

## DEPOZICIJA NEKATERIH RASTLINSKIH HRANIL IN NATRIJA S PADAVINAMI

Žan TROŠT<sup>1</sup> in Barbara ČEH<sup>2</sup>

Strokovni članek / Professional article

Prispelo / Received: 25. 10. 2022

Sprejeto / Accepted: 2. 12. 2022

### Izvleček

Depoziciji dušika in žvepla s padavinami sta desetletja predstavljali kot kisli dež velik okoljski problem, po drugi strani pa je to predstavljalo pomemben del rastlinskih hranil, predvsem sulfata in dušika. V letih 1997–2000 je v Sloveniji s padavinami padlo med 10 kg/ha dušika (N) v manj urbanih in 12 kg/ha v urbanih območjih, žvepla (S) pa med 8 kg/ha v manj urbanih in 12 kg/ha v urbanih območjih. V zadnjih 30 letih (1990–2019) so se izpusti snovi, ki povzročajo zakisovanje in evtrofikacijo, zmanjšali za 80 %. V zadnjih štirih letih (2018–2021) znaša tako letna depozicija dušika s padavinami v obliki NH<sub>4</sub> in NO<sub>3</sub> okoli 6 kg/ha N in 2,5 kg/ha S. V zadnjih letih s padavinami torej pade za prehrano rastlin zanemarljiva količina dušika in žvepla, pa tudi drugih hranil (2–4 kg/ha Ca, manj od 1 kg/ha Mg in K, 1–4 kg/ha Na letno).

**Ključne besede:** mokra depozicija, padavine, rastlinska hranila, žveplo, dušik

## WET DEPOSITION OF ELEMENTS THAT ARE IMPORTANT FOR AGRICULTURE

### Abstract

The deposition of nitrogen and sulphur through precipitation was a big environmental problem for decades, but on the other hand, this deposition contributed to a significant part of plant nutrients, especially sulphate and nitrogen. In the period from 1997 to 2000, wet deposition in Slovenia was 10 kg/ha nitrogen (N) yearly in less urban area and 12 kg/ha of in urban area, and 8 kg/ha sulphur (S) in the less urban area and 12 kg/ha S in urban area. In the last 30 years, from 1990 to 2019, however, releasing of substances that cause acidification and eutrophication have decreased by 80%. In the last four years, from 2018 to 2021, N deposition through precipitation in the form of NH<sub>4</sub> and NO<sub>3</sub> was around 6 kg/ha N annually, and S deposition around 2.5 kg/ha. This shows that in terms of contribution to the nutrition of cultivated plants, in recent years a negligible amount of N and S falls

<sup>1</sup> Mag. inž. hort., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije (IHPS), e-pošta: zan.trost@ihps.si

<sup>2</sup> Dr., IHPS, e-naslov: barbara.ceph@ihps.si

with precipitation, as well as other nutrients (2–4 kg/ha Ca, less than 1 kg/ha Mg and K, 1–4 kg/ha Na annually).

**Key words:** wet deposition, precipitation, plant nutrients, sulphur, nitrogen

## 1 UVOD

Človekove dejavnosti v prejšnjih desetletjih, predvsem uporaba fosilnih goriv, so povzročale naglo povečanje emisij dušika v zrak (Neff in sod., 2002). To je bil v preteklosti velik okoljski problem (Wałaszek in sod., 2013). Dušikovi oksidi imajo namreč negativne učinke na ekosistem, vplivajo na zakisovanje tal in povzročajo izgubo biodiverzitete, po drugi strani pa ima depozicija dušika pozitiven učinek na ohranjanje produktivnosti rastlin, saj se z vnosom dušika poveča količina dušika v tleh in rastlinah (Zhu in sod., 2015).

Tudi prekomerna depozicija žveplovih oksidov vpliva na zakisovanje tal in vode, negativne posledice pa se odražajo na vodnih ekosistemih ter na poškodovanosti gozdov, kmetijskih rastlin in druge naravne vegetacije (ARSO, 2018). Po drugi strani pa je tudi to pomembno rastlinsko hranilo. Tudi kalcij, magnezij in kalij so pomembna rastlinska hranila, natrij pa je v prehrani rastlin problematičen zaradi fitotoksičnosti in zaslanjevanja tal.

