

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Ana ŠTANGELJ

**OCENA IZPIRANJA IZBRANIH HERBICIDOV NA  
OBREČNIH TLEH APAŠKE DOLINE, POSEJANIH S  
KORUZO**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

Ljubljana, 2009

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Ana ŠTANGELJ

**OCENA IZPIRANJA IZBRANIH HERBICIDOV NA OBREČNIH  
TLEH APAŠKE DOLINE, POSEJANIH S KORUZO**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**LEACHING ASSESSMENT OF SELECTED HERBICIDES IN  
ALUVIAL SOIL OF APAČE VALLEY, SOWED WITH MAIZE**  
GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija kmetijstvo - agronomija. Raziskovalno delo smo opravili na Centru za Pedologijo in Varstvo Okolja Oddelka za agronomijo v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je odobrila naslov diplomskega dela: »Ocena izpiranja izbranih herbicidov na obrečnih tleh Apaške doline, posejanih s koruzo« in za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Franca LOBNIKA in somentorico doc. dr. Marjetko SUHADOLC.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Franc BATIČ  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Franc LOBNIK  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Marjetka SUHADOLC  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Lea MILEVOJ  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svojega diplomskega dela v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddala v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Ana ŠTANGELJ

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 631.432.3:632.954(043.2)
KG	pedologija/talne lastnosti/herbicidi/izpiranje/modeliranje/model PELMO
KK	AGRIS P33/H01
AV	ŠTANGELJ, Ana
SA	LOBNIK, Franc (mentor) / SUHADOLC, Marjetka (somentor)
KZ	SI – 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2009
IN	OCENA IZPIRANJA IZBRANIH HERBICIDOV NA OBREČNIH TLEH APAŠKE DOLINE, POSEJANIH S KORUZO
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	IX, 40, [1] str., 12 pregl., 17 sl., 57 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	V diplomskem delu smo z modelom PELMO 3.22 ocenili izpiranje izbranih herbicidov na obrečnih tleh Apaške doline. Apaško polje je zaradi svojih pedoloških in hidroloških lastnosti eno izmed bolj ranljivih kmetijskih območij v Sloveniji, na katerem prihaja do onesnaženja podtalnice. Simulacije smo izvedli na 10 talnih profilih, ki pripadajo štirim pedokartografskim enotam (PKE) obrečnih tal Apaškega polja. Uporabili smo klimatske podatke meteorološke postaje Murska Sobota in sicer dnevne vrednosti padavin, temperature zraka in evapotranspiracije za obdobje 1998-2007. Izpiranje v obdobju 10 let smo ocenili za štiri različne herbicide in sicer: metolaklor, S-metolaklor, terbutilazin in atrazin, ki jih najdemo v pripravkih kot so Lumax, Primextra Gold 720 SC in Primextra 500 tekoči. Ti herbicidi zatirajo plevela v koruzi, ki je najbolj zastopana kulturna rastlina na Apaškem polju. Rezultati so pokazali, da so pri vseh simulacijah najbolj ranljiva tla za izpiranje herbicidov plitva obrečna tla na nekarbonatnem prodatem aluviju, evtrična in distrična (PKE 1935). Najmanjše koncentracije izpirka v odcedni vodi na dnu profila so bile, pri vseh talnih profilih, izračunane pri S-metolakloru, največje pa pri atrazinu v pripravku Primextra Gold 720 SC. Pri primerjavi enakih količin nanosa atrazina in terbutilazina (1280 g/ha/leto) je bila ocena koncentracij izpranega terbutilazina manjša kot za atrazin. Sprememba količin padavin je vplivala na spremembo ocene koncentracije izpranih FFS. Ugotovili smo, da na izpiranje izbranih FFS vplivajo tako lastnosti posameznih tal in FFS, odmere nanosa FFS in klimatske razmere. Model je pokazal, da za kvalitetne rezultate zahteva kakovostne vhodne podatke.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn  
 DC UDC 631.432.3:632.954(043.2)  
 CX pedology/soil properties/leaching/herbicides/modelling/ PELMO model  
 CC AGRIS P33/H01  
 AU ŠTANGELJ, Ana  
 AA LOBNIK, Franc (supervisor) / SUHADOLC, Marjetka (co-supervisor)  
 PP SI – 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy  
 PY 2009  
 TI LEACHING ASSESSMENT OF CHOSEN HERBICIDES IN ALUVIAL SOIL OF APAČE VALLEY, SOWED WITH MAIZE  
 DT Graduation thesis (University studies)  
 NO IX, 40, [1] p., 12 tab., 17 fig., 57 ref.  
 LA sl  
 AL sl/en  
 AB In diploma thesis we assessed leaching of chosen herbicides on alluvial soils of Apaško polje with model PELMO 3.22. Apaško polje is one of areas in Slovenia and shows more susceptibility for groundwater pollution due to its pedological and hydrological qualities. Simulations were made on 10 soil profiles that belong to four Pedocartographic Units (PCU) of alluvial soil of the Apaško polje. For climate data we used following data from meteorological station Murska Sobota: daily values of precipitation, temperature and evapotranspiration for the period 1998-2007. For simulations with PPP we used four different herbicides: metolachlor, S-metolachlor, terbuthylazine and atrazine, which are contained in preparations like Lumax, Primextra Gold 720 SC in Primextra 500 Liquid. These herbicides are used for weed protection in corn field which is main crop on Apaško polje. Results show that in all simulations the most vulnerable soils for leaching are shallow fulvisoils on noncarbonic gravel alluvium, evtric and district (PCU 1935). In all soil profiles lowest concentrations of leachate on soil bottom were calculated for S-metolachlor and highest for atrazine in Primextra Gold 720 SC. Comparative application of the same amount of terbuthylazine and atrazine resulted in higher concentration of terbuthylazine than of atrazine. Assessment of concentration of leached PPPs is affected by amendment of precipitation. We establish that the leaching of selected PPPs is affected by qualities of individual soil and PPP, application dose of chosen PPP and by climate conditions. The model showed that high-quality results require high-quality input data.

## KAZALO VSEBINE

	Ključna dokumentacijska informacija	str. III
	Key words documentation	IV
	Kazalo vsebine	V
	Kazalo preglednic	VII
	Kazalo slik	VIII
	Okrajšave in simboli	IX
<b>1</b>	<b>UVOD</b>	1
1.1	POVOD ZA IZDELAVO NALOGE	1
1.2	HIPOTEZE	2
<b>2</b>	<b>PREGLED OBJAV</b>	3
2.1	FITOFARMACEVTSKA SREDSTVA	3
<b>2.1.1</b>	<b>Fitofarmacevtska sredstva v okolju</b>	3
2.1.1.1	Obnašanje fitofarmacevtskih sredstev v tleh	5
<b>2.1.2</b>	<b>Herbicidi</b>	6
2.1.2.1	Atrazin	6
2.1.2.2	Terbutilazin	7
2.1.2.3	Metolaklor	7
2.1.2.4	S-metolaklor	8
2.2	UPORABA MODELOV ZA NAPOVED IZPIRANJA FFS	8
<b>2.2.1</b>	<b>Izbira modela</b>	9
<b>2.2.2</b>	<b>Vhodni podatki</b>	9
<b>2.2.3</b>	<b>Pravilna uporaba</b>	9
<b>2.2.4</b>	<b>Model PELMO</b>	10
2.3	OBMOČJE APAŠKEGA POLJA	10
<b>3</b>	<b>MATERIALI IN METODE</b>	12
3.1	IZBIRA LOKACIJE	12
<b>3.1.1</b>	<b>Tla</b>	12
3.2	IZBIRA MODELA	13

<b>3.2.1</b>	<b>Vhodni klimatski podatki</b>	13
<b>3.2.2</b>	<b>Vhodni pedološki podatki</b>	13
<b>3.2.3</b>	<b>Vhodni podatki o kulturni rastlini</b>	14
<b>3.2.4</b>	<b>Vhodni podatki o FFS</b>	14
<b>3.2.5</b>	<b>FOOTPRINT baza podatkov o FFS (PPDB)</b>	15
<b>4</b>	<b>REZULTATI</b>	17
4.1	KLIMATSKI PODATKI ZA APAŠKO POLJE	17
<b>4.1.1</b>	<b>Temperatura in padavine</b>	17
4.2	TLA IN ODCEDNE VODE	18
<b>4.2.1</b>	<b>Odcedne vode v tleh</b>	18
<b>4.2.2</b>	<b>Talne lastnosti</b>	20
4.3	IZPIRANJE FFS	20
<b>4.3.1</b>	<b>Izpiranje S-metolaklora</b>	20
<b>4.3.2</b>	<b>Izpiranje metolaklora</b>	21
<b>4.3.3</b>	<b>Izpiranje terbutilazina</b>	23
<b>4.3.4</b>	<b>Izpiranje atrazina</b>	25
4.3.4.1	Atrazin v pripravku Primextra Gold 720 SC	25
4.3.4.2	Atrazin v pripravku Primextra 500 tekoči	27
<b>4.3.5</b>	<b>Primerjava izpiranja atrazina in terbutilazina pri istem odmerku</b>	29
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI</b>	31
5.1	RAZPRAVA	31
<b>5.1.1</b>	<b>Lastnosti FFS</b>	31
5.1.1.1	S-metolaklor in metolaklor	31
5.1.1.2	Terbutilazin in atrazin	31
<b>5.1.2</b>	<b>Lastnosti tal in padavine</b>	32
<b>5.1.3</b>	<b>Odmerki</b>	33
<b>5.1.4</b>	<b>Model PELMO</b>	33
<b>5.1.5</b>	<b>Vhodni podatki</b>	33
5.2	SKLEPI	34
<b>6</b>	<b>POVZETEK</b>	35
<b>7</b>	<b>VIRI</b>	37
	<b>ZAHVALA</b>	

