

Ta članek je objavljen pod licenco Creative Commons [Priznanje avtorstva-Deljenje pod enakimi pogoji 4.0 Mednarodna](#).

USMERJENO VZORČENJE PODTALNIH IN PITNIH VODA NA AKTIVNE SNOVI PESTICIDOV IN NJIHOVIH RAZGRADNIH PRODUKTOV V LETU 2024

Primož BUKOVEC¹, Tanja FATUR² in Žan TROŠT³

Tipologija / Article type: Strokovni članek / Professional article

Prispelo / Arrived: 25. 10. 2025

Sprejeto / Accepted: 22. 11. 2025

Objavljeno / Published: December 2025

Izvleček

V okviru strokovne naloge smo spremljali vsebnost aktivnih snovi v FFS in njihovih razgradnih produktov v podzemnih vodah Slovenije. Na ostanke aktivnih snovi je bilo pregledanih 34 vzorcev podtalne vode in 7 vzorcev pitne vode, odvzetih na več lokacijah na treh območjih, in sicer v Savinjski kotlini (sedem odvzemnih mest), Dravski kotlini (sedem odvzemnih mest) in Murski kotlini (deset odvzemnih mest). Izbrana mesta za vzorčenje podtalnice so bila določena na podlagi hidrogeoloških in pedoloških značilnosti ter kmetijskih praks na posameznem območju. Ta mesta predstavljajo najbolj kritične točke za spiranje pesticidov v podzemno vodo, saj izpolnjujejo ključne kriterije, ki povečujejo tveganje za kontaminacijo. Vsak vzorec vode je bil analiziran na več kot 500 komponent fitofarmaceutskih sredstev (aktivne snovi in metaboliti). V vseh analiziranih vzorcih podtalne vode je bilo zaznanih 20 različnih aktivnih snovi oz. njihovih metabolitov, kar predstavlja okoli 3 % vseh analiziranih komponent. V vseh analiziranih vzorcih pitne vode pa je bilo zaznanih le 6 različnih komponent aktivnih snovi oz. njihovih metabolitov, kar predstavlja manj kot 1 % od vseh analiziranih komponent. Vzorčenje in analiza izbranih podtalnih in pitnih voda v delih Slovenije, kjer se izvaja najintenzivnejša kmetijska pridelava na najranljivejših tleh za spiranje v podtalnico, sta pokazala, da imamo na teh območjih kmetijske dejavnosti relativno malo ostankov aktivnih snovi. Raziskave na področju podzemnih voda se bodo nadaljevale in po potrebi bomo dodali v program še nove aktivne snovi in metabolite FFS.

Ključne besede: monitoring podzemnih voda, pesticidi, metaboliti, pitna voda, aktivne snovi v FFS

TARGETED SAMPLING OF GROUNDWATER AND DRINKING WATER FOR ACTIVE SUBSTANCES OF PESTICIDES AND THEIR DEGRADATION PRODUCTS IN 2024

Abstract

As part of the professional assignment, we monitored the content of active substances in PPP and their degradation products in the groundwater of Slovenia. 34 groundwater samples and 7 drinking water samples were examined for active substances residues, taken at several locations in three areas, namely the Savinja Basin (seven sampling points), the Drava Basin (seven sampling points) and the Mura Basin (ten sampling points). The selected groundwater sampling sites were determined based on the hydrogeological and pedological characteristics and agricultural practices in the individual area. These sites represent the most critical points for pesticide leaching into groundwater, as they meet key criteria that increase the risk of contamination. Each water sample was analyzed for more than 500 components of plant protection products (active substances and metabolites). In all analyzed groundwater samples, 20 different active substances or their metabolites were detected, which represents around 3% of all analyzed components. In all analyzed drinking water samples, only 6 different components of active substances or their metabolites were detected, which represents less than 1% of all analyzed components. Sampling and analysis of selected groundwater and drinking water in parts of Slovenia where the most intensive agricultural production is carried out on soils most vulnerable to leaching into groundwater have shown that these areas of agricultural activity have relatively few active substances residues. Research in the field of groundwater will continue and, if necessary, new active substances and metabolites of PPP will be added to the program.

Key words: groundwater monitoring, pesticides, metabolites, drinking water, active substances in PPP

¹ Univ. dipl. inž. kmet., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije (IHPS), e-pošta: primoz.bukovec@ihps.si

² Dr., Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ), e-pošta: tan.fatur@nijz.si

