

UPORABA PROSTORSKIH PODATKOV ZA UPRAVLJANJE FITOFARMACEVTSKIH SREDSTEV NA RAVNI POVODJA

SPATIAL DATA APPLICATION FOR PESTICIDE MANAGEMENT AT THE CATCHMENT SCALE

Marjetka Suhadolc

UDK: 504.4:631.4:632.95
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01
Prispelo: 24. 11. 2017
Sprejeto: 25. 2. 2018

DOI:10.15292/geodetski-vestnik.2018.01.39-50
SCIENTIFIC ARTICLE
Received: 24. 11. 2017
Accepted: 25. 2. 2018

IZVLEČEK

Uporaba fitofarmacevtskih sredstev (FFS) in njihovi potencialno negativni učinki na okolje so dandanes zelo odmevni. Vseeno pa si ne moremo predstavljati zadostne pridelave kmetijskih rastlin povsem brez njih, zato je treba več pozornosti nameniti obvladovanju njihove rabe z upoštevanjem prostorskih okoljskih podatkov. V prispevku smo prikazali uporabo orodja FOOT-CRS (Footprint-Catchment Scale), ki je bilo razvito v evropskem projektu z naslovom *Functional tools for pesticide risk assessment and management na modelni lokaciji na Apaškem polju*. Rezultati nazorno kažejo, da lahko potencialne negativne vplive izbranih FFS predvidimo vnaprej, na podlagi česar lahko izbor in uporabo FFS pravočasno ustrezno prilagodimo okoljskim in prostorskim specifikam posameznega vodozbirnega območja, porečja oziroma povodja. Ocene tveganja izpiranja FFS so močno odvisne od kakovostnih prostorskih vhodnih podatkov. Pedološka karta v merilu 1 : 25.000 ne zajame variabilnosti talnih lastnosti dovolj natančno, zato je nujno dopolnjevanje pedoloških podatkov v večjem merilu, s končnim ciljem poznavanja talnih lastnosti na ravni parcele.

ABSTRACT

The use of pesticides and their potentially negative effects on the environment are currently widely debated. However, it is difficult to imagine sufficient food production completely without their use; therefore, more attention has to be given to managing their use by considering site-specific spatial environmental data. In this study, the use of the FOOT-CRS (Footprint-Catchment Scale) tool, which was developed in the European project: *“Functional tools for pesticide risk assessment and management”*, is presented on a model location in the Apače Valley, Slovenia.

The results clearly showed that the potential negative impacts of selected pesticides can be foreseen in advance; therefore, the pesticide usage can be adjusted accordingly to environmental and spatial characteristics of a given catchment. Pesticide leaching risk assessment on the catchment scale strongly depends on input spatial data quality. A soil map in the scale of 1:25,000 does not sufficiently cover the variability of soil properties; therefore, pedological data should be supplemented on a larger scale, with the final aim of knowing basic soil properties on the field level.

KLJUČNE BESEDE

onesnažila, izpiranje, tla, podnebje, vodni viri, karte ranljivosti, Apaško polje

KEY WORDS

pollutants, leaching, soil, climate, water resources, vulnerability maps, Apače Valley

1 UVOD

Tla močno vplivajo na hidrološke procese in prenose onesnažil, vključno s fitofarmaceutskimi sredstvi (FFS). Fizikalne lastnosti tal določajo zadrževanje in prenos vode skozi talni profil, v kombinaciji s kemijskimi in biološkimi parametri tal zagotavljajo tudi adsorpcijo in razgradnjo FFS. Vpliv lastnosti tal na usodo in prenos FFS v vodne vire je v splošnem dobro znan, vendar je navadno podrobno preučevan v majhnem merilu (od vzorca nekaj gramov tal do večjih kolonskih in lizimetrovskih poskusov). Vpliv lastnosti tal na prenos FFS v vodne vire je lahko viden tudi v integriranem odzivu celotnega povodja oziroma prispevnega območja. Čeprav so ti učinki prepoznani, ostajajo v prostoru (kmetija/porečje/povodje/regija) večinoma neovrednoteni zaradi kompleksnosti ter spremenljivosti talnega in hidro-geološkega sistema, pa tudi pomanjkanja podatkov za parametriziranje modelov, zaradi česar se ne upoštevajo pri načrtovanju kmetijskih praks in upravljanju zemljišč.

Uporaba FFS v kmetijstvu zagotovo vključuje tudi okoljska tveganja, kot je onesnaženje površinskih in podzemnih voda. Spremljanja (s tujko tudi monitoringi) kakovosti površinskih in podzemnih voda dejansko kažejo na prisotnost FFS, včasih so največje dovoljene vsebnosti za posamezne pesticide v pitni vodi ($0,1 \mu\text{g L}^{-1}$) tudi presežene (WFD, 2006). Ker so zadrževalni časi onesnažil v podzemnih vodah praviloma dolgi, so posledice onesnaženja dolgotrajne. Potencialno onesnaženje podzemnih voda je toliko bolj zaskrbljujoče, ker so le te glavni vir pitne vode v svetu in pri nas. Prav zaradi preseženih vsebnosti v podzemnih vodah je bila v EU prepovedana uporaba atrazina. Rezultati spremljanja kakovosti podzemnih voda v EU kažejo tudi na prisotnost nekaterih aktivnih snovi FFS, ki po osnovnih lastnostih ne bi smele biti okoljsko problematične, na primer herbicidov izoproturona in glifosata, kar kaže na omejenost registracijskih postopkov in potrebo po upravljanju FFS na ravni povodij (WFD, 2000/2006; SUD, 2009). Ocena tveganja FFS v registracijskih postopkih je namreč enodimenzionalna, njen rezultat je točkovna ocena okoljske koncentracije (PEC – *predicted environmental concentration*) na dnu talnega profila, z njim pa ni mogoče vrednotiti rabe FFS in odziva na ravni sklenjenih vodozbirnih prostorskih območij. Poleg tega je v registracijskih postopkih v uporabi devet okoljskih scenarijev (angl. *the worst case*) (Focus, 2000; EEC, 1991), dejanska variabilnost kmetijsko-okoljskih situacij pa je mnogo večja, na ravni EU je bilo na primer prepoznanih 7691 unikatnih kombinacij (poligonov na karti 1: 1.000.000) podnebja (16 pasov), tal (322 talnih tipov) in kmetijskih praks (razredov rabe kmetijskih zemljišč), pomembnih z vidika prenosov FFS v vodne vire (Centofanti et al., 2008). Ob upoštevanju različne zastopanosti talnih tipov in kulturnih rastlin v poligonih se število unikatnih kombinacij poveča na 25.044. Pomembno je poudariti, da usoda FFS v okolju ni odvisna le od lastnosti aktivne snovi in kmetijske prakse, temveč jo bistveno določajo tudi naravne danosti prostora (podnebje, tla, hidro-geološke značilnosti).