Izpusti snovi, ki povzročajo zakisovanje in evtrofikacijo, se od leta 1990 naprej zmanjšujejo. V obdobju 1990–2019 so se v Sloveniji zmanjšali za 80 %. Snovi, ki povzročajo zakisovanje, so žveplovci ( $\text{SO}_x$ ) in dušikovi oksidi ( $\text{NO}_x$ ) ter amonijak ( $\text{NH}_3$ ), dušikovi oksidi in amonijak pa povzročajo tudi evtrofikacijo (ARSO, 2021). Izpusti žveplovih oksidov so se zmanjšali za skoraj 100 %. Po letu 2006 v Sloveniji ni bilo zabeleženih preseganj vrednosti žveplovega dioksida v zraku. Izboljšanje stanja glede izpustov  $\text{SO}_2$  v zadnjem desetletju gre pripisati uvajanju tekočih goriv z nižjo vsebnostjo žvepla, nadomeščanju tekočih in trdnih goriv z zemeljskim plinom v industriji, pa tudi vgraditvi razžvepljevalnih naprav v večjih onesnaževalcih, npr. termoelektrarnah (ARSO, 2021). Tudi izpusti dušika so se v obdobju 1990–2017 zmanjšali; izpusti dušikovih oksidov za 60 %, izpusti amonijaka pa za 20 %. Izpusti amonijaka so se v zadnjih 30 letih zmanjšali predvsem zaradi zmanjšane staleža goveje živine (ARSO, 2021).

V prispevku smo predstavili količino različnih snovi ( $\text{SO}_4^{2-}$ -S,  $\text{NH}_4$ -N,  $\text{NO}_3$ -N,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), ki so padle na tla s padavinami v različnih obdobjih. Primerjali smo obdobje 1997–2000 z obdobjem zadnjih 4 let (2018–2021).

## 2 MATERIAL IN METODE

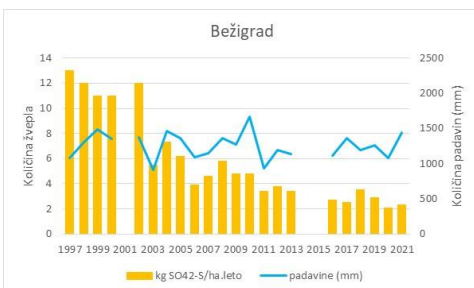
Iz letnih poročil Agencije RS za okolje (ARSO, 2022) smo po merilnih postajah, ki jih le-ta uporablja, povzeli podatke o vsebnosti različnih anorganskih snovi ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) v padavinah ter letne količine padavin. S pomočjo teh podatkov smo izračunali količino posameznih hranil na hektar (mokra depozicija v kg/ha).

Za obdobje 1997–2000 smo se osredotočili na tri lokacije, in sicer na Bežigrad, ki je na urbanem območju v Ljubljani, Iskrbo, ki leži na manj urbanem območju na Kočevskem, ter Rakičan, ki je na izrazito kmetijskem območju v bližini Murske Sobote. Za preračun glede mokre depozicije v zadnjih letih pa smo uporabili podatke s petih lokacij (Bežigrad, Iskrba, Rakičan, Škocjan na Dolenjskem in Rateče na Gorenjskem), kjer ARSO trenutno izvaja meritve.

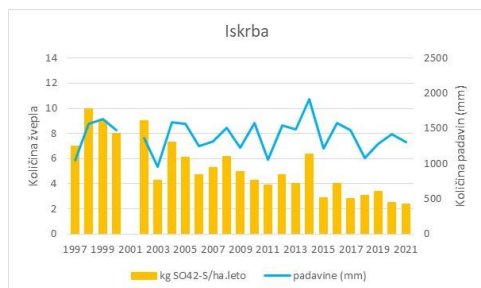
## 3 REZULTATI

### 3.1 Mokra depozicija žvepla

Najbolj očiten padec mokre depozicije žvepla v obdobju od leta 1981 do 1994 je bil na urbanem območju; v Bežigradu je mokra depozicija  $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$  padla za približno 60 kg - s približno 90 kg/ha v letu 1981 na 30 kg/ha v letu 1994 (Čeh, 1996). V naslednjem obdobju, med letoma 1997–2021, je v Bežigradu (slika 1) mokra depozicija  $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$  padla za 82 % - s 13 kg na 2,3 kg/ha letno. Padec je bil očiten tudi v manj urbanem območju; v Iskrbi (slika 2) je mokra depozicija žvepla padla za 66 %, in sicer s 7 kg na 2,4 kg/ha S letno. Na obeh območjih je bilo v letu 2021 občutno več padavin kot leta 1997, kljub temu pa je količina žvepla opazno padla, kar še dodatno nakazuje manjšo količino žvepla v zraku.

