sabater, F. (2006). Inferring nitrate sources through end member mixing analysis in an intermittent Mediterranean stream. *Biogeochemistry* 81, 269–289. <https://doi.org/10.1007/s10533-006-9041-7>
- Bezak, N., Šraj, M., Rusjan, S., Kogoj, M., Vidmar, A., Sečnik, M., Brilly, M., Mikoš, M., (2013). Primerjava Dveh Sosednjih Eksperimentalnih Hudourniških Porečij: Kuzlovec in Mačkov Graben = Comparison Between Two Adjacent Experimental Torrential Watersheds: Kuzlovec and Mačkov Graben. *Acta Hydrotechnica* 45, 85–97.
- Brilly, M., Zabret, K., Sapač, K., Bezak, N., Vidmar, A. (2020). Razvoj hidrologije v Sloveniji, V: Zbornik referatov Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko za leto 2020. Ljubljana, pp. 123–133.
- Exner-Kittridge, M., Strauss, P., Blöschl, G., Eder, A., Saracevic, E., Zessner, M. (2016). The seasonal dynamics of the stream sources and input flow paths of water and nitrogen of an Austrian headwater agricultural catchment. *Sci. Total Environ.* 542, 935–945. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.151>
- Kmetijski inštitut Slovenije. (2018). Poročilo o preskusu vzorcev iz talnih horizontov na lokaciji porečja Kuzlovec. Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 4 str.
- Lebar, K. (2021). Vpliv hidrometeoroloških in vegetacijskih razmer na dinamiko spiranja nitratnega dušika. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- OTT. (2020). Hydrolab MS5 - Multiparameter Mini Sonde. Dostopno na: <https://www.ott.com/products/water-quality-2/hydrolab-ms5-multiparameter-mini-sonde-57/>. (Pridobljeno 15. maja 2019)
- Pellerin, B.A., Bergamaschi, B.A., Gilliom, R.J., Crawford, C.G., Saraceno, J., Frederick, C.P., Downing, B.D., Murphy, J.C. (2014). Mississippi river nitrate loads from high frequency sensor measurements and regression-based load estimation. *Environ. Sci. Technol.* 48, 12612–12619. <https://doi.org/10.1021/es504029c>
- Rodríguez-Blanco, M.L., Taboada-Castro, M.M., Arias, R., Taboada-Castro, M.T. (2018). Inter- and Intra-Annual Variability of Nitrogen Concentrations in the Headwaters of the Mero River. *Nitrogen Agric.* <https://doi.org/10.5772/intechopen.69996>
- Rusjan, S., Mikoš, M., Bezak, N. (2014). Vodna erozija v porečju Gradaščice. *Ujma* 21, 79–84.
- Rusjan, S., Vidmar, A. (2017). The role of seasonal and hydrological conditions in regulating dissolved inorganic nitrogen budgets in a forested catchment in SW Slovenia. *Sci. Total Environ.* 575, 1109–1118. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.178>

- Sapač, K., Vidmar, A., Bezak, N., Rusjan, S. (2020). Lag Times as Indicators of Hydrological Mechanisms Responsible for NO₃-N Flushing in a Forested Headwater Catchment. *Water* 12, 1092.
- Schwab, M.P., Klaus, J., Pfister, L., Weiler, M. (2017). How runoff components affect the export of DOC and nitrate: a long-term and high-frequency analysis. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 1–21. <https://doi.org/10.5194/hess-2017-416>
- Šraj, M., Bezak, N., Rusjan, S., Mikoš, M. (2016). Review of hydrological studies contributing to the advancement of hydrological sciences in Slovenia. *Acta hydrotechnica* 29, 47–71.
- USGS. (2021). Runoff: Surface and Overland Water Runoff. Water Science School. Dostopno na: <https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/runoff-surface-and-overland-water-runoff> (Pridobljeno 8. decembra 2021)