Namen prispevka je ugotoviti razpoložljivost in kakovost prostorskih podatkov v Republiki Sloveniji (RS) za namene modeliranja usode FFS v okolju ter na modelni lokaciji Apaškega polja z uporabo prostorsko opredeljenih podatkov in metodologije FOOTPRINT (Dubus et al., 2009) oceniti količino prenosa izbranih FFS v podzemne vode in izdelati kartografske prikaze ranljivosti tal. Predvidevali smo, da je potencial izpiranja FFS različen glede na tip tal, vrsto FFS in uporabljen količino pripravka.

2 METODE DELA

2.1 Vhodni podatki za izdelavo specifičnih scenarijev

Večino rastrskih in vektorskih prostorskih podatkov smo pridobili iz nacionalnih virov v okviru državne prostorske podatkovne infrastrukture (preglednica 1). To so predvsem podatki Geodetske uprave RS in Agen-

cije RS za okolje (ARSO), ki smo jih uporabili neposredno v analitičnem delu in pri predstavitvi rezultatov v obliki tematskih kart. Za izdelavo kmetijsko-okoljskih situacij smo na nacionalni ravni za pokrovnost tal uporabili klasifikacijo Corine Land Cover in v okviru kmetijske rabe upoštevali deleže posameznih kultur po podatkih Statističnega urada RS ter za talne lastnosti uporabili PK v merilu 1 : 25.000. Za namen študije smo za modelno lokacijo na Apaškem polju izdelali pedološko karto večjega merila 1 : 5000 ter na agenciji ARSO pridobili dolgoletne dnevne podnebne podatke najbližje meteorološke postaje Murska Sobota (1984–2009).

Preglednica 1: Vhodni podatki, uporabljeni za izdelavo kmetijsko-okoljskih situacij ter pri izdelavi ocen izpiranja FFS.

Vir	Vrsta podatkovnega sloja	Prostorska ločljivost	Merilo	Uporabljene kategorije
Geodetska uprava RS	Topografska karta	25 m	1 : 25.000	delo na terenu (PK 5.000)
Geodetska uprava RS	Ortofoto DOF050	0,5 m		raba tal, relief
Agencija RS za okolje	Pokrovnost tal v RS, 2006 (Corine Land Cover)	5 m	1 : 5000	raba tal
Agencija RS za okolje	Vodna telesa podzemne vode	–	1 : 250.000	območje vodnih teles
Agencija RS za okolje	Vodna telesa površinske vode: linije, območje, prispevno območje	–	1 : 25.000	mreža površinskih voda in poligoni prispevnega območja
Agencija RS za okolje	Dolgoletni meteorološki podatki 1984–2009	Murska Sobota	–	T_{min} , T_{max} , T_{povp} , evapotranspiracija, padavine
Footprint, EU-FP7	Meteorološki podatki (16 pasov)	50 km	1 : 1.000.000	T_{min} , T_{max} , T_{povp} , evapotranspiracija, padavine
Agencija RS za okolje	Pedološka karta RS	25 m	1 : 25.000	PKE, PSE in zastopanost PSE v PKE
Center za pedologijo in varstvo okolja UL-BF	Pedološka karta Apaškega polja	5 m	1 : 5000	PKE, PSE in zastopanost PSE v PKE
Statistični urad RS	Kmetijska gospodarstva po rabi vseh in kmetijskih zemljišč v uporabi v letu 2010	podatki po občinah	–	raba tal (ha) in kulture (% obdelovalnih zemljišč)

2.1.1 Pedološki podatki

Zaradi heterogenosti območja Apaškega polja po pedoloških lastnostih, podnebno je območje enovito, smo posebno pozornost namenili razlikam v talnih lastnostih. Na podlagi pedološke karte RS (1 : 25.000) in obstoječih štirih pedoloških profilov s pripadajočimi analitskimi podatki na območju Apaškega polja smo smiselno izvedli dodatna sondiranja terena, dodatne izkope ter analize tal, ki jih zahteva modeliranje FFS. Preverili smo meje pedokartografskih enot (PKE) in izdelali pedološko karto v merilu 1 : 5000. Z orodjem za izbor tal smo glavne talne tipe razvrstili v skupine (FST – *Footprintovi talni tipi*) glede na njihov potencial prenosa v podzemne in površinske vode (Hollis et al., 2008; Dubus et al., 2009). Glavne komponente razvrščanja po metodologiji FOOTPRINT so hidro-geološke (Schneider et al., 2007), teksturne in sorptivne (razporeditev organske snovi in gline v profilu) značilnosti tal (Centofanti et al., 2008). Skupina Footprint je na podlagi podatkovne baze EU o tleh (SGDBE – *Soil geographic database of Europe*) oblikovala diagram enostavnih vprašanj, ki vodijo k odgovoru, ali imajo tla potencial za hiter prenos vode s površja zemljišč v mrežo površinskih voda z različnimi hitrimi ali srednje hitrimi odzivnimi

mehanizmi na padavine. Če ga nimajo, FFS ostajajo v tleh, kjer je od potenciala sorpcije odvisno, ali je FFS vezan na talne delce ali ostaja v talni raztopini, kjer je podvržen izpiranju skozi talni profil ter hkrati dosegljiv procesom razgradnje. Podatki, ki so potrebni za razvrščanje po tem sistemu: matična podlaga s hidrološko skupino, tekstura, razporeditveni vzorec organske snovi v talnem profilu ter morebitni znaki oglejevanja. Za vsakim tipom FST so podatki reprezentativnega profila, ki so namenjeni modeliranju (Centofanti et al., 2008). Zahteve po vhodnih podatkih o tleh so sicer pri samostojnem modeliranju s programom MACRO bistveno večje (Larsbo in Jarvis, 2003).