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Povzetek procesov v modelu PELMO (FOCUS, 2008)	10
Preglednica 2: Pedokartografske enote (PKE) obrečnih tal Apaškega polja	12
Preglednica 3: Prikaz fizikalno-kemijskih lastnosti aktivnih snovi, vzetih iz PPDB, ki smo jih uporabili kot vhodne podatke pri modelu PELMO	15
Preglednica 4: Prikaz podatkov o odmerku pripravkov in količini aktivnih snovi po pripravkih, ki smo jih uporabili kot količino za apliciranje	15
Preglednica 5: Povprečna letna temperatura zraka (°C) za obdobje od 1998 do 2007 (Klimatski ..., 2008)	17
Preglednica 6: Letne količine padavin izmerjene na meteorološki postaji Murska Sobota (MS) v letih 1998-2007 (Klimatski ..., 2008)	18
Preglednica 7: Povprečna letna ocena koncentracije izpranega metolaklor v odcedni vodi na dnu profila 3 (µg/l) pri odmerku 1200 g/ha/leto, izračunana z modelom PELMO, in povprečna letna količina padavin (mm), v obdobju od 1998 do 2007	23
Preglednica 8: Povprečna letna ocena koncentracij izpranega terbutilazina na dnu profila 3 (µg/l) pri odmerku 500 g/ha/leto, izračunana z modelom PELMO in povprečna letna količina padavin (mm), v obdobju od 1998 do 2007	25
Preglednica 9: Povprečna letna ocena koncentracije izpranega atrazina na dnu profila 3 (µg/l) pri odmerku 500 g/ha/leto, izračunana z modelom PELMO in povprečna letna količina padavin (mm), v obdobju od 1998 do 2007	27
Preglednica 10: Povprečna letna ocena koncentracije izpranega atrazina na dnu profila 3 (µg/l) pri odmerku 800 g/ha/leto, izračunana z modelom PELMO, in povprečna letna količina padavin (mm), v obdobju od 1998 do 2007	29
Preglednica 11: Povprečne letne ocene koncentracij izpranega terbutilazina (µg/l) in povprečne letne ocene koncentracij izpranega atrazina (µg/l) v odcedni vodi na dnu profila 3, pri odmerku 1200 g/ha/leto, izračunane z modelom PELMO za obdobje 10 let	30
Preglednica 12: Povprečne letne ocene koncentracije izpranega terbutilazina (µg/l) v odcedni vodi na dnu profila, pri odmerku 1280 g/ha/leto in 500 g/ha/leto ter povprečna letna ocena koncentracije izpranega atrazina (µg/l) v odcedni vodi na dnu profila izračunanih z modelom PELMO za obdobje 1998-2007	30



## KAZALO SLIK

Slika 1: Glavne poti razgradnje FFS (Wolters, 2003: 1)	4
Slika 2: Apaško polje (GoogleEarth, 2007)	11
Slika 3: Pedokartografska karta Apaške doline v merilu 1:5.000 (CPVO, 2009)	12
Slika 4: Povprečne mesečne padavine v letih 1998-2007 izmerjene na meteorološki postaji Murska Sobota (Klimatski..., 2008)	17
Slika 5: Povprečna količina odcedne vode (mm) na dnu profila v letih 1998-2007 po PKE izračunana z modelom PELMO in standardni odklon	18
Slika 6: Povprečna količina odcedne vode na dnu profila v obdobju 10 let, izračunana z modelom PELMO. Nad označbami profilov so podane tudi globine profilov v cm	19
Slika 7: Primerjava povprečnih mesečnih padavin (mm) in odcedne vode (mm) na dnu profila 3, izračunane z modelom PELMO v letih 1998-2007	19
Slika 8: Vsebnost organskega ogljika v tleh (%) glede na globino posameznega horizonta v profilu, izmerjenega pri laboratorijski analizi talnih vzorcev na Centru za pedologijo in varstvo okolja (CPVO)	20
Slika 9: Ocene povprečnih letnih koncentracij izpranega metolaklora ( $\mu\text{g/l}$ ) v odcedni vodi na dnu profila v obdobju 10 let, pri treh različnih odmerkih metolaklora, po profilih, izračunane z modelom PELMO	21
Slika 10: Ocena maksimalnih koncentracij metolaklora ( $\mu\text{g/l}$ ) v profilih pri največjem priporočenem odmerku metolaklora, izračunane z modelom PELMO	22
Slika 11: Ocena povprečne letne koncentracije izpranega terbutilazina ( $\mu\text{g/l}$ ) v odcedni vodi na dnu profila v obdobju 10 let, pri treh različnih odmerkih terbutilazina, po profilih, izračunana z modelom PELMO	23
Slika 12: Ocena maksimalnih koncentracij terbutilazina ( $\mu\text{g/l}$ ) v profilih pri največjem priporočenem odmerku terbutilazina	24
Slika 13: Ocene povprečne letne koncentracije atrazina ( $\mu\text{g/l}$ ) v odcedni vodi na dnu profila v obdobju 10 let, pri treh različnih odmerkih atrazina, v pripravku Primextra Gold 720 SC, po profilih, izračunane z modelom PELMO	25
Slika 14: Ocena maksimalnih koncentracij izpranega atrazina po profilih pri največjem priporočenem odmerku atrazina v pripravku Primextra Gold 720 SC (1280 g/ha/leto), izračunane z modelom PELMO	26
Slika 15: Ocena povprečne letne koncentracije izpranega atrazina ( $\mu\text{g/l}$ ) v odcedni vodi na dnu profila v obdobju 10 let, pri treh različnih odmerkih atrazina, v pripravku Primextra 500 tekoči, izračunane z modelom PELMO	27
Slika 16: Ocena maksimalnih koncentracij atrazina v profilih pri največjem dovoljenem odmerku pripravka Primextra 500 tekoči, izračunane z modelom PELMO	28
Slika 17: Primerjava povprečnih koncentracij izpranega atrazina ( $\mu\text{g/l}$ ) in terbutilazina ( $\mu\text{g/l}$ ) v odcedni vodi na dnu profila (izpirek) pri odmerku 1200 g/ha/leto, po posameznih profilih, za obdobje 10 let, izračunanih z modelom PELMO	29

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

μ	Mikro
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
C	Ogljik
CPVO	Center za pedologijo in varstvo okolja
DT50	Razpolovni čas
FFS	Fitofarmacevtsko sredstvo
FOCUS	Forum for the co-ordination of pesticide fate models an their use
FOOTPRINT	Functional tools for pesticide risk assessment and management
g	Gram
GUS	Groundwater Ubiquity Score
ha	Hektar
k	Kilo
K <sub>oc</sub>	Porazdelitveni koeficient na organski ogljik
l	Liter
m	Mili
mm	Milimeter
mol	Množina snovi
org.	Organski
PELMO	Pesticide Leaching Model
pH	Enota za merjenje kislosti/bazičnosti
PPDB	Pesticide properties database
RS	Republika Slovenija

## 1 UVOD

Ob rastočem svetovnem prebivalstvu rastejo tudi potrebe po hrani. Zaradi vse večje potrebe po zagotavljanju zadostne količine kakovostnih pridelkov, je uporaba fitofarmaceutskih sredstev (FFS) v kmetijstvu postala neizogibna. FFS so po definiciji sintetične ali naravne snovi, ki varujejo rastline pred škodljivimi organizmi (Milevoj, 2007).

Potem ko FFS dosežejo svoj zaželen pozitiven učinek, njihove ostanke v okolju obravnavamo kot onesnažila. Po vstopu v tla so FFS podvržena številnim biološkim, kemičnim in fizikalnim procesom v tleh. Ti vključujejo vezavo, izhlapevanje, kemično in biološko razgradnjo, vnos v rastline, izpiranje skozi talni profil in odtekanje s površine (Arias – Estévez in sod., 2008). Na usodo FFS v tleh poleg talnih lastnosti, vplivajo tudi fizikalno-kemijske lastnosti pripravka in tehnike nanosa, klimatske značilnosti območja, kot tudi vegetacija ter način rabe tal. Po vstopu v tla se FFS lahko izperejo v nižje plasti tal, kar posledično lahko vodi do onesnaženja podzemnih vodnih virov. Odtekanje FFS s površine tal, lahko vodi tudi v onesnaževanje površinskih voda.

V Sloveniji so podzemne vode obremenjene predvsem z nitrati in s FFS ter njihovimi razgradnimi produkti. Za ugotavljanje onesnaženosti podzemnih voda se v okviru državnega monitoringa, kakovost podzemnih voda spremlja že od leta 1987 (Poročilo ..., 2007).

Ker napačna raba FFS lahko vodi do negativnih vplivov FFS na okolje, je vedno več raziskav usmerjenih v zmanjševanje potencialnih negativnih vplivov uporabe FFS. Laboratorijski in poljski poskusi preučevanja usode FFS so se pokazali kot časovno in finančno zelo zahtevni, zato v zadnjem času raziskovalci veliko pozornosti namenjajo razvijanju računalniških modelov, ki s simulacijami napovedujejo obnašanje FFS v okolju. Poznamo modele za ocenjevanje izpiranja FFS skozi tla, ocenjevanje izhlapevanja FFS s površine tal ter ocenjevanje površinskega odtoka FFS. Modeli se med seboj razlikujejo po zahtevnosti ter po količini vhodnih podatkov, ki jih model zahteva. Eden od enostavnejših računalniških modelov za ocenjevanje izpiranja FFS skozi tla je model PELMO. Z njim lahko izračunamo količino izprane snovi glede na talne lastnosti, vrsto kulturnih rastlin, lastnosti in količino uporabljenih aktivnih snovi in glede na klimatske razmere.

### 1.1 POVOD ZA IZDELAVO NALOGE

Apaško polje je zaradi svoje ravninske lege ugodno za razvoj kmetijstva. Kot posledica intenzivnega kmetijstva ter neugodnih hidroloških in pedoloških lastnosti tal se onesnaženost podtalnice Apaškega polja z nitrati in s FFS ugotavlja že vrsto let (Pintar in sod., 1996; Belović in sod., 2008).