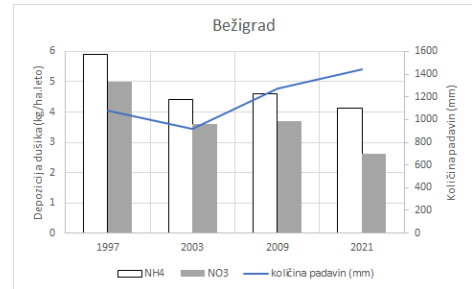
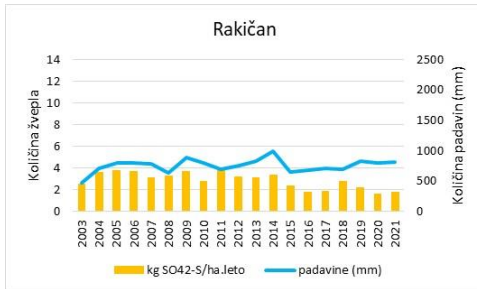


**Slika 3:** Mokra depozicija žvepla v letih 1997–2021 na merilnem mestu Bežigrad



**Slika 4:** Mokra depozicija žvepla v letih 1997–2021 na merilnem mestu Iskrba

Če primerjamo podatke med preučevanima obdobjema na lokaciji na kmetijskem območju (Rakičan), ugotovimo, da pa je bilo leto 2004 po količini padavin (708 mm) primerljivo z letom 2021 (820 mm), depozicija žvepla pa je bila v letu 2021 glede na leto 2004 za 50 % manjša; z že tako nizkih 3,6 kg/ha se je zmanjšala na 1,8 kg/ha S letno (slika 3).



**Slika 5:** Mokra depozicija žvepla v letih 2003–2021 na merilnem mestu Rakičan

**Slika 6:** Mokra depozicija dušika v letih 1997–2021 na merilnem mestu Bežigrad

V preglednici 1 so predstavljeni podatki o mokri depoziciji žvepla v obdobju 2018–2021 na petih lokacijah. Mokra depozicija žvepla je bila med 2 in 3 kg/ha letno, kar sicer delno pokrije določene potrebe kmetijskih rastlin, v večini primerov pa je žveplo potrebno dodajati z gnojenjem. Raziskave na IHPS so na primer pokazale, da je odvzem žvepla pri hmelju okoli 8 kg/ha S letno (IHPS, 2020).

**Preglednica 1:** Letno povprečje mokre depozicije dušika in žvepla (v kg/ha letno) v obdobju 2018–2021

	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S
Iskrba	2,9	2,5	2,8
Bežigrad	4,2	2,6	2,7
Škocjan	3,5	3,2	2,9
Rateče	3,0	2,1	2,1
Rakičan	3,4	1,9	2,1
Povprečje	3,4	2,5	2,5

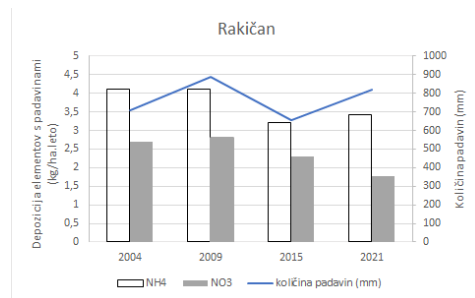
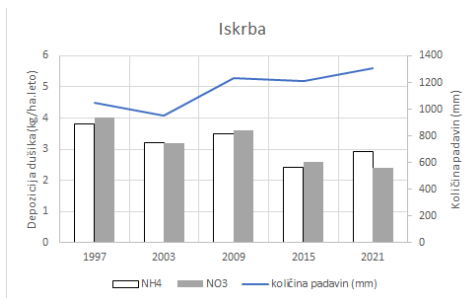
V preglednici 2 sta predstavljeni mokri depoziciji dušika in žvepla v obdobjih 1997–2000 ter 2018–2021 na dveh lokacijah (Bežigrad in Iskrba). Mokra depozicija dušika se je v obdobju 2018–2021 glede na obdobje 1997–2000 precej zmanjšala. Še bolj očitno pa je zmanjšanje mokre depozicije žvepla; padec je nekajkrat na obeh merilnih mestih.