2.1.2 Izbrane aktivne snovi FFS

Za namen tega prispevka smo se osredotočili na herbicide v koruzi, saj so se že pojavljali v podzemni vodi tega območja. Ocene izpiranja smo izdelali za izbrana triazinska herbicidna pripravka Primextra gold 720 SC (atrazin, S-metolaklor) in Primextra 500 tekoči (atrazin, metolaklor), ki sta se uporabljala v preteklosti, ter pripravek Lumax (terbutilazin, S-metolaklor, mesotrion), ki večinoma nadomešča atrazin po njegovi prepovedi. Pri modeliranju smo simulirali največji dovoljeni odmerek izbranih pripravkov (4 L/ha) v koruzi za zrnje, in sicer enkratni nanos letno (1. maja) za dvajset zaporednih let. Odmerki aktivnih snovi v pripravkih so tako znašali: 1,28 oziroma 0,8 kg atrazina/ha ter 0,5 kg terbutilazina/ha. Na spletni strani Univerze v Hertfordshiru (PPDB, 2011) smo pridobili ustrezne informacije, vezane na usodo FFS v okolju: koeficient sorpcije na organsko snov tal (Koc) in razpolovno dobo (DT50) preučevanih aktivnih snovi. Za predstavljene simulacije v tej študiji smo predvideli 40-odstotno zastopanost koruze na obdelovalnih površinah.

2.2 Računalniško orodje FOOT-CRS

Računalniško orodje FOOT-CRS je bilo razvito v okviru projekta EU FOOTPRINT (angl. *Functional tools for pesticide risk assessment and management*, FP6, SSPI-CT-2005-022704). Za ocenjevanje izpiranja FFS v podtalnico FOOT-CRS uporablja model MACRO 5.2 (Larsbo in Jarvis, 2003; Jarvis, 2007). Pomembna inovativnost pristopa FOOTPRINT je upoštevanje širokega spektra kmetijsko-okoljskih scenarijev v prostoru in izračunavanje oziroma modeliranje napovedi rezultatov (Dubus et al., 2009). FOOT-CRS tako združuje funkcionalnosti geografskih informacijskih sistemov (GIS) z izbranimi prostorsko opredeljenimi podatki oziroma informacijami, ki so pomembne za usodo FFS v prostoru ter modele za ocenjevanje (napovedovanje) izpiranja in površinskega odtoka FFS. Prostorske pedološke podatke smo skupaj s povprečnimi ocenami izpiranja herbicidov po posameznih pedokartografskih enotah uporabili za izdelavo kart ranljivosti tal za izbrane aktivne snovi z računalniškim orodjem ArcGIS 9.2.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

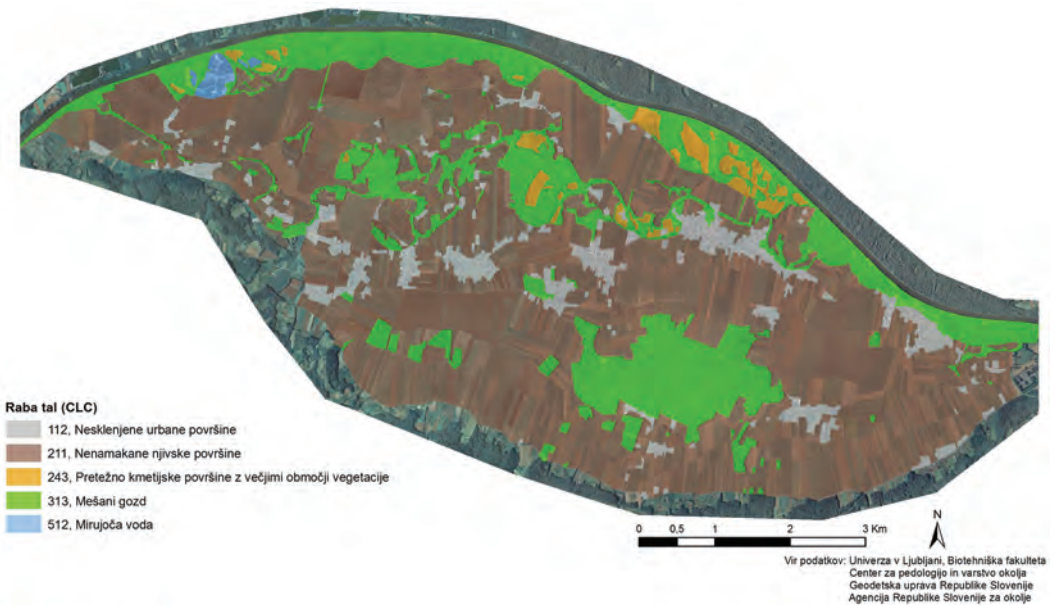
3.1 Območje obdelave

Apaško polje je ena od slovenskih pomurskih dolin, na severu je omejeno z današnjim reguliranim koritom Mure, ki predstavlja hidrodinamsko mejo, na jugu pa se dotika obrobja Slovenskih goric, kjer poteka tudi razvodnica. Apaško polje je tako vodonosni sistem z enotnim aluvialnim vodonosnikom v vrhnjih plasteh, ki se napaja z infiltracijo padavin na tem območju in manj z infiltracijo Mure v zgornjem delu polja, ob čemer se podzemna voda giba od Apaškega polja v smeri Murske kotline. Apaško polje je zato idealna modelna lokacija za preučevanje izpiranja onesnažil. Ranljivost telesa podzemne vode je izredno velika zaradi zelo

dobre prepustnosti nenasičenega in nasičenega dela vodonosnika, odsotnosti pomembnih krovnih plasti, nizke infiltracije (155–280 mm/leto), tankosti nenasičene cone (4–6 m) in omočene debeline vodonosnika (od 1 do 2 metrov, največ do nekaj metrov) (Prestor, Geološki zavod, osebna komunikacija). Celotno vodno telo Apaškega polja, ki obsega približno 35 km², je uvrščeno v vodovarstveno območje (Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Apaškega polja, Uradni list RS, št. 59/2007).

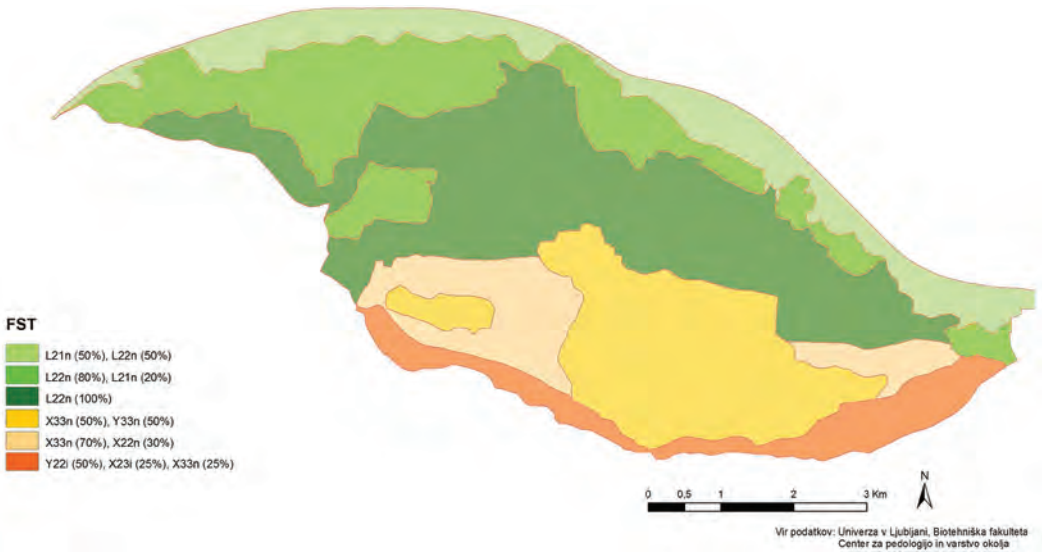
3.1.1 Raba tal, vrste tal in poti prenosa FFS