³ Mag.inž.hort., IHPS, e-pošta: zan.trost@ihps.si

1 UVOD

Slovenija ima precejšnje zaloge podzemnih voda, iz katerih se oskrbuje okoli 97 % prebivalcev. Podzemne vode so pomembne za namakanje v kmetijstvu, kot tehnološke vode za potrebe industrije, vode iz globljih vodonosnikov pa za zdraviliški turizem in kot mineralne vode. V Sloveniji imamo tri pomembnejše tipe vodonosnikov: vodonosnike z medzrnsko poroznostjo v ravninskih delih rečnih dolin, razpoklinske vodonosnike pretežno v dolomitnih plasteh in kraške vodonosnike v plasteh apnenca na Krasu, Notranjskem, Julijskih in Kamniško-Savinjskih Alpah (ARSO, 2011). V študiji smo se osredotočili na vodonosnike v ravninskih delih rečnih dolin, kjer prevladuje kmetijstvo, ter je tam povečana raba fitofarmacevtskih sredstev. Registracijo fitofarmacevtskih sredstev na območju Republike Slovenije izvaja Uprava RS za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin, ki je organ v sestavi Ministrstva za kmetijstvo gozdarstvo in prehrano. Ker fitofarmacevtska sredstva lahko predstavljajo onesnaževala za vire podzemne vode (predvsem v primeru, ko se jih uporablja v nasprotju z dovoljenjem ali se uporablja fitofarmacevtska sredstva, ki niso registrirana), je v postopku ocenjevanja FFS, vpliv na podzemno vodo eno od ključnih tveganj, ki se jih ocenjuje in ovrednoti njihovo sprejemljivost ali nesprejemljivost. V postopku ocenjevanja tveganja za podzemno vodo se tveganje ovrednoti na podlagi matematičnega modela, ki vključuje lastnosti posameznega FFS, vplive okolja ter same predlagane rabe. Pri višjih stopnjah tveganja za podzemne vode pa obstaja možnost uporabe rezultatov monitoringa podzemnih voda.

2 MATERIAL IN METODE

V tem usmerjenem programu monitoringa podzemnih voda smo preučili le vir onesnaženja s področja rabe fitofarmacevtskih sredstev v kmetijstvu. V študiji smo uporabili že obstoječo mrežo merilnih mest, ki jo upravlja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Načrtovana je tako, da omogoča pregled kemijskega stanja podzemne vode in da zazna pojav dolgoročnih trendov za parametre, na katere vpliva človekova dejavnost oziroma so posledica človekove dejavnosti. Omenjena mreža merilnih mest za oceno kemijskega stanja podzemnih voda je bila zasnovana na podlagi konceptualnih modelov vodnih teles podzemnih voda, to pomeni, da temelji na hidrogeoloških značilnostih vodonosnikov in na problematiki onesnaženja. Merilna mreža vključuje črpališča pitne vode, črpališča za tehnološko vodo, privatne vodnjake ter avtomatske merilne postaje. Mesta za vzorčenje so bila zato izbrana na podlagi celovite analize zgoraj omenjenih dejavnikov, kar omogoča natančno spremljanje najbolj kritičnih točk za spiranje pesticidov v podzemno vodo. Za analizo podtalne vode je bilo odvzetih 17 vzorcev v mesecu juniju in novembru 2024, ter 7 vzorcev pitne vode v mesecu novembru. Vzorčenje je v vseh primerih opravila pooblaščen organizacija, ki že izvaja nacionalni monitoring podtalnih voda (Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano - NLZOH). Vzorci za analizo so bili odvzeti v enakem hidrološkem stanju, kot ga pri nacionalnem monitoringu podtalnice določi Agencija RS za okolje in v skladu s standardom SIST ISO 5667-11 (SIST ISO, 2025). Kemijsko analizo pobranih vzorcev podtalnice je opravil nemški laboratorij Eurofins SOFIA Berlin. Vsak posamezni vzorec podzemne vode je bil analiziran na 632 aktivnih snovi fitofarmacevtskih sredstev in njihovih razgradnih produktov. Uporabljenih je bilo 5 multirezidualnih metod in tri analitske metode za določanje posameznih metabolitov (DMS (N,N-dimethylsulfamide), DMSA (N,N-dimethylsulfamic acid) in TFA (trifluoroacetic acid)). Meja kvantifikacije (LOQ) se je glede na komponento, ki so jo analizirali, razlikovala. Njena vrednost je bila med 0,01 µg/L in 0,1 µg/L. Lokacije vzorčnih mest za pitno in podzemno vodo so navedene v preglednicah 1 in 2, vizualno pa so prikazane na slikah 1, 2 in 3.