Namen diplomske naloge je bila izdelava ocen izpiranja izbranih herbicidov na obrečnih tleh Apaške doline. Med najpogosteje uporabljanimi herbicidi tega območja so atrazin, terbutilazin, metolaklor in S-metolaklor, ki se uporabljajo oz. so se uporabljali pri varstvu koruze pred pleveli. Za izdelavo ocen izpiranja FFS skozi talni profil smo uporabili uveljavljen matematični model PELMO. Končni cilj naloge je bil ugotoviti ranljivost obrečnih tal v Apaški dolini za izpiranje izbranih FFS.

## 1.2 HIPOTEZE

Predvidevamo:

1. Da na ocene izpiranja izbranega FFS skozi tla vplivajo fizikalno-kemijske lastnosti izbranih FFS. Predvidevamo, da se bo najbolj izpiral atrazin, ker ima med izbranimi FFS najmanjšo sposobnost vezave na talne delce.
2. Da je izpiranje izbranih FFS odvisno od odmerka izbranega FFS. Predvidevamo, da je izpiranje večje ob večjem odmerku izbranega FFS.
3. Da na izpiranje FFS vplivajo fizikalno-kemijske lastnosti tal. Predvidevamo, da bo izpiranje odvisno od globine tal, teksture in deleža organske snovi.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 FITOFARMACEVTSKA SREDSTVA

Fitofarmacevtska sredstva (FFS) so v končni obliki aktivne snovi in pripravki, ki so namenjeni za (Zakon o fitofarmacevtskih sredstvih, 2001):

- varstvo rastlin oziroma rastlinskih proizvodov pred škodljivimi organizmi oz. preprečevanje delovanja škodljivih organizmov;
- vpliv na življenjske procese rastlin, drugače kot s hranili;
- ohranjanje rastlinskih proizvodov, če niso predmet drugih predpisov;
- zatiranje nezaželenih rastlin, delov rastlin, zadrževanje ali preprečevanje nezaželene rasti rastlin.

FFS se najpogosteje uporabljajo na kmetijskih površinah, uporabljajo pa se tudi na nekmetijskih površinah na primer pri urejanju parkovnih nasadov v mestih, gradnja železniških prog ter gradnji cest (Bregar, 2003).

Trgovski pripravek FFS sestoji iz aktivne snovi (izražena v %, g/l ali g/kg) in dodatnih snovi. Aktivna snov ima biotičen učinek. Dodatne snovi omogočajo delovanje FFS in so nosilci aktivne snovi (Milevoj, 2007).

Glede na vrsto organizmov, ki jih FFS zatirajo, le ta v grobem delimo na: baktericide (zatiranje bakterij), fungicide (zatiranje gliv), insekticide (zatiranje žuželk), akaricide (zatiranje pršic), herbicide (zatiranje plevelov oz. neželenih rastlin), nematicide (zatiranje ogorčic ali nematod), limacide (zatiranje polžev) in rodenticide (zatiranje glodavcev) (Celar, 2006).

Poraba FFS na hektar obdelovalnih zemljišč se je v Sloveniji v obdobju 2000–2006 rahlo povečevala do leta 2004, in sicer s 6,8 kg aktivnih snovi/ha v letu 2000 na 7,5 kg aktivnih snovi/ha v letu 2004, medtem ko se je v letu 2005 zopet zmanjšala na 6,93 kg aktivnih snovi/ha. V letu 2006 se je obremenitev kmetijskih zemljišč še dodatno zmanjšala za več kot 0,5 kg in sicer na 6,24 kg aktivnih snovi/ha. Glede na države EU-15 je poraba FFS na hektar v Sloveniji v povprečju nekoliko večja, je pa podobna porabi v primerljivih državah s podobnimi vrstami gojenih rastlin in podobnimi pridelovalnimi razmerami (Simončič, 2009).

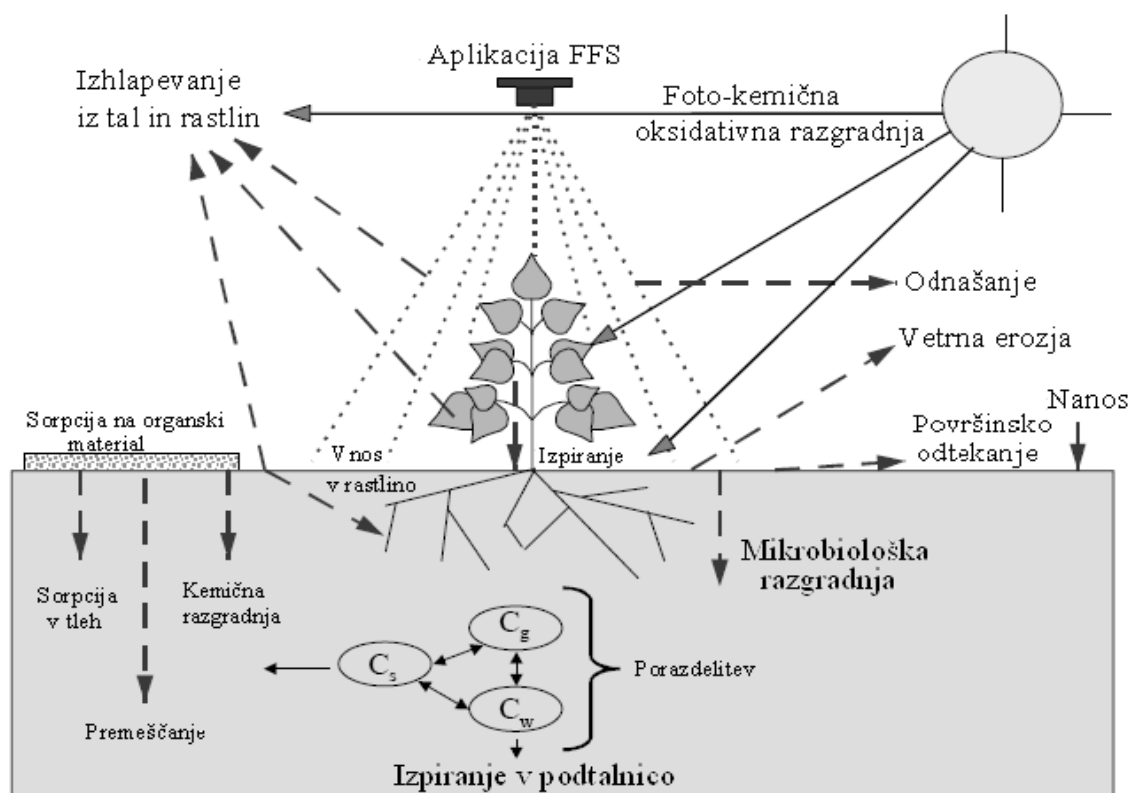
#### 2.1.1 Fitofarmacevtska sredstva v okolju

Velika večina nanesenega FFS se porazdeli v okolju, saj po podatkih iz različnih virov literature le od 0,1 do 0,3% uporabljene količine FFS doseže ciljne organizme (Pimentel in Levitan, 1986; van der Werf, 1996). Zato večja uporaba FFS v splošnem pomeni tudi večje tveganje za okolje. Do onesnaževanja okolja s FFS lahko privede tako rutinska uporaba FFS na kmetijskih površinah (razpršeno onesnaženje), kot tudi neustrezno ravnanje na primer z ostanki pripravkov in embalaže (točkovno onesnaženje).

FFS lahko razvrstimo glede na njihovo obstojnost v okolju: neobstojna, v okolju ostanejo od nekaj dni do okoli 12 tednov; zmerno obstojna, ostanejo od 1 do 18 mesecev; obstojna, ostanejo od nekaj mesecev do 20 let in trajna, v okolju ostanejo nedoločen čas (Koren in Bisesi, 2003).

Usodo FFS v okolju določajo procesi vezave, transformacij in prenosa (Slika 1) (Wolters, 2003; Suhadolc, 2007):

- izhlapevanje v zrak;
- transport z gibanjem vode (površinski odtok, prenos v tleh, izpiranje v podtalnico);
- vetrna erozija;
- prenos v organizme (sprejem v rastline ter talno floro in fauno);
- vezava na talne delce (adsorpcija-desorpcija);
- transformacija;
- razgradnja (biološka, kemijska).



Slika 1: Glavne poti razgradnje FFS (Wolters, 2003: 1)

Na usodo FFS v okolju vplivajo kemijske in fizikalne lastnosti posameznega FFS, lastnosti območja kot so tla, geološke lastnosti in vegetacija, klimatske razmere in ravnanje uporabnika pri nanosu (Wolters, 2003).

Med lastnostmi FFS, ki vplivajo na njihovo obnašanje v tleh, so najpomembnejše njegove kemijske in fizikalne lastnosti pa tudi koncentracija uporabljenega FFS in njegova

formulacija. Na obnašanje FFS vplivajo tudi kmetijske tehnike kot so metode nanosa FFS, čas nanosa (v letu in dnevu), količina in pogostost nanosa, obdelava tal, namakanje, uporaba gnojil in drugih FFS.

Lastnosti območja, ki vplivajo na obnašanje FFS so: lastnosti tal (tekstura, struktura, vsebnost organske snovi, mikrobiološka aktivnost, voda v tleh, talni pH). Pomembne so tudi karakteristike zemljišča (nagib, nadmorska višina, geografska lokacija, pokritost).

Na obnašanje FFS vplivajo tudi klimatske razmere. To so padavine, vlažnost zraka, evapotranspiracija, temperatura zraka in tal, sončno sevanje, veter in zračni tokovi.

#### 2.1.1.1 Obnašanje fitofarmaceutskih sredstev v tleh

Tla imajo velik vpliv na usodo in obnašanje FFS. Ko FFS vstopijo v tla, se molekule razporedijo med vodno in trdno fazo, to pa naprej vpliva na vse procese v usodi FFS v tleh (Kah in Brown, 2006).