Na območju Apaškega polja, ki se razteza na 54,73 km², prevladujejo kmetijska zemljišča (3653 ha) (slika 1). Največji delež predstavljajo žita (80 %) – pšenica, koruza in ječmen, sledijo oljna repica (14 %) ter krompir in sladkorna pesa (5 %) (KGZS – Zavod Murska Sobota, osebna komunikacija).



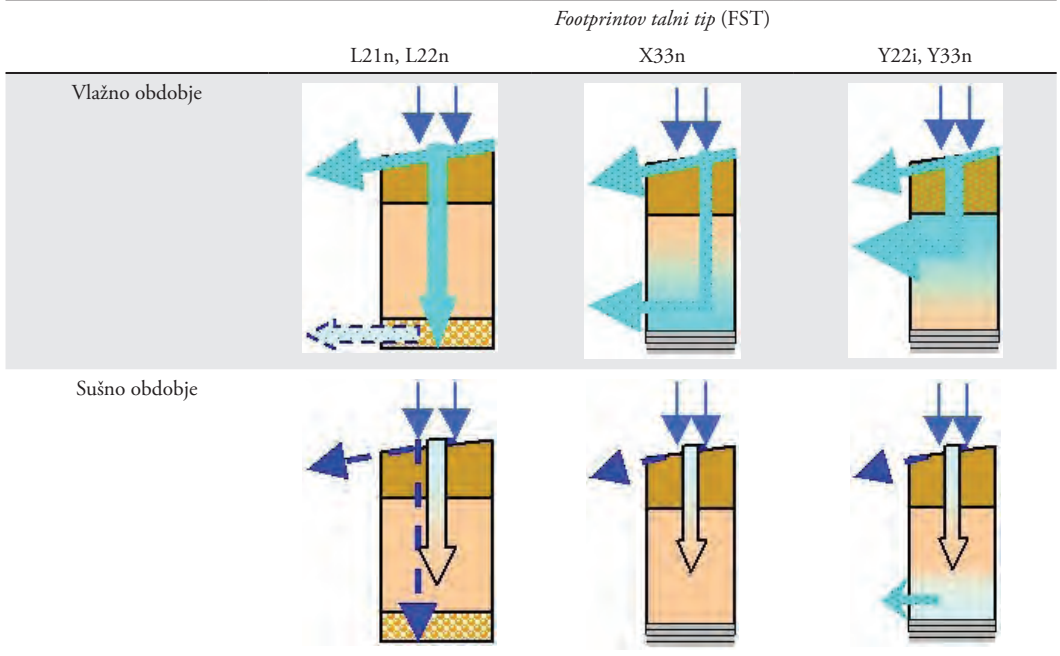
Slika 1: Študijsko območje za izdelavo ocene tveganja rabe FFS na Apaškem polju z orodjem FOOT-CRS (primer scenarija: raba tal (Corine Land Cover, 2006) za enovito podnebni pas in enovito kulturo na vseh obdelovalnih površinah).

Tla na polju so zelo primerna za kmetijsko pridelavo. Najrodovitnejša so obrečna tla (65 %), sledita psevdoglej (7,5 %) in hipoglej (27,5 %). Talne profile smo razvrstili tudi glede na njihove lastnosti, pomembne za razgradnjo, adsorpcijo ter prenos FFS v površinske in podzemne vodne, in izdelali pedološko karto po Footprintovi klasifikaciji (slika 2). Na pospešeno razgradnjo FFS v tleh sicer lahko vplivamo z dobro kmetijsko prakso in skrbjo za zadostno vsebnost organske snovi v tleh. Poti prenosa FFS v tleh in naprej v vodne vire pa odločilno opredeljujejo vodno-zadrževalne in hidrološke lastnosti. Na preučevanih obrečnih tleh Apaškega polja je glavna pot prenosa FFS z gibanjem vode skozi talni profil, dolgotrajne padavine lahko povzročijo tudi izpiranje v podtalnico, medtem ko je za preučevana hipoglej in psevdoglej značilno lateralno pronicanje vode in v nasičenih razmerah tudi površinski odtok v potoke in drenažne jarke (preglednica 2).



Slika 2: Pedološka karta Apaškega polja v merilu 1 : 5.000, prirejena po Footprintovi klasifikaciji tal.

Preglednica 2: Glavne poti prenosa vode v izbranih talnih profilih, reprezentativnih za posamezne tipe tal na Apaškem polju: obrečna tla (L21n, L22n), hipoglej (X33n) in psevdoglej (Y22i, Y33n), po Footprintovi klasifikaciji (Dubus et al., 2009)