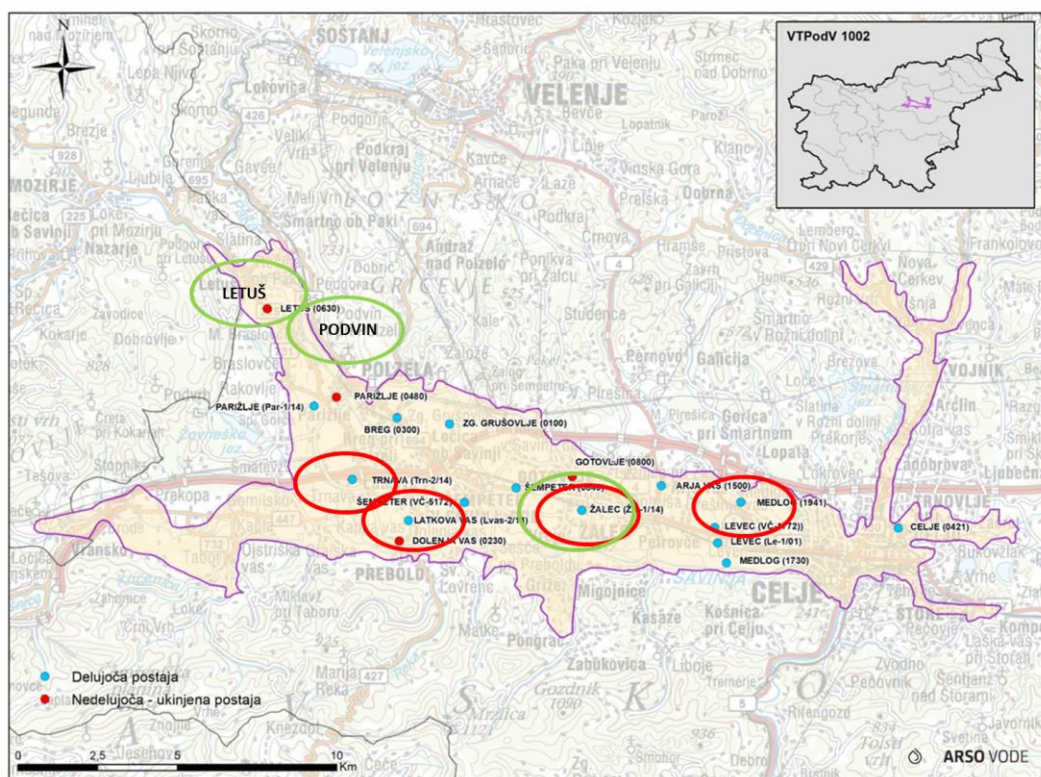
Preglednica 1: Lokacije vzorčnih mest za pitno vodo

Ime lokacije
Vrtina Vrbje 5
Črpališče Podvin 1
Črpališče Letuš
Kmetija Plečko, Podova, Rače
Vrtec Apače
Vrtec Gančani
Vrtec Ljutomer

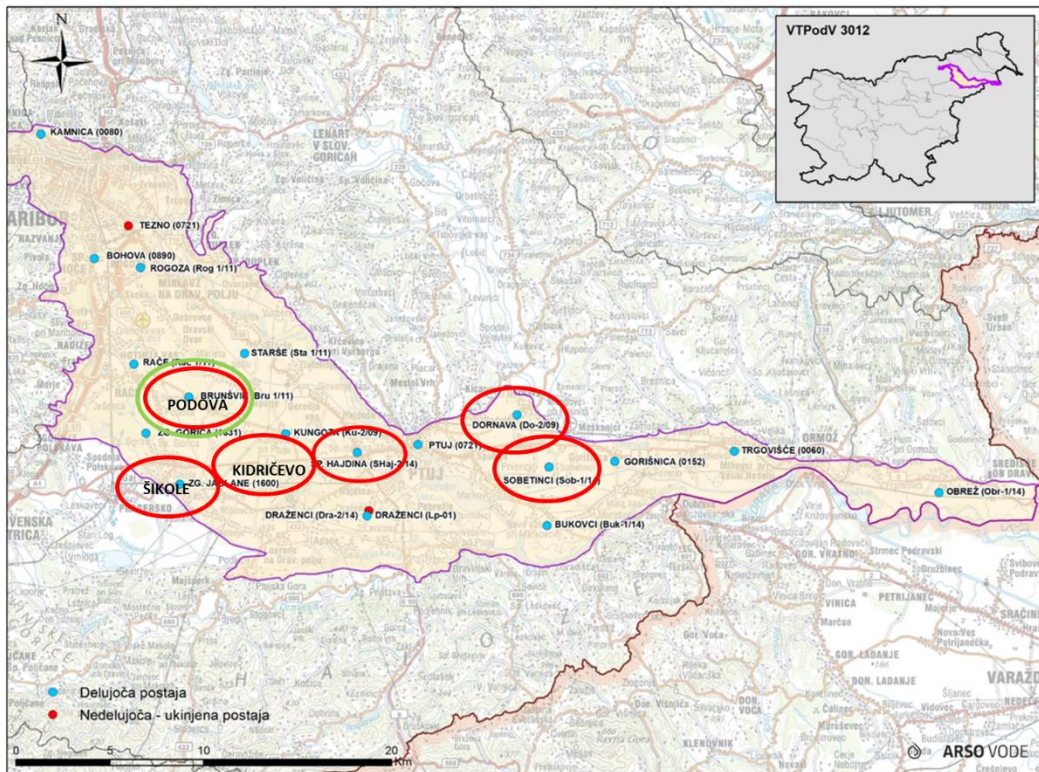
Preglednica 2: Lokacije vzorčnih mest za podtalno vodo