Izguba FFS v tleh skozi kemične in mikrobiološke procese se skupno imenuje razgradnja (van der Werf, 1996). Razgradnja je pomemben proces zmanjševanja FFS v okolju (Guo in sod., 2000). Nekatera FFS so bolj podvržena razgradnji kot druga. Razgradnja FFS največkrat vodi do tvorbe enostavnih in neškodljivih spojin kot na primer do ogljikovega dioksida (van Es in Trautmann, 1990), lahko pa vodi do novih komponent, ki so lahko bolj toksične kot prvotne spojine. Čas razgradnje se meri v razpolovni dobi. Razpolovna doba (DT50) je definirana kot čas, ki je potreben, da se razgradi polovica FFS. FFS, ki imajo vrednost DT50 večjo kot 30 dni, imajo večji potencial za izpiranje (Landon in sod., 1994). Razpolovne dobe merjene na polju so splošno krajše kot tiste merjene pod kontroliranimi laboratorijskimi pogoji (van der Werf, 1996).

Vezava FFS na talne delce zmanjša dostopnost in mobilnost FFS (van der Werf, 1996). Splošno je znano, da vezava na delce omejuje razgradnjo FFS z zmanjševanjem porazdelitve v tekočo fazo tal (Guo in sod., 2000). Vezava se razlikuje med FFS in vpliva na aktivnost FFS in njegovo razgradnjo v tleh. Za oceno potenciala vezave FFS na organsko snov tal uporabljamo porazdelitveni koeficient organskega C ( $K_{oc}$ ,  $dm^3kg^{-1}$ ), ki je posledično lahko tudi merilo mobilnosti FFS v tleh. Večji kot je  $K_{oc}$ , bolj se FFS veže na organsko snov tal, zato so FFS z majhno vrednostjo  $K_{oc}$  bolj nagnjena k izpiranju (Landon in sod., 1994; van der Werf, 1996).

V splošnem obstajata dve poti po katerih lahko FFS dosežejo površinske in podzemne vode – s površinskim odtekanjem in z izpiranjem skozi talni profil. Odtekanje je fizični transport FFS po površini tal s padavinsko vodo, ki ne vstopi v tla. Izpiranje je proces, kjer so FFS izprana skozi tla s padavinami ali z namakalno vodo, ki se premika navzdol (Rao in sod., 1983). Izpiranje lahko vodi do onesnaževanja podzemnih voda. V kakšnem obsegu se onesnaženost podtalnice pojavi, je odvisno med drugim od lastnosti FFS, karakteristik tal, stopnje drenaže in globine podtalnice. Verjetnost onesnaženja podtalnice je odvisna tudi od

količine vode, ki se prenaša po površju in skozi tla. Gustafson (1989) je predlagal enojen numerični indeks za napovedovanje potenciala FFS za onesnaževanje podzemnih voda – GUS (»Groundwater ubiquity score«). FFS, ki se zaznavajo v podtalnici, imajo ponavadi GUS vrednosti nad 2.8, medtem ko FFS z GUS vrednostjo pod 1.8 v podtalnici niso bili zaznani. Stopnja FFS, ki se izpirajo skozi tla, se zmanjšuje s povečevanjem vsebnosti organske snovi in globino površinske plasti z veliko biološko aktivnostjo. V večini tipov tal prisotnost makropor povečuje možnost izpiranja FFS v podtalnico (van der Werf, 1996).

## 2.1.2 Herbicidi

Herbicidi so kemične snovi za zatiranje plevelov. To so pripravki, ki jih uporabljamo proti plevelu ali neželenemu rastju v posevkih, nasadih, gozdovih, pašnikih. Uporabljajo se tudi za vzdrževanje nekmetijskih površin, kot so igrišča za golf, železniške proge, ceste itd.

Herbicide po obsegu delovanja razdelimo na dve kategoriji: selektivni herbicidi, ki zatirajo samo nekatere rastlinske vrste, in na totalne herbicide, ki uničijo vse ali večino rastlinskih vrst (Maček in Kač, 1991).

Glede na čas uporabe ločimo: herbicide, ki jih uporabljamo pred setvijo ali saditvijo; herbicide, ki jih uporabljamo po setvi, vendar pred vznikom gojene rastline; herbicide, ki jih uporabljamo po vzniku, ko so gojene rastline v določenem stadiju rasti; herbicide, s katerimi škropimo pod liste gojene rastline (Maček in Kač, 1991).

### 2.1.2.1 Atrazin

Atrazin je triazinski selektiven sistemski herbicid. Uporabljal se je za zatiranje večine širokolistnih plevelov in trav na kmetijskih površinah. Najpogosteje se je uporabljal za zatiranje plevela v koruzi pa tudi v sladkornem trsu, sadnih nasadih, vinogradništvu in gozdarstvu. Poleg tega se je uporabljal kot totalni herbicid pri vzdrževanju cest, železniških prog in urbanih površin, najpogosteje v kombinaciji z drugimi aktivnimi snovmi (Graymore in sod., 2001). Atrazin se večinoma absorbira skozi korenine in se nato transportira v rastne vršičke in liste, kjer zavira fotosintezo in povzroča rumenenje in posledično propad organizma (NRA, 2002).

Atrazin se lahko razgradi na mnoge razgradne produkte, vsak ima svojo različno obstojnost in toksičnost. Razgradni produkti atrazina so hidroksiatrazin (HA), deetilatrazin (DEA), deisopropilatrazin (DIA), didealkilatrazin (DDA) in deetilhidroksil atrazin (DEHA) (Graymore in sod., 2001). Podatki za razpolovno dobo za atrazin so zelo različni. Na FOOTPRINT bazi PPDB je značilna vrednost 75 dni, po drugih podatkih se DT50, izmerjena na polju, giblje med 12 in 108 dni (PPDB, 2009). Koc vrednost je 100 ml/g, razpon pa je tudi od 89 do 513 ml/g.

Atrazin in njegovi razgradni produkti se v podtalnici pojavljajo še dolga leta po njegovi uporabi (Papiernik in Spalding, 1998; Guzzella in sod., 2006), na kar kaže tudi GUS



indeks, ki je 3.75 (PPDB, 2009). Prav obremenjenost podtalnice z atrazinom in njegovimi razgradnimi produkti je vzrok za prepoved uporabe atrazina v Sloveniji od leta 2002 (Koprivnikar – Bobek, 2009). Zaradi pogostega pojavljanja atrazina in njegovih razgradnih produktov v površinskih kot tudi v podzemnih vodah je prepovedalo ali omejilo njegovo uporabo tudi več Evropskih držav (Prosen in Zupančič – Kralj, 2005).

#### 2.1.2.2 Terbutilazin

Terbutilazin je selektivni s-triazinski, predvsem talni herbicid, ki deluje proti številnim semenskim širokolistnim in travnim plevelom pa tudi proti nekaterim trajnim (Maček in Kač, 1991). Najpogosteje se uporablja v koruzi (Gerstl in sod., 1996).

Predstavitev terbutilazina v Evropi se je začela skoraj dve desetletji pozneje kot za atrazin. Zaradi negativnih izkušenj z atrazinom se terbutilazin v pripravkih nikoli ni uporabljal v velikih količinah ali na nekmetskih površinah in zato ostaja pomemben herbicid v Evropi, tako za koruzo kot za vinsko trto. Registracija terbutilazina v Evropi za uporabo v koruzi se je začela v Nemčiji (1983), Avstriji (1984), Italiji (1987), na Nizozemskem (1990) in Danskem (1993). Terbutilazin je tako postal glavni triazinski herbicid v Evropi, kjer je bila uporaba atrazina ukinjena zaradi zaznavanja visokih koncentracij, izmerjenih v podtalnici (LeBaron in sod., 2008).

Razpolovna doba za terbutilazin se giblje od 11 do 124 dni, odvisno od karakteristik tal in temperatur (PPDB, 2009). Koc vrednost za terbutilazin se giblje od 151 do 333 ml/g, to pomeni, da je terbutilazin zmerno mobilan v tleh (PPDB, 2009). GUS indeks je 3,13 kar pomeni, da je pri terbutilazinu glede na njegove kemijske lastnosti velika možnost za izpiranje (PPDB, 2009).

#### 2.1.2.3 Metolaklor

Metolaklor je selektivni sistemični talni herbicid. Sestavljen je iz 50% S-izomer in 50% R-izomer. V študijah se je pokazalo, da je večina aktivnosti metolaklora zaradi S-izomere (Shaner in sod., 2006).

Metolaklor v rastlino prodre skozi hipokotil in deluje kot zaviralec kalitve. Uporabljamo ga predvsem za zatiranje enoletnih trav in nekaterih širokolistnih semenskih plevelov v kmetijstvu, v koruzi, soji, sončnicah in sladkorni pesi (Maček in Kač, 1991). Uporablja se tudi na nekmetskih površinah, ob cestah in pri vzgoji okrasnih rastlin.

Metolaklor se v tleh ne razgradi takoj. Razpolovna doba metolaklora se po različnih literaturah spreminja in se giblje od 6 do 100 dni. Njegova tipična razpolovna doba je 90 dni, zaradi česar ga lahko označimo za zmerno obstojen herbicid (PPDB, 2009). Vrednost Koc za metolaklor je 200 ml/g, kar pomeni, da je v tleh zmerno mobilan (PPDB, 2009). GUS indeks je 3,32, kar pomeni, da je pri metolakloru, glede na njegove kemijske lastnosti, velika možnost za izpiranje (PPDB, 2009).

#### 2.1.2.4 S-metolaklor

V letu 1997 je Novartis (Novartis Crop Protection) predstavil S-metolaklor za zamenjavo z metolaklorom kot aktivno substanco v več linijah izdelkov znamk DUAL, BICEP in PRIMEXTRA (O'Connell in sod., 1998). Komercialna formulacija S-metolaklora je sestavljena iz 88% S-izomer in 12% R-izomer, vendar je samo S-izomera biološko aktivna sestavina (Shaner in sod., 2006). Zaradi velike vsebnosti S-izomere je S-metolaklor bolj učinkovit že pri nižjih količinah kot metolaklor (O'Connell in sod., 1998). S-metolaklor je organski herbicid za zatiranje enoletnih ozkolistnih in širokolistnih plevelov. Uporablja se v koruzi pa tudi soji, sončnicah in sladkorni pesi (Seznam ..., 2008).