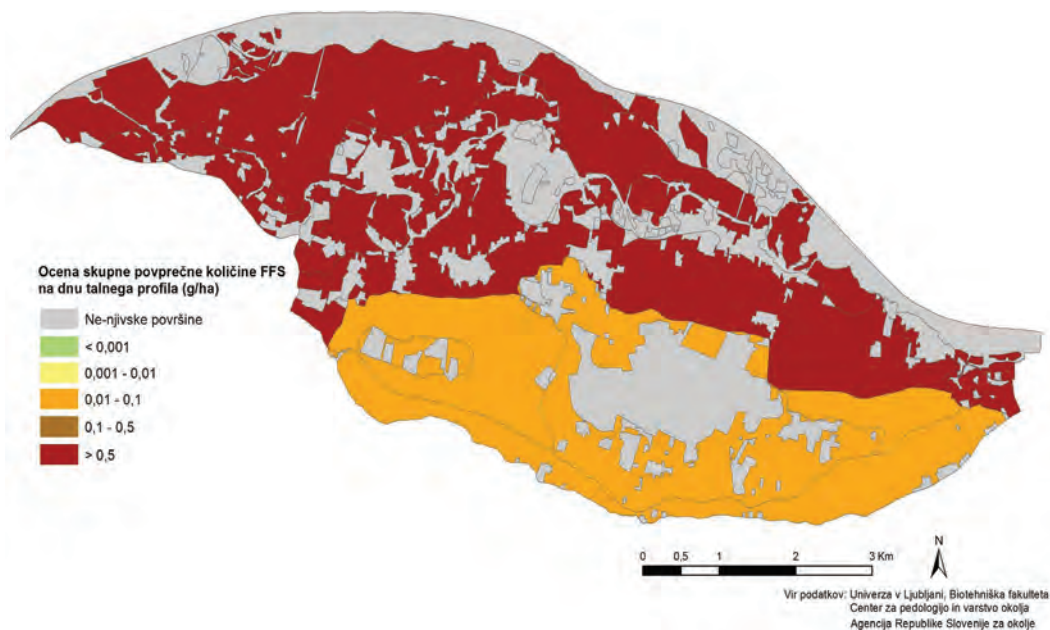
3.2 Ocena tveganja izpiranja izbranih FFS na območju Apaškega polja

Ocene oziroma napovedi povprečne skupne izprane količine FFS letno na dnu talnih profilov se med

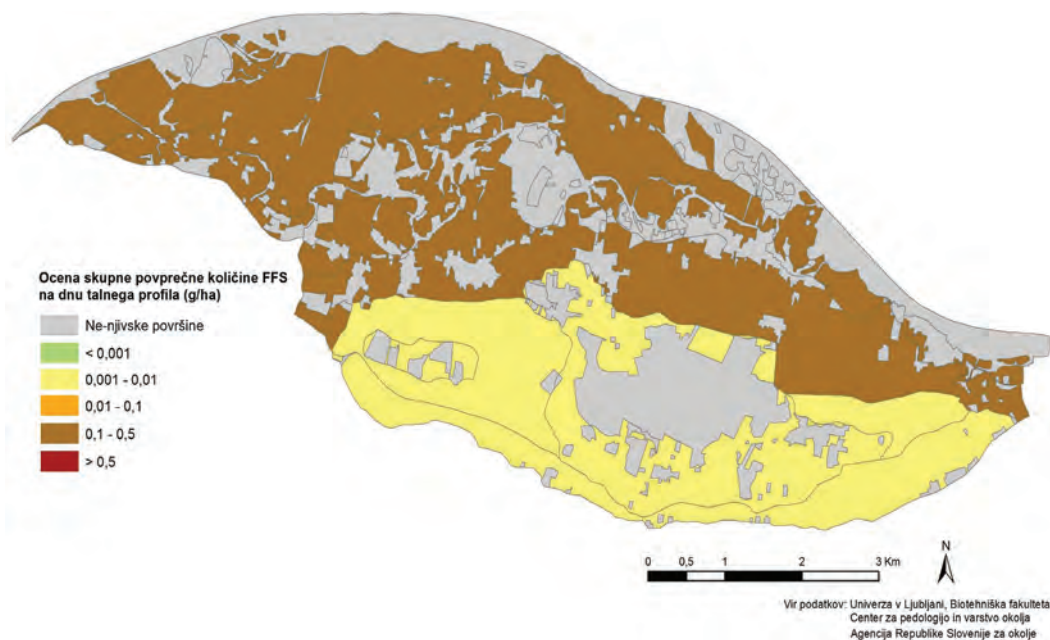
talnimi tipi (in posledično pedokartografskimi enotami (PKE) oziroma poligoni) Apaškega polja zelo razlikujejo (slike 3, 4, 5). Če medsebojno primerjamo PKE, je bilo največje tveganje prenosa FFS v podzemno vodo ugotovljeno na PKE z največjim deležem teksturno lahkih, plitvih obrečnih tal (L21n), sledijo srednje globoka do globoka obrečna tla (L22n). Tveganje izpiranja FFS je precej manjše na hipogleju in psevdogleju (X33n, X22n, X23i, Y22i, Y33n). Treba je opozoriti, da je v teh tleh mogoč tudi lateralni prenos in površinski odtok FFS na sosednje površine ob intenzivnih padavinah in/ali na nagnjenem terenu (> 3 %), ki ga na Apaškem polju najdemo ob vznožju Slovenskih goric, vendar ga v tej študiji nismo upoštevali v izračunih. Ta tveganja sicer lahko učinkovito zmanjšamo z omilitvenimi ukrepi, kot so travnati zaščitni pasovi in mejice.

Ocene povprečnih koncentracij FFS na dnu talnih profilov se močno razlikujejo med izbranimi FFS in njihovimi odmerki. Največje tveganje izpiranja smo ugotovili za aktivno snov atrazin, pričakovano je tveganje izpiranja večje v pripravku z večjim odmerkom (sliki 3 in 4). Ocenjen delež atrazina na dnu talnega poligona (izračun do globine talnega profila oziroma do globine enega metra) je od 0,006 do 0,06 % uporabljene količine, kar je v rangu velikosti izpiranja atrazina v lizimetriških študijah (Kruger et al., 1993; Scheunert et al., 1994). Orodje FOOT-CRS vključuje model MACRO, ki zadovoljivo upošteva kompleksnost in medsebojno prepletenost procesov v tleh, da se ocene izpranega FFS približajo realnim vrednostim v različnih povodjih (Marín-Benito, 2014), če imamo kakovostne, lokacijsko specifične vhodne podatke. Tveganje prenosa FFS v podzemne vode je značilno manjše za pripravek Lumax; med aktivnimi snovmi v Lumaxu so ocenjene koncentracije največje za terbutilazin (slika 5), za S-metolaklor in mesotrion pa je tveganje neznatno (podatki niso prikazani). Za primerjavo: z uporabo pripravka Stomp 400 z aktivno snovjo pendimetalin je tveganje izpiranja najmanjše (povprečna letna količina na dnu talnega profila je pod $3 \cdot 10^{-13}$ g/ha).