Ime lokacije	Koordinata X	Koordinata Y	Globina do gladine podzemne vode (m)
ŽALEC Žal 1/14	122795	512748	1-2
MEDLOG, vodnjak A	121358	517757	2
LATKOVA VAS Lvas-1/14	122467	507307	5
TRNAVA Trn-1/14	123755	505547	4
SOBETINCI Sob-1/14	140794	574744	5
PODOVA Pod-1/10	144526	555552	/
SPODNJA HAJDINA SHaj-1/14	141564	564525	8
DORNAVA (Do-1/09)	143579	573030	4-5
ŠIKOLE 1581	141130	555386	/
KIDRIČEVO 2571	140528	560725	/
MALI SEGOVCI MSeg-1/14	172015	570589	3-4
RAKIČAN (Ra-1/09)	168250	591544	3-4
GANČANI Gan-1/14	165800	595041	3
ODRANCI (Od-1/09)	161730	598458	1-2
LUKAVCI V3	156022	587601	/
VEŠČICA (Ve-1/09)	154572	596759	2
BENICA Ben-1/14	152572	616225	2-3

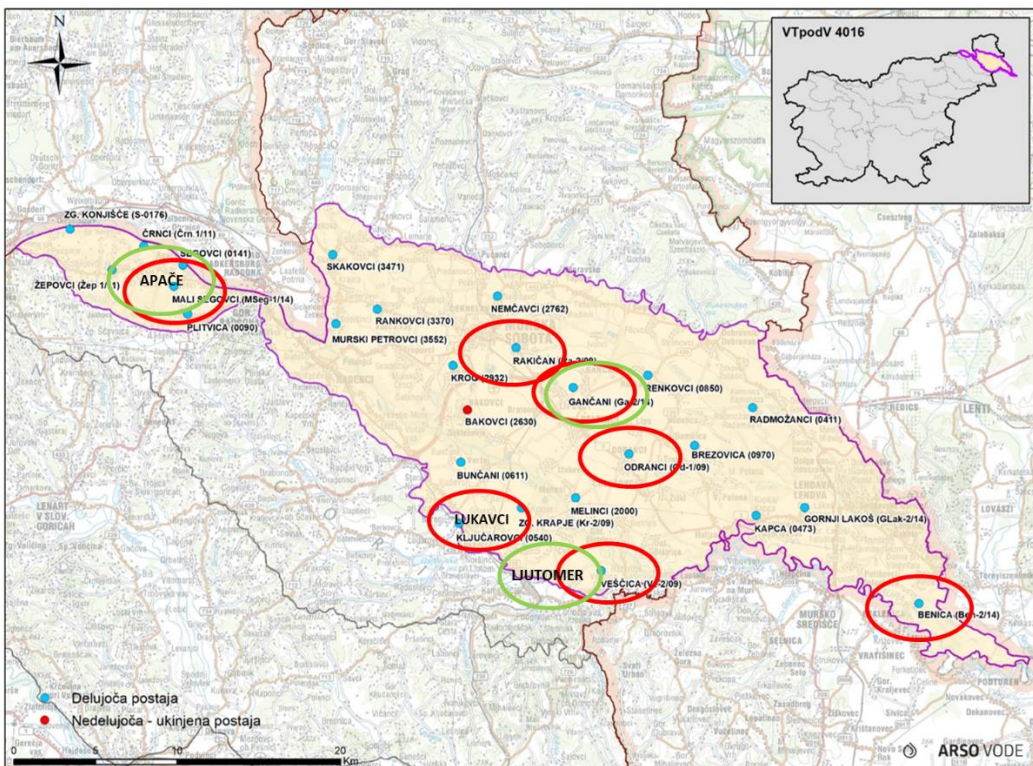
Na slikah 1, 2 in 3 so označena vsa mesta vzorčenja glede na lokacijo. Mesta odvzema podzemne vode so označena z rdečo, mesta odvzema pitne vode pa z zeleno barvo.



Slika 1: Merilna mesta v Savinjski kotlini



Slika 2: Merilna mesta v Dravski kotlini



Slika 3: Merilna mesta v Murski kotlini

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

Rezultati analiz so predstavljeni v naslednjih preglednicah 3 in 4, ločeno glede na čas odvzema vzorca (junij in november). V obeh terminih je bilo odvzetih 17 vzorcev podzemne vode (skupaj 34), vzorci pitne vode pa so bili odvzeti v novembru, skupaj 7 vzorcev.

Preglednica 3: Pregled rezultatov analiz podzemne vode, vzorčene v juniju in novembru 2024

Komponenta*	Meja kvantifikacije (LOQ) [µg/L]	Število vzorcev, kjer je bila snov zaznana (Junij 2024)	Število vzorcev s preseganjem 0,1 µg/L *** (Junij 2024)	Število vzorcev, kjer je bila snov zaznana (November 2024)	Število vzorcev s preseganjem 0,1 µg/L *** (November 2024)	Najvišja izmerjena koncentracija** [µg/L]
Atrazine	0,03 - 0,05	9	2	6	1	0,220
Atrazin, desethyl	0,05	7	4	7	3	0,140
Atrazine desethyl desisopropyl	0,05	1	1	4	1	0,180
Dimethachlor CGA 369873	0,02	4	0	3	0	0,045
Dimethachlor CGA 373464	0,02	0	0	1	0	0,029
Dimethachlor ethane sulfonic acid	0,02	1	0	1	0	0,025
Metolachlor CGA 368208	0,02	7	2	5	1	0,150
Metolachlor ethanesulfonic acid (ESA)	0,02	14	13	14	13	2,300
Metolachlor NOA 413173	0,02	11	6	10	8	0,510
Chloridazon. methyl desphenyl-	0,01	16	9	14	9	1,900
Chloridazon desphenyl	0,02	14	13	14	13	4,700
Metazachlor ethanesulfonic acid	0,02	3	1	3	1	0,330
Metazachlor oxanilic acid	0,02	1	0	1	0	0,044
Dimethylsulfamide (DMS)	0,10	2	0	1	1	0,390
Metribuzin	0,03	1	0	0	0	0,080
Prometryn	0,05	1	0	1	0	0,140
Nicosulfuron	0,05	1	1	2	1	0,240
Trifluoroacetic acid (TFA)	0,05	-	-	17	17	2,500