**Preglednica 2:** Letno povprečje mokre depozicije dušika in žvepla (v kg/ha letno) v obdobju 2018–2021

	Bežigrad			Iskrba		
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> S	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> S	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
1997–2000	11,8	6,6	5,8	8,5	5,2	4,8
2018–2021	2,7	4,2	2,6	2,9	2,9	2,4

### 3.2 Mokra depozicija dušika

V Sloveniji je padlo v obdobju 1980–1994 v povprečju s padavinami med 9 in 18 kg/ha N letno (Kvar, 1997). Cape in sod. (2012) poročajo, da je mokra depozicija amonijske oblike dušika v Evropi med 0,3–6,5 kg/ha letno, mokra depozicija dušika nitratnega izvora pa med 0,6–4,0 kg/ha letno. Tudi podatki z merilnih mest v Sloveniji so v tem območju. Mokra depozicija dušika amonijakalnega izvora se je na merilnem mestu Bežigrad (slika 4) zmanjšala z zaokroženo 6 kg/ha na leto v letu 1997 na 4 kg/ha na leto v letu 2021, v Iskrbi (slika 5) pa s 4 kg na 3 kg/ha na leto. Še za več se je zmanjšala mokra depozicija dušika nitratnega izvora, in sicer v Bežigradu s 5 kg na 3 kg/ha v enem letu, v Iskrbi pa s 4 kg na 2 kg/ha na leto. Na kmetijskem območju v Rakičanu (slika 6) velikih razlik ni bilo; v letu 2021 se je glede na leto 2004 mokra depozicija dušika amonijakalnega izvora zmanjšala s 4 kg na 3 kg/ha na leto, mokra depozicija dušika nitratnega izvora pa s 3 kg na 2 kg/ha na leto.



**Slika 7:** Mokra depozicija dušika v letih 1997–2021 na merilnem mestu Iskrba

**Slika 8:** Mokra depozicija dušika v letih 1997–2021 na merilnem mestu Rakičan

Mokra depozicija dušika v obdobju 2018–2021 na nobeni od petih lokacijah ne presega 10 kg/ha letno (preglednica 1). V povprečju je bila skupna mokra depozicija dušika z NH<sub>4</sub> in NO<sub>3</sub> le 6 kg/ha letno, kar nakazuje boljše kvaliteto zraka, hkrati pa se je potrebno zavedati, da je vnos dušika preko mokre depozicije zanemarljiv za prehrano rastlin v kmetijstvu.

### 3.3 Mokra depozicija drugih elementov

Preglednica 3 prikazuje mokro depozicijo drugih elementov, ki so pomembni za kmetijsko proizvodnjo ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) na petih merilnih mestih. Mokra depozicija kalcija je okoli 2–4 kg/ha letno, letne količine depozicije magnezija in kalija so manjše od 1 kg/ha, količina natrija pa je okoli 1–4 kg/ha letno. Med urbanim in kmetijskih okoljem ni večjih razlik. Če primerjamo te podatke s potrebami rastlin, ugotovimo, da so količine elementov z mokro depozicijo za rast in razvoj rastlin zanemarljive. Letni odvzem s hmeljem je na primer 80 kg/ha K in 25–30 kg/ha Mg (Čeh in sod., 2019), letni odvzem kalcija s kulturnimi rastlinami okoli 100–130 kg/ha (Mihelič in sod., 2010).

**Preglednica 3:** Mokra depozicija  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  (v kg/ha) in količina padavin (mm) v letu 2021

	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	Količina padavin (mm)
Iskrba	3,9	0,7	3,7	0,5	1310
Bežigrad	3,8	0,6	3,0	0,5	1442
Škocjan	4,2	0,7	3,7	0,5	970
Rateče	3,6	0,5	1,4	0,5	1442
Rakičan	2,0	0,3	0,8	0,5	820

## 4 ZAKLJUČEK

Trend zmanjševanja vsebnosti elementov v zraku je vzpodbuden za kakovost zraka ter s tem okolja. Z vidika kmetijske pridelave pa se je potrebno zavedati, da s padavinami v Sloveniji pade le zanemarljiva količina hranil, ki so potrebni za rast in razvoj rastlin. V obdobju 2018–2021 je letno padlo med 3 in 4 kg/ha dušika v amonijski ter med 2 in 3 kg/ha dušika v nitratni obliki glede na merilno lokacijo.