Koc vrednost za S-metolaklor je v Evropi od 110 mg/l do 369 mg/l (PPDB, 2009), kar pomeni, da je v tleh zmerno mobilen. Tipična razpolovna doba v tleh je 15 dni, to pomeni, da S-metolaklor v tleh ni obstojen (PPDB, 2009). GUS indeks je 1.94, to pomeni, da je pri S-metolakloru glede na njegove kemijske lastnosti majhna možnost za izpiranje (PPDB, 2009).

## 2.2 UPORABA MODELOV ZA NAPOVED IZPIRANJA FFS

Za ocenjevanje potenciala izpiranja FFS skozi talni profil in ocenjevanju površinskega odtoka je bilo razvitih veliko število različnih metod. Za preučevanje izpiranja v podtalnico so že več desetletij uveljavljeni poskusi z uporabo 14-C označenih FFS v talnih monolitih, bodisi da gre za laboratorijske poskuse v talnih kolonah bodisi lizimetske poskuse na polju (Suhadolc, 2007). Vendar so ti poskusi izvedbeno in finančno zahtevni ter hkrati časovno in geografsko omejeni (Gustafson, 1995). Zato so se za ocenjevanje usode FFS v okolju vzporedno razvijali računalniški modeli, ki so uporabljali rezultate laboratorijskih in poljskih poskusov.

Razvoj modeliranja usode FFS se je začel v zgodnjih 80-ih 20. stoletja. Od takrat je bil dosežen velik napredek v napovedovanju obnašanja FFS v okolju (FOOTPRINT, 2006). Tako je zdaj na voljo veliko število modelov za ocenjevanje usode FFS (Gustafson, 1995; Klein in sod., 2000; Dubus in sod., 2003; FOOTPRINT, 2006). Modeli izpiranja FFS so postali temelji v ocenjevanju usode FFS v okolju v okviru registracije FFS v EU in njenih članicah (Surdyk in sod., 2007). V okviru usklajenega Evropskega procesa registracije FFS so v uporabi štirje modeli: PRZM-3, PELMO (Pesticide Leaching MOdel), PEARL (Pesticide Emission Assessment for Regional and Local Scales) in MACRO. Vsi modeli so enodimenzionalni, dinamični, večplastni modeli usode FFS in njihovih pomembnih razgradnih produktov v sistemu tal (Tiktak in sod., 2004).

Modeli predstavljajo pomembna orodja, ker omogočajo učinkovito preverjanje velikega števila FFS, talnih tipov, klimatskih razmer in drugih dejavnikov v razumnem časovnem okviru in ob relativno nizkih stroških. Ti modeli so v zadnjih dveh desetletjih postali zelo zapleteni v poskusih, da se izboljšajo natančnosti napovedovanja v razmerah na polju (Nolan in sod., 2009). Modeli za napoved usode kemikalij v okolju imajo pomembno

vlogo v postopku registracije in pri oceni tveganja novih produktov (Jantunen in sod., 2004).

### **2.2.1 Izbira modela**

Izbiri modela se navadno namenja malo pozornosti, vendarle pa se modeli bistveno razlikujejo po zanesljivosti rezultatov, ki jih pridobimo z modeliranjem (Suhadolc in Lobnik, 2006). Pred izbiro modela mora potencialni uporabnik določiti namen in cilje raziskave, natančne cilje načrtovanega modeliranja, dostopnost podatkov, čas, dostopnost računalniške tehnologije ter izkušnje uporabnika modela. To pripomore k temu, da se zoži seznam izbire modela, ki bo dal zadovoljive rezultate, ne da bi pri tem zahteval preveč časa in razpoložljivih virov (Jantunen in sod., 2004). Kriteriji, ki vplivajo na izbor modela, so sledeči: dostopnost vhodnih podatkov, časovna zahtevnost, potrebni računalniški sistemi, izkušnje z modeliranjem ter namen študije (Dubus in sod., 2004).

### **2.2.2 Vhodni podatki**

Zahteve po vhodnih podatkih so med modeli različne, v splošnem pa potrebujemo naslednje podatke (Suhadolc in Lobnik, 2007):

- podnebje (padavine, temperatura in potencialna evapotranspiracija);
- tla (horizonti, globina, organska snov, tekstura, hidrološke karakteristike);
- rastlinski pokrov (datum setve oz. kalitve in žetve, z označbo glede na razvojno stopnjo rastline);
- fitofarmacevtsko sredstvo (odmerki, sorpcija in razgradnja v tleh).

Vhodni podatki se delijo na splošne parametre in parametre o lokaciji: prvi so potrebni za delovanje osnovnih procesov v modelu, drugi definirajo specifične lastnosti lokacije, za katero je model uporabljen. Najpomembnejše za pravilno delovanje modela je pridobitev kakovostnih vhodnih podatkov. Od kakovosti vhodnih podatkov je odvisna kakovost izhodnih podatkov modela (Jantunen in sod., 2004).

### **2.2.3 Pravilna uporaba**

Za pridobitev uporabnih in pomembnih podatkov je nujna pravilna uporaba modela. Matematični modeli so najboljša možna poenostavitev stvarnosti, zato rezultatom simulacije nikoli ne smemo preveč zaupati, še posebno, kadar so v model vključene pomembne ekstrapolacije iz realnih razmer (Jantunen in sod., 2004). Čeprav je uporaba računalniških modelov za registracijo FFS atraktivna opcija v smislu začasnih finančnih virov in virov delovne sile v primerjavi s poskusi, model sam po sebi ni samostojen in je potrebno dodatno eksperimentalno delo.

Med dosegljivimi modeli naj bi se odločili za »najmanj nepopoln« model. Pomembno je, da končni uporabniki (pogosto nosilci politike in odločevalci) hkrati z rezultatom modeliranja dobijo tudi informacijo o virih in stopnji nezanesljivost modela (Suhadolc in Lobnik, 2007).

## 2.2.4 Model PELMO

PELMO je oddelčni model, ki simulira premikanje kemikalij v nenasičenih talnih sistemih znotraj in pod cono rastlinskih korenin (Klein in sod., 2000). Predstavljen je bil leta 1991 kot pomembna različica modela PRZM. V programu je uporabljen tudi transport, ki se spreminja s časom, vključno z advekcijo in disperzijo. PELMO je zasnovan na podlagi PRZM-1 modela, vendar so bili dodani še drugi procesi za odpravo omejitev modela PRZM-1 (Klein in sod., 2000). Proces vključujejo ocene temperature tal, razgradnjo, sorpcijo, izhlapevanje FFS in evapotranspiracijo (Wolters, 2003).

PELMO računa obnašanje substanc za določeno situacijo (scenarij), za katero morajo biti vsi vhodni podatki podani kot edinstvene vrednosti (Klein, 1997). V preglednici 1 so opisani glavni procesi, ki jih model upošteva.

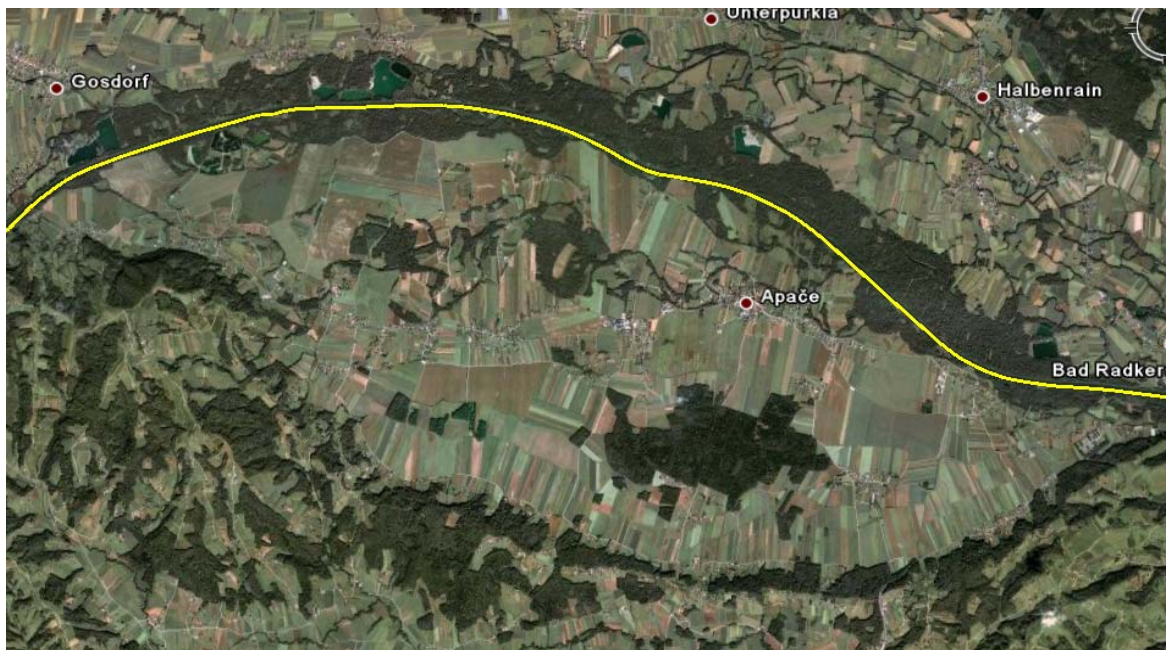
Preglednica 1: Povzetek procesov v modelu PELMO (FOCUS, 2008)

Proces	Opis
Gibanje vode	Na kapaciteti zasnovan tok vode (pristop prevrnjeno vedro- »tipping bucket«), ki uporablja dnevni interval za vse hidrološke procese; tok vode skozi makropore in kapilarni dvig nista vključena.
Gibanje FFS	Enačba za konvekcijo in disperzijo, enačba na podlagi dnevnih intervalov.
Simulacija poljščine	Spreminjanje območja korenin med rastno dobo, spreminjanje olistanosti med rastno dobo, prestrezanje vode z rastlinami, prestrezanje FFS z rastlinami, odtekanje vode z listov, razpad listov.
Razgradnja v tleh	Stopnja razgradnje prvega reda, korekcija stopnje razgradnje z globino, upoštevanje talne vlage in temperature.
Vezava FFS na tla	Kd, Koc, Freundlich-ova enačba za sorpcijo, možnost povečanja sorpcije s časom, možnost avtomatske odvisnosti sorpcije od pH.
Izhlapevanje FFS (iz tal)	Preprost model, ki upošteva Fick-ov zakon in Henry-jev zakon.
Površinski odtok vode	Empirična metoda »Soil Conservation Service curve number technique«.
Erozija tal	Modificirana enačba »Modified Universal Soil Loss Equation«
Temperatura tal	Empirični model, ki uporablja temperaturo zraka.
Prezem FFS v rastline	Enostavni model, ki temelji na koncentracijah FFS v tleh.
Nanos FFS	Nanos so lahko: foliarno pršenje, nanos na talno površino, inkorporacija v tla.
Metabolizem FFS v tleh	Model vsebuje kompleksen modul, ki omogoča simulacijo izpiranja do 8 metabolitov, sočasno z aktivno snovjo.