* v preglednici so prikazane samo tiste aktivne snovi in metaboliti fitofarmacevtskih sredstev, ki so jih izvedene kemijske analize zaznale v vzorcih vode. Imena aktivnih snovi in metabolitov so zaradi izogibanja napak pri prevajanju zapisana v angleškem jeziku

** najvišja zaznana koncentracija v juniju ali novembru 2024

*** mejna vrednost 0.1 µg/L, predstavlja standard kakovosti in vrednosti praga po Uredbi o stanju podzemnih voda (Uradni list RS, št.25/09, 68/12 in 66/16), ki razmejuje dobro oziroma slabo kemijsko stanje podzemne vode

V analiziranih vzorcih podzemne in vode, so bile ugotovljene naslednje komponente:

Atrazine, Desethyl atrazine, Atrazine-desethyl-desisopropyl, Metalaxyl CGA 108906, Dimetachlor CGA 369873, Dimethachlor ethane sulfonic acid, Dimetachlor CGA 373464, Metolachlor CGA 368208, Metolachlor Ethanesulfonic acid (ESA), Metolachlor NOA 413173, Chloridazon methyl-desphenyl, Chloridazon-desphenyl,

Metazachlor ethanesulfonic acid, N,N-Dimethylsulfamide (DMS), Metribuzin, Prometryn, Nicosulfuron, in Trifluoroacetic acid (TFA).

Preglednica 4: Pregled analiz pitne vode, vzorčene v novembru 2024

Komponenta*	Meja kvantifikacije (LOQ) [µg/L]	Število vzorcev, kjer je bila snov zaznana	Število vzorcev s preseganjem 0,1 µg/L***	Najvišja izmerjena koncentracija** [µg/L]
Atrazine	0,03 - 0,05	1	0	0,071
Metolachlor ethanesulfonic acid (ESA)	0,02	3	3	0,390
Metolachlor NOA 413173	0,02	1	0	0,033
Chloridazon, methyl-desphenyl-	0,01	2	1	0,160
Chloridazon-desphenyl	0,02	3	1	0,430
Trifluoroacetic acid (TFA)	0,05	7	7	1,800

* V preglednici so prikazane samo tiste aktivne snovi in metaboliti fitofarmacevtskih sredstev, ki so jih izvedene kemijske analize zaznale v vzorcih vode. Imena aktivnih snovi in metabolitov so zaradi izogibanja napak pri prevajanju zapisana v angleškem jeziku.

** Najvišja zaznana koncentracija.

*** mejna vrednost 0.1 µg/L, predstavlja standard kakovosti in vrednosti praga po Uredbi o stanju podzemnih voda (Uradni list RS, št.25/09, 68/12 in 66/16), ki razmejuje dobro oziroma slabo kemijsko stanje podzemne vode

V analiziranih vzorcih pitne vode so bile ugotovljene naslednje aktivne snovi in metaboliti:

Atrazine, Metolachlor Ethanesulfonic acid (ESA), Metolachlor NOA 413173, Chloridazon methyl-desphenyl, Chloridazon-desphenyl in Trifluoroacetic acid (TFA).

Atrazine je v Sloveniji prepovedan od leta 2003, vendar se na določenih točkah, predvsem v Dravski kotlini in Murski kotlini še vedno pojavlja tako atrazin, kot desethyl atrazine in atrazine-desethyl-desisopropyl. Ocenjujemo, da je to še vedno posledica rabe iz preteklosti. Atrazine je razvrščen kot alergen v stiku s kožo in škodljiv za posamezne organe po ponavljajoči izpostavljenosti (Uredba 1272/2008, 2008). Za atrazine in njegove kloro-S-triazinske metabolite, kamor sodita tudi desethyl atrazine in atrazine-desethyl-desisopropyl, so po pregledu vseh razpoložljivih študij, s poudarkom na študijah rakotvornosti, strupenosti za razvoj in razmnoževanje teh študijah lastnosti kemičnih motilcev hormonskega sistema, določili skupno vrednost ADI (sprejemljiv dnevni odmerek) 0,02 mg/kg tm/dan (Atrazine 37–138 JMPR 2007, vključeno v Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition, WHO/HSE/WSH/10.01/11/Rev/1, 2011). Najvišja izmerjena koncentracija atrazina v podtalnici je bila 0,22 µg/L, desethyl atrazina 0,14 µg/L in atrazine-desethyl-desisopropyla 0,11 µg/L. Ocena tveganja je pokazala, da atrazin in njegovi metaboliti v podzemni vodi predstavljajo le nizek delež sprejemljivega dnevnega vnosa. Ocenjena izpostavljenost je bila pri najvišji koncentraciji atrazina manj kot 0,3 % ADI.