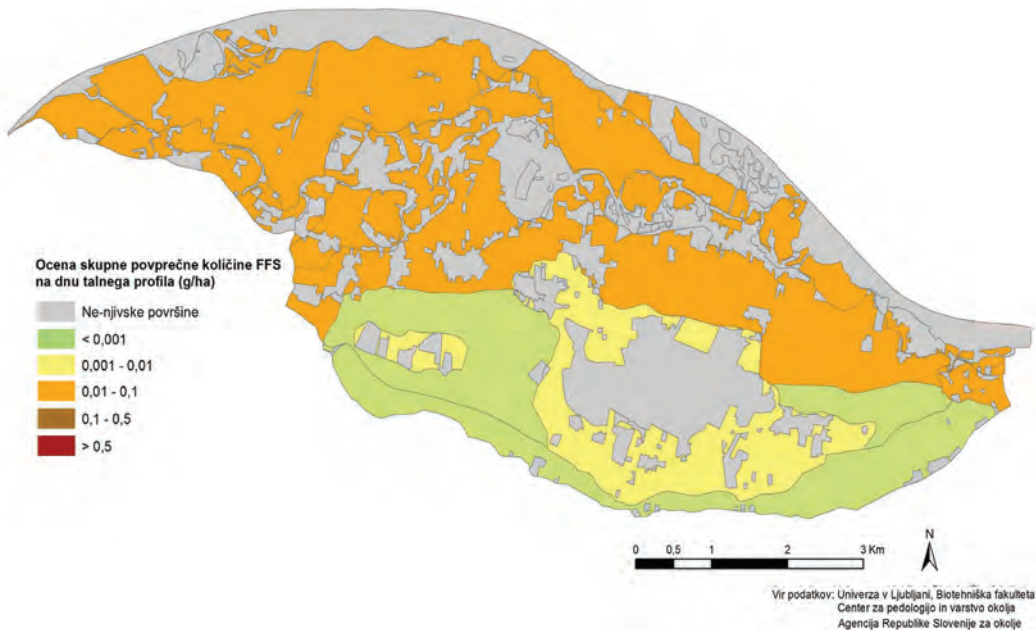
Pričakovano smo največje tveganje izpiranja ugotovili pri atrazinu (sliki 3, 4). Zaradi povečanih vsebnosti v podzemnih vodah je bil atrazin v RS povsem umaknjen iz prometa v letu 2003, vendar se njegovi ostanki še danes, dvanajst let po prenehanju uporabe, pojavljajo v vzorcih voda (Pintarič in Suhadolc, 2017). Rezultati monitoringov kakovosti podzemnih voda v RS tudi kažejo, da se vsebnosti atrazina in njegovih razgradnih produktov značilno razlikujejo med vodnimi telesi. Največje povprečne letne vsebnosti so bile izmerjene na območju Dravske kotline, sledi Murska kotlina. Prisotnost atrazina v podzemnih vodah je posledica tako neugodnih fizikalno-kemijskih lastnosti atrazina (DT50, Kd, GUS) kot tudi široke in količinsko pretirane uporabe, neprilagojene lastnostim okolja. Terbutilazin, ki nadomešča atrazin, ima precej podobne fizikalno-kemijske lastnosti (PPDB, 2017). Zaradi nekoliko večje adsorpcije na talne delce in manjše vsebnosti aktivne snovi v pripravku je ocena izpiranja manjša kot pri atrazinu (sliki 4 in 5). Ali bo terbutilazin postal pomembno onesnažilo slovenskih podzemnih voda v prihodnje, je tako odvisno predvsem od vnosov (odmerki, tretirane površine) ter občutljivosti območij, kjer se uporablja. Zagotovo pa je bila uporaba atrazina v preteklosti mnogo širša, kot je danes uporaba terbutilazina – zaradi večjega deleža koruze na obdelovalnih zemljiščih in večjih dovoljenih odmerkov atrazina v pripravkih. Poleg tega je danes v kmetijski praksi več omilitvenih ukrepov za preprečevanje točkovnega onesnaženja, ki je v preteklosti domnevno močno prispevalo k onesnaženju vodnih virov.



Slika 3: Ranljivost tal za izpiranje atrazina v pripravku Primextra 720 Gold (1,28 kg a.s./ha), ocenjena z modelom FOOT-CRS (en nanos letno, dvajset zaporednih let, uporabljen na 40 % obdelovalnih površin). Prikazana je skupna povprečna letna količina na dnu profila po poligonih (g atrazina/ha).



Slika 4: Ranljivost tal za izpiranje atrazina v pripravku Primextra (0,8 kg a.s./ha), ocenjena z modelom FOOT-CRS (en nanos letno, dvajset zaporednih let, uporabljen na 40 % obdelovalnih površin). Prikazana je skupna povprečna letna količina na dnu profila po poligonih (g atrazina/ha).



Slika 5: Ranljivost tal za izpiranje terbutilazina v pripravku Lumax (0,5 kg a.s./ha), ocenjena z modelom FOOT-CRS (en nanos letno, dvajset zaporednih let, uporabljen na 40 % obdelovalnih površin). Prikazana je skupna povprečna letna količina na dnu profila po poligonih (g terbutilazina/ha).

3.3 Upravljanje FFS v okolju z upoštevanjem okoljskih danosti

Direktiva ES o trajnostni rabi pesticidov od držav članic zahteva (SUD, 2009), da razvijejo orodja, ki temeljijo na zelo natančnem poznavanju lokalnih okoljskih razmer in izboljšav scenarijev vpliva FFS na okolje, da bi ugotovili *ranljive razmere* ali *območja tveganja* in omogočili usmerjeno uporabo FFS ter s tem zmanjšali okoljska tveganja. V okviru projekta Footprint smo z orodjem FOOT-CRS v Sloveniji samo na obdelovalnih zemljiščih za izbrano kulturo (koruzo) prepoznali 156 unikatnih kombinacij tal (PK v merilu 1 : 25.000) in podnebja (trije Footprintovi podnebni pasovi). Glede na razlike v podnebnih lastnostih, ki bistveno vplivajo na izpiranje FFS (količina padavin, temperatura, evapotranspiracija) (Nolan et al., 2008), bi morali slovenski prostor razdeliti celo v več podnebnih pasov, kar kažejo tudi preliminarna modeliranja usode FFS (rezultati niso prikazani).

Na podlagi rezultatov naše študije lahko ugotovimo, da zaradi razlik v talnih lastnostih (PKE in PSE) nastajajo velike razlike v izpiranju FFS že na majhnem območju, kot je na primer Apaško polje z enotnim podnebjem. Vpliv talnih lastnosti je bistven za vse procese v usodi FFS. V laboratorijskih poskusih je bilo na primer ugotovljeno, da je razpon v mineralizaciji (popolni razgradnji) herbicida glifosat v enem mesecu od 7 do 70 % uporabljene količine v različnih tleh Apaškega polja (Nguyen et al., 2018), kar vodi do ugotovitve, da je treba uporabo FFS prilagajati talnim lastnostim že na ravni polja (PSE) oziroma kmetije, kar omogoča orodje FOOT-FS (Dubus et al., 2009; Suhadolc in Lobnik, 2010). Za upravljanje širših vodozbirnih območij/porečij/povodij pa so bistvene ocene tveganja prenosov FFS v prostoru, saj lahko tveganja zmanjšujemo z ustrezno rabo tal in kolobarjenjem kultur, ki je lahko prilagojeno tudi uporabi FFS.