## 2.3 OBMOČJE APAŠKEGA POLJA

Apaško polje (Slika 2) se nahaja v Pomurju, na severo vzhodu Slovenije. Na severni strani polje obrobja reka Mura, na jugu pa obronki Slovenskih goric, tako ima Apaško polje sigmoidno obliko. Nastalo je z bočno erozijo reke Mure, ki je v pleistocenu segala vse do gričevnatega obrobja. Območje obsega 54,73 km<sup>2</sup>, od tega je 36,53 km<sup>2</sup> ali 66,7% kmetijskih zemljišč. Gozd zajema 24,5% območja, 7,4% območja je urbanega (Sušin, 2008). Makrorelief je raven s srednjo nadmorsko višino 223 m (Prestor in Meglič, 2008). Najbolj zastopane kulturne rastline so žita (80%), druge najbolj zastopane kulturne rastline so oljnice 14% in koreninske poljščine 5% (Topolovec, 2008).

Apaška dolina po Koppenu spada v vlažni zmerno topli klimatski pas s sušno zimo. Letno povprečje padavin je 916 mm, povprečna letna temperatura znaša 10,09°C (Topolovec, 2008). Vegetacijska doba je 249 dni.



Slika 2: Apaško polje (GoogleEarth, 2007)

Po geološki karti leži Apaško polje v Panonskem bazenu. Pripada Murski depresiji v širšem smislu, v ožjem smislu pa Radgonski depresiji, ki je ena od pliokvartarnih kadunij. Depresija je zapolnjena s kvartarnimi naplavinami reke Mure. Z jugovzhodne, južne in jugozahodne strani jo omejujejo lenarški, negovski in radgonski blok. Glavni geološki kartografski enoti na tem območju sta rečne terase in peščena glina z lečami proda. Relativno pomembna enota je še povodenjski farcies in farcies korit. Ostale kartografske enote (barjanski sedimenti, peščena glina, farciesi mrtvih korit) se pojavljajo le v zelo majhnem obsegu. Območje ima enostavno litološko zgradbo in pripada klastičnim terciarnim in kvartarnim sedimentom (Pintar in sod., 1996).

Vodonosnik Apaško polje spada med vodonosnike z medzrnsko poroznostjo v aluvialnih nanosih v večjih rečnih dolinah. Gladina podtalnice se giblje med 3 in 5m, le v Zgornjem Konjišču je podtalnica globlja in sicer se gladina giblje od 6 do 6,8m. V zadnjih letih se je gladina podtalnice na merilnem mestu Plitvice znižala in znaša od 2,3 do 3,5m (Hidrološki letopisi Slovenije od leta 1999 do 2005).

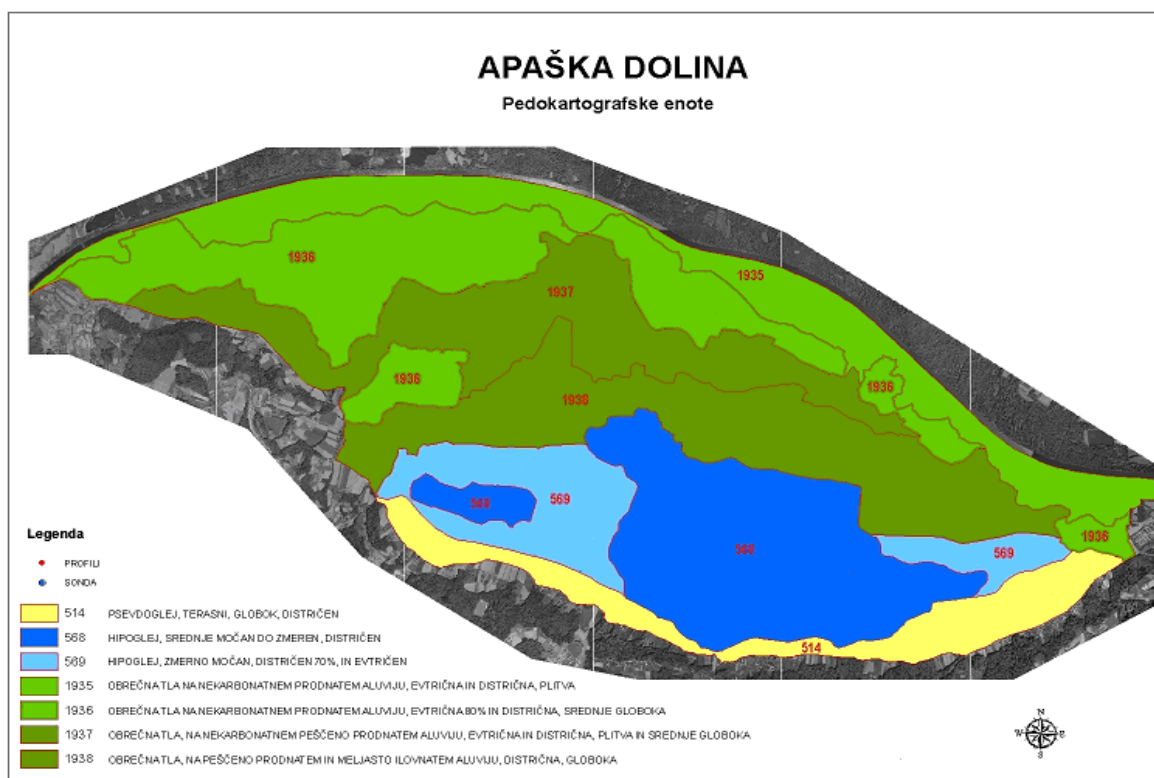
### 3 MATERIALI IN METODE

#### 3.1 IZBIRA LOKACIJE

Kot modelno lokacijo smo izbrali najbolj občutljiv del Apaškega polja in sicer obrečna tla. Zaradi plitve podtalnice ter intenzivnega kmetijstva je tveganje za onesnaženje podtalnice s FFS zelo veliko. Za to lokacijo smo se odločili tudi na podlagi dejstev, da so nekateri pedološki podatki že bili zbrani na Centru za pedologijo in varstvo okolja (CPVO).

##### 3.1.1 Tla

Tla, ki smo jih uporabili za diplomsko nalogo, spadajo med obrečna tla, in sicer med štiri različne tipe obrečnih tal (Preglednica 2, Slika 3). V območju obrečnih tal Apaške doline smo vzeli 10 talnih profilov in sicer po en talni profil iz PKE 1935 in PKE 1937, po štiri talne profile iz PKE 1936 in PKE 1938.



Slika 3: Pedokartografska karta Apaške doline v merilu 1:5.000 (CPVO, 2009)

Preglednica 2: Pedokartografske enote (PKE) obrečnih tal Apaškega polja

PKE	Opis
1935	Obrečna tla na nekarbonatnem prodnatem aluviju, evtrična in distrična, plitva
1936	Obrečna tla na nekarbonatnem prodnatem aluviju, evtrična 80% in distrična, srednje globoka
1937	Obrečna tla na nekarbonatnem peščeno prodnatem aluviju, evtrična in distrična, plitva in srednje globoka
1938	Obrečna tla na peščeno prodnatem in meljasto ilovnatem aluviju, distrična, globoka

Na osnovi standardne pedološke analize, narejene na 10 točkah obrečnih tal Apaškega polja, smo ugotovili, da je za obdelovalno plast tal (ornico) značilen pH med 4,3 in 6,8 ter delež organske snovi med 1,30 in 3,10% (CPVO, 2009).

### 3.2 IZBIRA MODELA

Model PELMO 3.22 ima možnost, da poleg danih scenarijev oblikujemo svoj lasten scenarij s svojimi lastnimi vhodnimi podatki. Modeliranje smo izvedli na osnovi scenarijev, ki smo jih ustvarili z različnimi kombinacijami tal ter FFS.

Za simulacijo scenarija, ki ga ustvarimo potrebujemo vhodne podatke:

- podatke o FFS – fizikalno-kemijske podatke o aktivni snovi, podatke o nanosu aktivne snovi;
- klimatske podatke – temperatura zraka, padavine, evapotranspiracija;
- podatke o tleh in gojeni rastlini – fizikalno-kemijske lastnosti tal, kolobar.

Izhodni podatki, ki jih dobimo pri modeliranju z modelom PELMO so: koncentracija v talnem profilu, odvisna od globine in časa (grafi in preglednica); količina FFS v izpirku (linijski diagram in preglednice) in koncentracija FFS v izpirku (preglednice).

#### 3.2.1 Vhodni klimatski podatki

Najbližja meteorološka postaja je bila Gornja Radgona, vendar pa so jo leta 2001 ukinili zato smo za klimatske podatke uporabljali podatke iz meteorološke postaje Murska Sobota, ki je naslednja najbližja postaja. Uporabili smo dnevne meteorološke podatke med letoma 1998 in 2007.