V primeru aktivne snovi S-metolachlor, ki od leta 2024 ni več registriran v Sloveniji in je bil registriran kot herbicid v koruzi, so bili ugotovljeni v vzorcih podzemne vode 3 metaboliti in sicer CGA 368208, Ethanesulfonic acid (ESA) in NOA413173. Metabolit CGA 368208 je bil ugotovljen v 12 od 34 vzorcev, preseganje mejne vrednosti 0,1 µg/L je bilo ugotovljeno v treh vzorcih, najvišja izmerjena koncentracija je bila 0,15 µg/L. Metabolit Ethanesulfonic acid (ESA), je bil ugotovljen v 14 vzorcih podtalne vode junija in istih vzorcih tudi novembra. Junija je bila najvišja izmerjena koncentracija 2,3 µg/L, novembra 1,9 µg/L. V vzorcih odvzetih v obeh merilnih obdobjih je v 13 vzorcih koncentracija presegla 0,1 µg/L. Skupno je bil ugotovljen v 28 od 34 vzorcev podzemne vode, od tega je bilo preseganje mejne vrednosti 0,1 µg/L ugotovljeno v 26 vzorcih, najvišja izmerjena koncentracija je bila 2,3 µg/L. Metabolit ESA je bil ugotovljen tudi v vzorcih pitne vode, in sicer na 3 mestih od 7. Ugotovljen je bil na lokacijah Podova (0,39 µg/L), Apače (0,14 µg/L) in Gančani (0,14 µg/L). Za metabolit ESA, je značilno, da se razgrajuje počasneje od aktivne snovi, zato je značilno, da je v okolju precej dlje prisoten kot aktivna snov (je perzistentna v okolju) (EFSA, 2023a). Metabolit NOA413173, je bil ugotovljen v 21 od 34 vzorcev podzemne vode, od tega je bilo preseganje mejne vrednosti 0,1 µg/L bilo ugotovljeno v 14 vzorcih, najvišja izmerjena koncentracija je bila 0,51 µg/L. S potekom dovoljenja rabe v Sloveniji, računamo, da bodo koncentracije metabolitov upadle, kar rahlo nakazujejo tudi rezultati novembrskih analiz, kjer je bila koncentracija metabolita ESA jeseni v 8 primerih nižja in v 5 primerih višja kot izmerjena koncentracija spomladi. Podoben trend, upamo, da bo veljal tudi za oba preostala metabolita (CGA 368208 in NOA413173).

S-metolachlor je razvrščen kot rakotvoren 2. kategorije in alergen v stiku s kožo (EFSA, 2023b).

Skladno s smernico SANCO/221/2000 –rev.11 za določanje relevantnosti metabolitov v podtalnici so vsi metaboliti S-metolachlora relevantni, saj niso bili predloženi dokazi, da ne delujejo rakotvorno kot izhodna aktivna snov. Visok potencial spiranja metabolitov S-metolachlora v podtalnico in toksikološka relevantnost metabolitov sta botrovali sklepu Evropske komisije, da ne obnovi odobritve S-metolachlor v EU. Metabolit ESA ni genotoksičen. Za metabolit ESA genotoksičnega potenciala v okviru evropske presoje ni bilo moč ovreči, a je Francija v okviru nacionalne presoje ocenila dodatne študije, ki kažejo, da ESA ne deluje genotoksično. Z ESA so bile izvedene tudi dlje časa trajajoče študije na podganah in psih, ter študija razvojne toksičnosti pri podganah. Na podlagi rezultatov študij je bil za ESA predlagan sprejemljiv dnevni odmerek 0,2 mg/kg tm/dan. Pri oceni tveganja bomo uporabili bolj konzervativen pristop in upoštevali referenčno vrednost določeno za S-metolachlor, ki je nižja in sicer 0,03 mg/kg tm/dan in temelji na več študijah.

Tveganje za potrošnike zaradi prisotnosti metabolita ESA v podtalnici smo ocenili za več starostnih skupin po metodologiji, ki jo uporablja Svetovna zdravstvena organizacija (SZO), za dojenčke, mlajše otroke in odrasle upoštevajoč predpostavke v smernicah SZO o kakovosti pitne vode. Predpostavili smo, da dojenčki, ki jih ne dojijo, popijejo 0,75 L vode na dan, mlajši otroci 1 L in odrasle osebe 2 L vode na dan, pri čemer smo upoštevali telesno maso dojenčkov 5 kg, manjših otrok 10 kg in odraslih 60 kg. Tveganje smo ocenili za najvišjo izmerjeno koncentracijo metabolita v podtalnici, to je 2,3 µg/L. Ker smo v oceni upoštevali referenčno vrednost za aktivno snov S-metolachlor, smo upoštevali razliko v molski masi metabolita in aktivne snovi, ter tako določili ekvivalentno koncentracijo aktivne snovi. Molekulska masa S-metolachlora je 283,8 g/mol, ESA 329,4 g/mol. Iz tega sledi, da je ekvivalentna koncentracija aktivne snovi $1,3 \mu\text{g/L} ((2,3 \mu\text{g/L} \times 283,8 \text{ g/mol}) / 329,4 \text{ g/mol})$.