FOOT-CRS (Dubus et al., 2009) in tudi novejša orodja za upravljanje FFS v okolju VULPES (Di Guardo in Finizio, 2015); REXPO (Wittmer et al., 2016) omogočajo identifikacijo potencialno ranljivih območij za prenose FFS v vodne vire in s tem omogočajo optimiziranje uporabe FFS po vodozbirnih območjih/porečjih/povodjih. Omogočajo tudi identifikacijo in simulacijo kombinacij (FFS/tla/podnebje/kultura), ki vodijo do precejšnjih prenosov FFS v vodne vire. Poudariti je treba, da je rezultat ocena (napoved) skupne vsebnosti FFS na dnu talnega profila po poligonih, torej gre za izračunan (potencialni) vnos FFS v podzemne vode, ki je močno odvisen od kakovosti vhodnih podatkov. V Sloveniji podatki o tleh pomenijo velik primanjkljaj pri modeliranju usode FFS v okolju. Iz nacionalne baze pedoloških podatkov (Pedološka karta 1 : 25.000, 1999) lahko povzamemo, da je pedoloških profilov na obdelovalnih površinah zelo malo. S primerjavo PK Slovenije v merilu 1: 25.000 s karto, izdelano v merilu 1 : 5.000, smo na območju Apaškega polja ugotovili nujnost dopolnjevanja pedoloških podatkov v večjem merilu, ki zmanjšujejo negotovosti v ocenah tveganja. Poleg tega je za klasično modeliranje usode FFS s samostojnimi enodimenzionalnimi modeli (MACRO, PELMO, PEARL ipd.) v nacionalni bazi podatkov premalo analiz nekaterih talnih lastnosti (na primer volumske gostote tal, % skeleta, sposobnosti tal za zadrževanje vode, hidravlične prevodnosti ipd.), ki pa jih lahko nadomestimo z uporabo Footprintovega sistema razvrščanja tal na podlagi zelo enostavnih talnih parametrov, za katerimi stoji baza dobro opisanih reprezentativnih profilov (Centofanti et al., 2008).

Za dejansko oceno koncentracij FFS v podzemni vodi bi bilo treba upoštevati tudi značilnosti vodonosnika. Zato je toliko pomembnejše sistematično spremljanje FFS v vodnih virih, ki ga izvaja Agencija RS za okolje, saj omogoča preverjanje in izboljševanje kakovosti napovedi. Podatki spremljanja FFS v vodnih virih dajejo informacije o točkah, kjer se je že pojavilo onesnaženje, medtem ko FOOT-CRS podaja ocene okoljskih koncentracij (PEC – *Predicted Environmental Concentration*) za izbrano geografsko območje, torej lahko izračune uporabimo tudi za napovedi pri različnih scenarijih vnosa FFS. S primerjavo obeh vrst podatkov, torej ocenjenih okoljskih koncentracij po območjih skupaj z zanesljivimi (merjenimi) nizi koncentracij v vodah, bi odgovorni lažje odločali o morebitnih omejitvah uporabe FFS, hkrati pa bi tako lahko postopoma izboljševali napovedne modele. Vendarle pa ocenjene koncentracije na dnu talnih profilov (poligonov) kažejo le na *potencial izpiranja* in niso neposredno povezane z vsebnostmi v vodonosniku, saj ni upoštevana razgradnja FFS v nižjih plasteh nezasičene cone, prav tako ne razredčitve v odvisnosti od lastnosti vodnega telesa in podnebnih razmer (sušna/vlažna leta). Karte ranljivosti po vodozbirnih območjih/porečjih/povodjih so lahko podlaga za načrtovanje oziroma spremembo mreže spremljanja kakovosti površinskih in podtalnih voda, če obstajajo jasni dokazi o nepokritem (ranljivem) območju. Rezultati stalnega spremljanja in napovedovanja prehajanja FFS v vodne vire so lahko tudi pomembna strokovna podlaga za načrtovanje kmetijske pridelave in upravljanje zemljišč.

4 SKLEP

Rezultati naše študije dokazujejo, da heterogene lastnosti tal že na majhnem območju prinašajo razlike v prenosih FFS v vode vire. Zaradi zelo raznovrstnih in specifičnih kmetijsko-okoljskih kombinacij slovenskega prostora je nujna podrobnejša identifikacija ranljivih območij ter okolju prilagojena uporaba FFS. Za kakovost ocen tveganja prenosov FFS v vodne vire po sklenjenih povodjih so pomembni kakovostni prostorski vhodni podatki (tla, podnebje, raba tal).

Računalniška orodja za ocenjevanje usode FFS v okolju, kot je na primer FOOT-CRS, so lahko v veliko pomoč odločevalcem pri izvajanju vodne direktive (WFD, 2000; WFD, 2006) in direktive o trajnosti rabi pesticidov (SUD, 2009), saj omogočajo identifikacijo ranljivih območij ter razvrščanje aktivnih snovi, rastlinskih kultur in tal (PKE) glede na tveganje prenosa FFS v vodne vire. Posledično so rezultati študije zanimivi tudi za širše področje upravljanja zemljišč. Prostorska opredelitev podatkov oziroma informacij pri tem prinaša dodano vrednost za različne strokovne podlage pri sprejemanju odločitev o prostoru. Posebej bi izpostavili variabilnost talnih lastnosti, ki jih pedološka karta v merilu 1 : 25.000 ne zajame dovolj natančno, da bi vedno lahko zadovoljila potrebe prostorskega načrtovanja, v takih primerih je treba izvesti kartiranje večjega merila.

Zahvala

Raziskavo je finančno podprla Evropska komisija v okviru projekta FOOTPRINT (SSPI-CT-2005-022704), za strokovno podporo se zahvaljujem dr. Igorju Dubusu, dr. Stefanu Reichenbergerju in Johnu Hollisu. Testiranje orodij FOOT-CRS na Apaškem polju je rezultat nacionalnega CRP-projekta V3-0548. Za sodelovanje se zahvaljujem sodelavcem, posebno Janezu Ruprehtu, Marjanu Šinkovcu in Ireni Tič, ter partnerjem v projektu KGZS Murska Sobota, posebno dr. Stanku Kapunu, Alojzu Topolovcu, Ziti Flisar Novak in Metki Barbarič.