Kot vhodne podatke smo uporabili:

- količino padavin (cm);
- potencialno evapotranspiracijo (cm);
- temperaturo zraka ob 14 uri (°C);
- povprečno dnevno temperaturo (°C);
- temperaturni razpon (°C);
- relativno zračno vlago (%).

Vhodne podatke smo s posebnim programom uredili tako, da so bili primerni za vnos v model PELMO.

#### 3.2.2 Vhodni pedološki podatki

Podatke o talnih lastnostih, dobljenih iz laboratorijskih analiz na CPVO, smo uredili, da so bili primerni za vnos v model PELMO.

Kot vhodne podatke o talnih profilih smo uporabili:

- debelino posameznih horizontov (cm);
- gostoto (kg/l);
- disperzijo (cm<sup>2</sup>/dan) - privzeta vrednost 0;
- začetno količino vode v tleh (m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup>) - privzeta vrednost 0,2;
- odstotek peska (%);
- odstotek gline (%);
- odstotek organskega ogljika (%);
- vrednost pH;
- faktor biološke razgradnje (BDF) – po priporočilih smo privzeli naslednje vrednosti:
  - o 1. horizont → BDF = 1
  - o 2. horizont → BDF = 0,5
  - o 3. in vsak naslednji horizont → BDF = 0,33

Poleg talnih parametrov, ki so bili predstavljeni zgoraj, je za simulacijo potrebno podati tudi število plasti za posamezni profil. Plasti se razlikujejo od dejanskih talnih horizontov v profilu. Model preračunava parametre tal za posamezno plast. Več kot je plasti, bolj natančne so izračunane vrednosti koncentracije FFS. Za namen diplomske naloge smo uporabili 20 plasti za vse talne profile. Model omogoča tudi pridobitev izračunov za posamezno izbrano plast posebej. Parametre hidrologije tal (poljsko kapaciteto in točko venenja) se lahko neposredno vnese. Če teh podatkov nimamo na voljo, kot je bilo v našem primeru, se lahko izbere različne pedotransferne funkcije. Mi smo v nalogi uporabili pedotransferne funkcije PRZM 1, v katerem so hidravlični parametri zasnovani na volumski gostoti tal, vsebnosti organskega ogljika in teksturi tal.

### 3.2.3 Vhodni podatki o kulturni rastlini

Podatki za kulturne rastline so že podani. Časi setve, zrelosti in žetve se lahko spreminjajo in jih uporabnik lahko prilagodi svojim lastnim razmeram. Kot kulturno rastlino smo uporabili koruzo za zrnje. Kot čase razvojnih faz smo uporabili privzete vrednosti.

### 3.2.4 Vhodni podatki o FFS

Za namen diplomske naloge smo izbrali pripravke Lumax, Primextra Gold 720 SC in Primextra 500 tekoči oziroma aktivne snovi, ki jih ti pripravki vsebujejo. To so atrazin, metolaklor, S-metolaklor in terbutilazin.

Pri vseh pripravkih smo testirali enake odmerke: (i) najmanjši priporočen odmerek (3 l/ha), (ii) največji priporočen odmerek (4 l/ha) in (iii) 20% večji odmerek od največjega priporočenega (4,8 l/ha). Za datum nanosa izbranih FFS smo vzeli datum 1. maj. Nanosi izbranih FFS so bili enkrat letno, v letih od 1998 do 2007.

Način aplikacije in priporočene odmerke smo pridobili iz informacijskega sistema za varstvo rastlin (Priročnik ..., 2009). Podatke o fizikalno kemijskih lastnostih aktivnih snovi



smo zbrali iz internetne baze podatkov (PPDB) (Preglednica 4). Za vrednost DT50 smo vzeli značilno vrednost, to je tista vrednost, ki je navedena v splošnih literaturah in je pogosto vrednost, ki se jo uporablja pri modeliranju.

Preglednica 3: Prikaz fizikalno-kemijskih lastnosti aktivnih snovi, vzetih iz PPDB, ki smo jih uporabili kot vhodne podatke pri modelu PELMO

Parametri	Atrazin	S-metolaklor	Terbutilazin	Metolaklor
Molekulska masa	215,68	283,79	229,71	283,8
Koc (ml g <sup>-1</sup> )	100	226.1	220	200
Freundlichova konstanta: $1/n$	0,91	0,9	0,92	1,01
DT50 (dan) na polju	75	15	45	90

Za podatke o količinah nanesene aktivne snovi smo uporabili tri pripravke (Lumax, Primextra Gold 720 SC in Primextra 500 T). Podatke o treh različnih količinah nanesene snovi smo preračunali v količino nanesene aktivne snovi, ki jo ti pripravki vsebujejo (Preglednica 4). Podatke o priporočenih vrednostih nanosa smo pridobili iz Fitosanitarnе uprave Republike Slovenije (FURS). Pripravek Lumax, ki je registriran v Sloveniji, ima 37,5 odstotni delež S-metolaklora in 12,5 odstotkov terbutilazina ter še 3,75 odstotkov mezotriona s katerim pa nismo modelirali. Primextra Gold 720 SC vsebuje 32% delež atrazina in 40 odstotni delež S-metolaklora. Leta 2002 mu je pretekla registracija in je bil umaknjen iz prodaje (Seznam ..., 2003). Za simulacijo smo uporabili tudi podatke o količini nanosa atrazina in metolaklora v pripravku Primextra 500 Tekoči. Tudi temu je registracija pretekla leta 2002 in je bil umaknjen iz prodaje (Seznam ..., 2003). Vsebuje 20% atrazina ter 30% delež metolaklora.

Preglednica 4: Prikaz podatkov o odmerku pripravkov in količini aktivnih snovi po pripravkih, ki smo jih uporabili kot količino za apliciranje

Količina	Odmerek pripravka (l/ha)	Koncentracija aktivne snovi (g/ha)					
		Atrazin (Primextra Gold 720 SC)	Atrazin (Primextra 500 T)	Terbutilazin (Lumax)	Metolaklor (Primextra 500 T)	S-metolaklor (Lumax)	S-metolaklor (Primextra Gold 720 SC)
Min	3	960	600	375	900	1125	1200
Max	4	1280	800	500	1200	1500	1600
Max+20%	4,8	1536	960	600	1440	1800	1920

### 3.2.5 FOOTPRINT baza podatkov o FFS (PPDB)

Podatkovna baza je bila razvita pri Agrikolturni in okoljski raziskovalni enoti (AERU) na Univerzi v Hertfordshiru kot eden izmed FOOTPRINT projektov, ki so financirani s strani EU. Nova baza podatkov je popravljena in široko razširjena verzija podatkovne baze, ki je v osnovi dodatek EMA (Okoljsko vodenje za kmetijstvo) programski opremi, ki je v uporabi v Veliki Britaniji. Podatkovno bazo nameravajo vključiti v FOOTPRINT orodja za oceno tveganja ter vodenje ('FOOT tools') (FOOTPRINT, 2006).

V tej bazi podatkov smo pridobili vrednosti aktivnih snovi, ki jih zahteva program PELMO kot vhodne podatke o aktivni snovi. To so vrednosti Koc, Freundlich-ova konstanta ter DT50. Vrednosti se tekom rezultatov novih študij lahko spreminjajo. Uporabili smo vrednosti, ki so bile veljavne julija 2009.

## 4 REZULTATI

### 4.1 KLIMATSKI PODATKI ZA APAŠKO POLJE

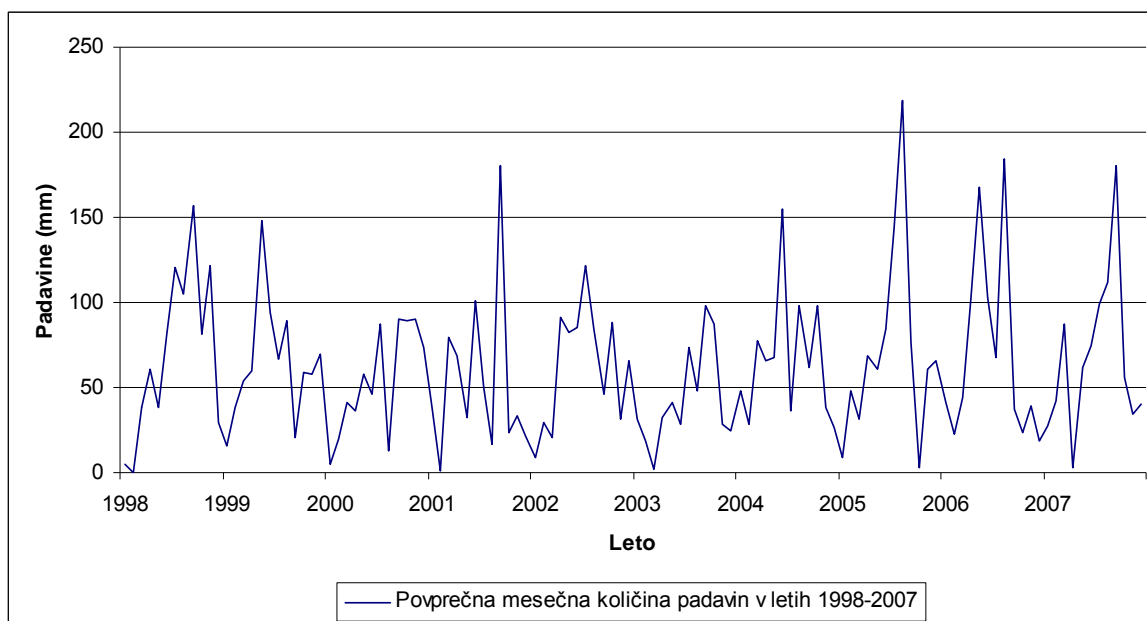
#### 4.1.1 Temperatura in padavine

Na podlagi klimatskih podatkov iz meteorološke postaje Murska Sobota smo izračunali povprečno letno temperaturo za obdobje od leta 1998 do 2007 (Preglednica 5). Največja povprečna letna temperatura je bila izmerjena leta 2002 in najnižja leta 2005. Povprečna letna temperatura v obdobju od 1998 do 2007 je bila 10,5°C.