Metabolita CGA368208 in NOA413173 sta relevantna, ker izhajata iz aktivne snovi, ki je rakotvorna in nimamo dokazov, da ne delujeta rakotvorno. Ocenjena izpostavljenost metabolitoma je bila manj kot 1 % ADI. Iz tega je razvidno, da metabolita ne predstavljata upoštevanja vrednega tveganja za zdravje potrošnikov.

Chloridazon od leta 2010 ni več registriran v Sloveniji in od 2018 niti v EU, registriran pa je bil za rabo v sladkorni pesi, kot herbicid. Aktivna snov chloridazon ni bila ugotovljena v nobenem vzorcu podzemne vode. Sta pa bila ugotovljena 2 metabolita in sicer methyl desphenyl chloridazon, ter desphenyl chloridazon. Nobena od teh komponent ni toksikološko relevantna.

Metabolit methyl desphenyl chloridazon je bil ugotovljen v 30 od 34 vzorcev podzemne vode, od tega je bilo preseganje mejne vrednosti 0,1 µg/L ugotovljeno v 18 vzorcih, najvišja izmerjena koncentracija je bila 1,9 µg/L.

Metabolit desphenyl chloridazon, je bil ugotovljen v 28 od 34 vzorcev podzemne vode, od tega je bilo preseganje mejne vrednosti 0,1 µg/L ugotovljeno v 26 vzorcih, najvišja izmerjena koncentracija je bila 4,7 µg/L. Izvor metabolitov Chloridazona ni znan, saj je bila prepoved rabe v Sloveniji v veljavi že 14 let. Vzrok pojavljanja metabolitov v podtalni vodi je lahko v tem, da je obnašanje Chloridazona v okolju podobno obnašanju Atrazina (dolgotrajni proces razgradnje iz okolja), ali pa da se pojavlja nedovoljena raba sredstev na osnovi Chloridazona. Menimo, da je druga varianta manj verjetna. Sledi tudi nadaljnja analiza podatkov usode in obnašanja Chloridazona iz dosegljivih virov na EU nivoju, da se ugotovi, od kod ugotovljene koncentracije.

Tretja možnost pojavljanja Chloridazonovih metabolitov v podtalnih vodah pa bi lahko bilo tudi posledica nekmetske rabe, za kar pa trenutno še nimamo podatkov in zadevo raziskujemo.

Trifluoroacetic acid (TFA), je del skupine sintetičnih kemikalij, ki se obširno pojavljajo v industriji in potrošniških izdelkih (PFAS-per in poli fluorirane alkilne snovi). PFAS-i vsebujejo ogljik-fluoridne vezi, ki so med najmočnejšimi kemijskimi vezmi. Zaradi tega so odporne na razgradnjo v okolju in živih organizmih, kar vodi v njihovo kopičenje v okolju in živih tkivih. Glavni viri TFA so v kemični industriji, farmaciji, hladilni tehniki na vseh nivojih (industrija, kot hlajenje domov in avtomobilov), fitofarmaciji, veterini itd. TFA nastaja tudi pri razgradnji nekaterih aktivnih snovi fitofarmaceutskih sredstev in biocidnih proizvodov. Nedavne študije so zaznale prisotnost TFA v podtalnici po različnih evropskih državah, s koncentracijami v razponu od 0,37 µg/L do 3,3 µg/L, povprečno pa 1,18 µg/L. (EurEau, 2024). V Švici je pilotna študija, izvedena v letih 2022 in 2023, potrdila prisotnost TFA v podtalnici po celotni državi. Ugotovljene koncentracije so se zelo razlikovale, pri čemer so bile v kmetijskih območjih zaznane višje vrednosti, ki so dosegle do 5 µg/L. Izjemno visoke vrednosti, presežne 10 µg/L, so bile zabeležene v bližini območij čistilnih naprav, kjer se odvaja prečiščena industrijska odpadna voda (BAFU, 2025). V Franciji so bile koncentracije TFA v pitni vodi zabeležene do 2 µg/L, kar presega regulativno mejo 0,1 µg/L za aktivne snovi v FFS in njihove metabolite. To je povzročilo precejšnjo zaskrbljenost glede skladnosti kakovosti pitne vode (Le monde, 2024). V Nemčiji so dokazali prisotnost TFA v večini vodnih teles (German Environment Agency, 2023).