Sedanje količine elementov, ki padejo s padavinami, so za kmetijsko proizvodnjo premajhne, da bi kakorkoli vplivale na rast in razvoj rastlin. Predvsem je treba biti pozoren na gnojenje z žveplom, katerega je pred 20 in več leti s padavinami padlo še dovolj, da se je povsem ali vsaj delno pokrilo potrebe kmetijskih rastlin po tem hranilu (med 9 in 12 kg/ha letno glede na merilno lokacijo), v zadnjih letih pa je njegova vsebnost v padavinah precej manjša in s tem tudi njegova mokra depozicija (med 2 in 3 kg/ha letno glede na merilno lokacijo).

## 5 VIRI

ARSO. 2018. Onesnaženost zraka z žveplovim dioksidom. Dostopno na: <http://kazalci.arslo.gov.si/sl/content/onesnazenost-zraka-z-zveplovim-dioksidom-5>

- ARSO. 2021. Izpusti snovi, ki povzročajo zakisovanje in evtrofikacijo. Dostopno na: <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/izpusti-snovi-ki-povzrocajo-zakisovanje-evtrofikacijo-1>
- ARSO. 2022. Kakovost zraka-letna poročila. Dostopno na: [https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost\\_letna.html](https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost_letna.html)
- Cape, J. N., Tang, Y. S., González-Beníez, J. M., Mitošinková, M., Makkonen, U., Jocher, M., & Stolck, A. Organic nitrogen in precipitation across Europe. *Biogeosciences*. 2012; 9(11): 4401-4409.
- Čeh, B. Vpliv in pomen za kmetijstvo relevantnih kemičnih elementov v padavinah v Sloveniji. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. 1996; 60 str.
- Čeh, B., Čremožnik, B., & Luskar, M. O. Nutrients uptake with hop (*Humulus lupulus* L.) as the basis for fertilization rate determination and hop biomass after harvest related to variety. *Novi izzivi v agronomiji 2019, Laško, Slovenija, 31. januar in 1. februar 2019. Zbornik simpozija*, 63-69.
- IHPS. 2020. Tehnologije pridelave in predelave hmelja. Končno poročilo za leto 2019. Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije (Žalec). Dostopno na: [http://www.ihps.si/wp-content/uploads/2016/08/Tehnologija-pridelave-in-predelave-hmelja-2019\\_KON%C4%8CNO-poro%C4%8Dilo\\_splet.pdf](http://www.ihps.si/wp-content/uploads/2016/08/Tehnologija-pridelave-in-predelave-hmelja-2019_KON%C4%8CNO-poro%C4%8Dilo_splet.pdf)
- Kvar, T. Vpliv in pomen dušikovih spojin v padavinah v Sloveniji na pridelavo kmetijskih rastlin. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. 1997; 95 str.
- Neff, J. C., Holland, E. A., Dentener, F. J., McDowell, W. H., & Russell, K. M. The origin, composition and rates of organic nitrogen deposition: a missing piece of the nitrogen cycle? *Biogeochemistry*. 2002; 57(1): 99-136.
- Mihelič, R., Čop, J., Jakše, M., Štampar, F., Majer, D., Tojnko, S., & Vršič, S. Smernice za strokovno utemeljeno gnojenje. *Ljubljana: Ministry of Agriculture, Forestry and Food of Republic of Slovenia*. 2010; 1-184.
- Wałaszek, K., Kryza, M., & Dore, A. J. The impact of precipitation on wet deposition of sulphur and nitrogen compounds. *Ecological Chemistry and Engineering*. 2013; 20(4): 733-745.
- Zhu, J., He, N., Wang, Q., Yuan, G., Wen, D., Yu, G., & Jia, Y. The composition, spatial patterns, and influencing factors of atmospheric wet nitrogen deposition in Chinese terrestrial ecosystems. *Science of the Total Environment*. 2015; 511: 777-785.