Literatura in viri:

- Centofanti, T., Hollis, J. M., Blenkinsop, S., Fowler, H. J., Truckell, I., Dubus, I. G., Reichenberger, S. (2008). Development of agro-environmental scenarios to support pesticide risk assessment in Europe. *The Science of the Total Environment*, 407 (1), 574–588. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.08.017>
- Di Guardo, A., Finizio, A. (2015). A client-server software for identification of groundwater vulnerability to pesticides at regional level. *Science of the Total Environment*, 530–531, 247–256. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.112>
- Dubus, I. G., Reichenberger, S., Allier, D., Azimonti, G., Bach, M., Barriuso, E., Bidoglio, G., Blenkinsop, S., Boulahya, F., Bouraoui, F., Burton, A., Centofanti, T., Cerdan, O., Coquet, Y., Feisel, B., Fialkiewicz, W., Fowler, H., Galimberti, F., Green, A., Grizzetti, B., Højberg, A., Hollis, J. M., Jarvis, N. J., Kajewski, I., Kjær, J., Krasnicki, S., Lewis, K. A., Lindahl, A., Lobnik, F., Lolos, P., Mardhel, V., Moey, J., Mojon-Lumier, F., Nolan, B. T., Rasmussen, P., Réal, B., Šinkovec, M., Stenemo, F., Suhadolc, M., Surdyk, N., Tziliavakis, J., Vaudour-Dupuis, E., Vavoulidou-Theodorou, E., Windhorst, D., Wurm, M. (2009). FOOTPRINT – Functional tools for pesticide risk assessment and management. Final report of the EU project FOOTPRINT (SSPI-CT-2005-022704), 221 str.
- EEC (1991). Council Directive of 15 July concerning the placing of plant protection products on the market (414/91/EEC). *Official Journal of European Communities*, L230, 32, 1–32.
- FOCUS (2000). FOCUS groundwater scenarios in the EU review of active substances. Report of the FOCUS Groundwater Scenarios Workgroup, EC Document Reference Sanco/321/2000, 202 str.
- Hollis, J., Jarvis, N., Reichenberger, S., Suhadolc, M., Dubus, I. (2008). Categorizing European soils according to the ability to retain or transmit diffuse source pollutants. V: W. E. H. Blum (ur.), M. H. Gerzabek (ur.), M. Vodrazka (ur.), *Eurosoil 2008, Book of Abstract*, 4. 8. 2008. Dunaj, str. 106.
- Jarvis, N. J. (2007). A review of non-equilibrium water flow and solute transport in soil macropores: principles, controlling factors and consequences for water quality. *European Journal of Soil Science*, 58 (3), 523–546. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2007.00915.x>
- Kruger, E. L., Somasundaram, L., Kanwar, R. S., Coats, J. R. (1993). Movement and degradation of C-14 atrazine in undisturbed soil columns. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 12 (11), 1969–1975. DOI: [https://doi.org/10.1897/1552-8618\(1993\)12\[1969:mado\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1897/1552-8618(1993)12[1969:mado]2.0.co;2)
- Larso, M., Jarvis, N. (2003). Macro 5.0. A model of water flow and solute transport in macroporous soil. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences Emergo, 52 str.
- Marín-Benito, J. M., Pot, V., Alletto, L., Mamy, L., Bedos, C., Barriuso, E., Benoit, P. (2014). Comparison of three pesticide fate models with respect to the leaching of two herbicides under field conditions in an irrigated maize cropping system. *Science of the Total Environment*, 499, 533–545. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.143>
- Nolan, B. T., Dubus, I. G., Surdyk, N., Fowler, H. J., Burton, A., Hollis, J. M., Reichenberger, S., Jarvis, N. J. (2008). Identification of key climatic factors regulating the transport of pesticides in leaching and to tile drains. *Pest Management Science*, 64 (9), 933–944. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.1587>
- Nguyen, N. K., Dorfler, U., Weizl, G., Munch, J. C., Schroll, R., Suhadolc, M. (2018). Large variation in glyphosate mineralization in 21 different agricultural soils explained by soil properties. *Science of the total environment*, 627: 544–552. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.204>

- Pintarič, S., Suhadolc, M. (2017). Okoljski problemi pretekle uporabe atrazina. V: B. Čeh (ur.), *Novi izzivi v agronomiji 2017: zbornik simpozija*, Slovensko agronomsko društvo, 218–224.
- PPDB (2011). PPDB—Pesticides Properties Database, <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>
- Scheunert, I., et al. (1994). Mass balance and fate of 14C-terbuthylazine and pendimethalin in outdoor lysimeters. V: *Proceedings of the 5th international workshop: Environmental Behaviour of pesticides and regulatory aspects*, Brussels, April 26–29, 1994.
- Schneider, M. K., Brunner, F., Hollis, J. M., Stamm, C. (2007). Towards a hydrological classification of European soils: Preliminary test of its predictive power for the base flow index using river discharge data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11 (4), 1501–1513. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1501-2007>
- SUD (2009). The Sustainable Use of pesticides Directive. Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides. OJ L 309 24.11.2009, 71–86.
- Suhadolc, M., Lobnik, F. (2010). Računalniško orodje FOOT-FS: upoštevanje dejavnikov okolja pri uporabi fitofarmaceutskih sredstev na ravni kmetije. *Novi izzivi v poljedelstvu 2010: zbornik simpozija*, Rogaška Slatina, 2.–3. 12. 2010, str. 239–243.
- Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Apaškega polja. Uradni list RS, št. 59/2007, 32/2011, 22/2013 in 79/2015.
- WFD (2000). EU Water Framework Directive: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. OJ L 327, 22.12.2000, 1–73.
- WFD (2006). Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration. OJ L 372, 27.12.2006, 19–31.
- Wittmer, I. K., Bader, H. P., Scheidegger, R., Stamm, C. (2016). REXPO: A catchment model designed to understand and simulate the loss dynamics of plant protection products and biocides from agricultural and urban areas. *Journal of Hydrology*, 533, 486–514. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.046>



Suhadolc M. (2018). Uporaba prostorskih podatkov za upravljanje fitofarmaceutskih sredstev na ravni povodja. *Geodetski vestnik*, 62 (1), 39-50. DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2018.01.39-50

Doc. dr. Marjetka Suhadolc, univ. dipl. inž. agr.
 Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
 Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana
 e-naslov: marjetka.suhadolc@bf.uni-lj.si