Za Slovenijo podatkov o koncentracijah TFA v podtalnih in pitnih vodah nismo imeli, zato smo ga vključili v nabor. Rezultati analiz so pokazali, da je bil TFA izmerjen v vseh vzorcih podtalne in pitne vode. Ugotovljene koncentracije v podtalnih vodah so se gibale od 0,28 µg/L do maksimalno 2,5 µg/L, v vzorcih pitne vode pa med 0,69 in 1,8 µg/L.

Zaenkrat na EU nivoju še ni harmoniziranega pristopa pri določitvi maksimalne dopustne koncentracije TFA v podtalni in pitni vodi. Na podlagi novih ugotovitev o vplivu TFA na razvoj in razmnoževanje je Evropska komisija zadoščila EFSA, da preuči, ali je trenutno določena vrednost ADI (0,05 mg/kg tm na dan) še vedno primerna za oceno tveganja za potrošnike.

4 ZAKLJUČKI

Glede na to, da je bilo analiziranih komponent v podzemni in pitni vodi 632, je bilo zaznanih le malo različnih aktivnih snovi oz. njihovih metabolitov. V vseh analiziranih vzorcih podtalne vode je bilo zaznanih le 20 različnih aktivnih snovi oz. njihovih metabolitov, oz. okoli 3 % vseh analiziranih komponent, v pitni vodi pa je bilo zaznanih 6 različnih komponent, oz. manj kot 1 % vseh analiziranih komponent.

V vseh analiziranih vzorcih podtalne vode, je bilo nad mejno vrednostjo 0,1 µg/L ugotovljeno le 11 komponent aktivnih snovi in njihovih metabolitov, kar predstavlja manj kot 2 % od vseh analiziranih komponent, v pitni vodi pa so bile nad mejno vrednostjo 0,1 µg/L ugotovljene le 4 komponente aktivnih snovi in njihovih metabolitov, kar predstavlja okoli 0,5 % od vseh analiziranih komponent.

Preseneča sicer prisotnost nekaterih aktivnih snovi, kot npr. chloridazon in njegovi metaboliti, katerega uporaba že dolgo ni več dovoljena v Sloveniji oz. EU, razlog pojavljanja le teh sicer še ni znan, verjetno pa gre za dolgotrajni proces razgradnje iz okolja.

Na podlagi teh rezultatov lahko zaključimo, da večjih težav z aktivnimi snovmi iz FFS v podzemni in pitni vodi na preučevanih območjih nimamo, kljub vsemu pa se bo v prihodnosti mreža vzorčevalnih mest razširila še na druga mesta po Sloveniji. Po potrebi bomo dodali v program še nove aktivne snovi in metabolite fitofarmaceutskih sredstev.

Zahvala

Zahvaljujemo se UVHVVR za financiranje strokovne naloge.

Dostopnost raziskovalnih podatkov

Podatki so na voljo pri odgovornem avtorju na utemeljeno zahtevo.

5 VIRI

ARSO. 2011. Program monitoringa stanja voda za obdobje 2010–2015, Agencija RS za okolje, Ljubljana.

BAFU. 2025. [TFA in groundwater](https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/water/groundwater/groundwater-quality/tfa-im-grundwasser.html) (https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/water/groundwater/groundwater-quality/tfa-im-grundwasser.html). Dostopano: 14.10.2025

EFSA. 2023a. [Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance S-metolachlor excluding the assessment of the endocrine disrupting properties](https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2023.7852) (https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2023.7852) Dostopano: 17.10.2025

EFSA. 2023b. [Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance S-metolachlor excluding the assessment of the endocrine disrupting properties](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9972551/) (https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9972551/). Dostopano: 17.10.2025

EurEau. 2024. [New study reveals alarming forever Chemical TFA concentrations in Europe's water](https://www.eureau.org/news/905-new-study-reveals-alarming-forever-chemical-tfa-concentrations-in-europes-water?) (https://www.eureau.org/news/905-new-study-reveals-alarming-forever-chemical-tfa-concentrations-in-europes-water?). Dostopano: 14.10.2025

German Environment Agency. 2023.

Le Monde. 2024. [Drinking water in France threatened with non-compliance due to 'forever chemical'](https://www.lemonde.fr/en/environment/article/2024/11/12/drinking-water-in-france-threatened-with-non-compliance-due-to-forever-chemical_6732547_114.html?) (https://www.lemonde.fr/en/environment/article/2024/11/12/drinking-water-in-france-threatened-with-non-compliance-due-to-forever-chemical_6732547_114.html?). Dostopano: 11.10.2025

SIST ISO. 2025. (https://cdn.standards.iteh.ai/samples/42990/0e5936fc8c7f474c87ec1ec3d22330cf/SIST-ISO-5667-11-2010.pdf) Dostopano: 17.10.2025

Uredba 1272/2008. 2008. [Uredba \(ES\) št. 1272/2008 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 16. decembra 2008 o razvrščanju, označevanju in pakiranju snovi ter zmesi, o spremembi in razveljavitvi direktiv 67/548/EGS in 1999/45/ES ter spremembi Uredbe \(ES\) št. 1907/2006 \(Besedilo velja za EGP\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=celex:32008R1272). (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=celex:32008R1272) Dostopano: 17.10.2025