Preglednica 5: Povprečna letna temperatura zraka (°C) za obdobje od 1998 do 2007 (Klimatski ..., 2008)

Leto	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Povprečna letna temperatura (°C)	10,12	10,29	11,47	10,57	11,27	10,56	9,80	9,48	10,18	11,22

Iz meteoroloških podatkov izmerjenih na meteorološki postaji Murska Sobota v letih 1998-2007 smo izračunali povprečne mesečne padavine (mm) (Preglednica 6) in letne količine padavin (mm) (Slika 4). Povprečje letnih padavin v obdobju 1998-2007 je 751,25mm. Največja količina padavin je bila izmerjena leta 2005 in sicer 868,8mm. Najmanjša količina padavin je bila izmerjena v letih 2000 in 2001 in sicer 650,6 oz. 643,0mm.



Slika 4: Povprečne mesečne padavine v letih 1998-2007 izmerjene na meteorološki postaji Murska Sobota (Klimatski..., 2008)

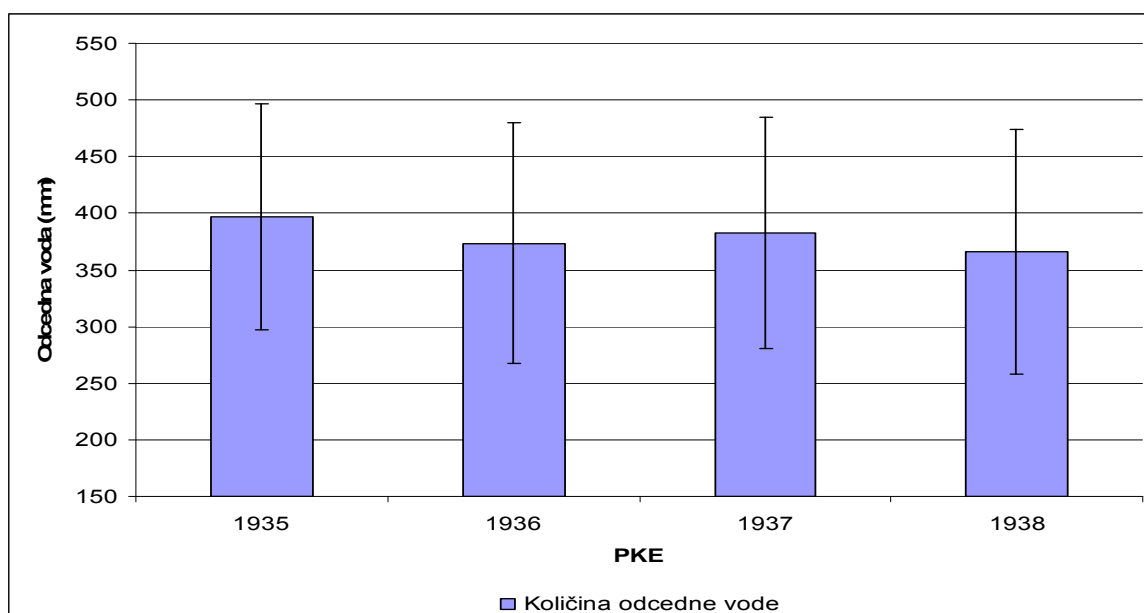
Preglednica 6: Letne količine padavin izmerjene na meteorološki postaji Murska Sobota (MS) v letih 1998-2007 (Klimatski ..., 2008)

Leto	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Povp.
MS (mm)	839,1	772,4	650,6	643,0	754,1	514,7	801,0	868,8	852,0	816,8	751,25

## 4.2 TLA IN ODCEDNE VODE

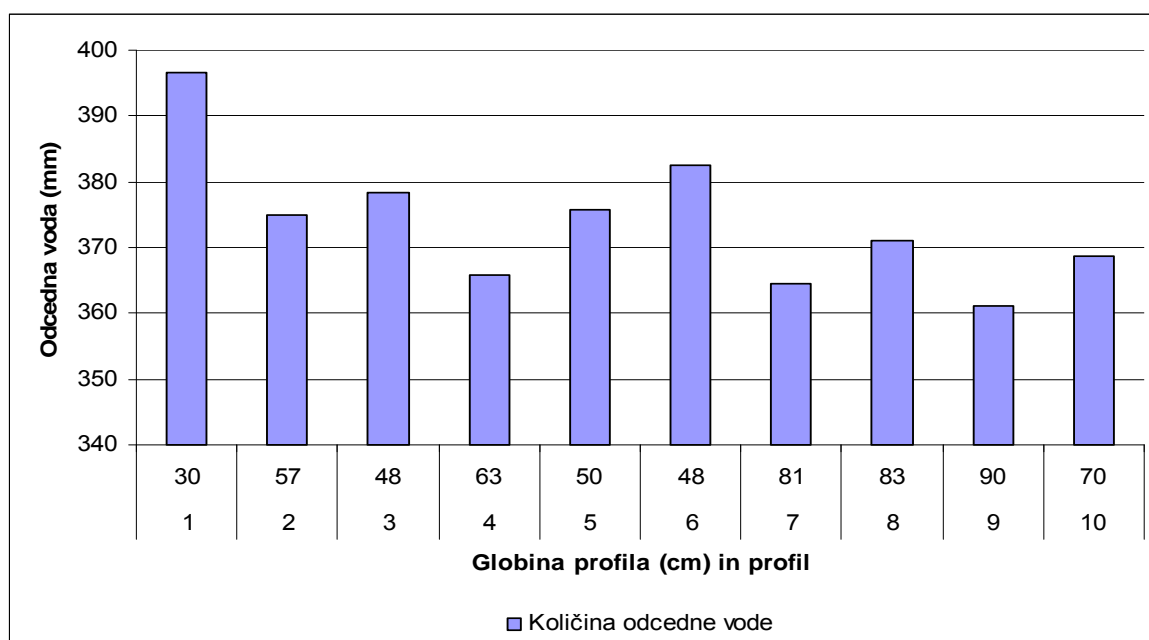
### 4.2.1 Odcedne vode v tleh

Izračunali smo količino odcedne vode (mm) na dnu profila v letih 1998-2007. Primerjali smo povprečne letne količine odcedne vode na dnu profila po pedokartografskih enotah (PKE) v desetletnem obdobju (Slika 5). Na podlagi izračunanih količin odcednih vod lahko ugotovimo, da so najbolj prepustna tla za vodo plitva (PKE 1935) in srednje globoka tla (PKE 1936 in 1937) ter najmanj prepustna globoka tla (PKE 1938).



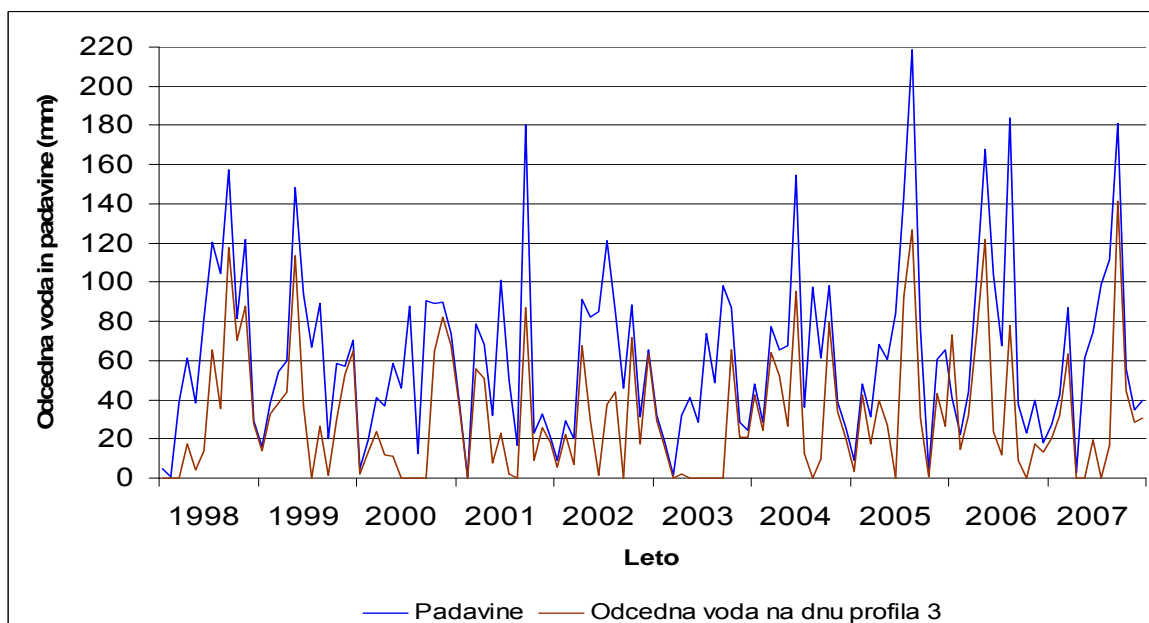
Slika 5: Povprečna količina odcedne vode (mm) na dnu profila v letih 1998-2007 po PKE izračunana z modelom PELMO in standardni odklon

Zaradi velikega standardnega odklona podsmeznih PKE smo primerjali povprečno letno količino odcedne vode na dnu profila tudi po posameznih profilih vseh PKE (Slika 6). Največje količine odcedne vode smo izračunali na dnu profila 1, ki je najbolj plitev, in najmanjše količine na dnu profila 9, ki je najgloblji. Profila 3 in 6, ki imata enako globino, se razlikujeta po količini odcedne vode na dnu profila, kar pomeni, da je količina odcedne vode odvisna tudi od odstotka peska v tleh, ki je večji pri profilu 3. Velik delež peska ima tudi profil 8, ki ima posledično tudi večjo količino odcedne vode na dnu profila v primerjavi z drugimi profili s podobno globino (7 in 9).



Slika 6: Povprečna količina odcedne vode na dnu profila v obdobju 10 let, izračunana z modelom PELMO. Nad označbami profilov so podane tudi globine profilov v cm

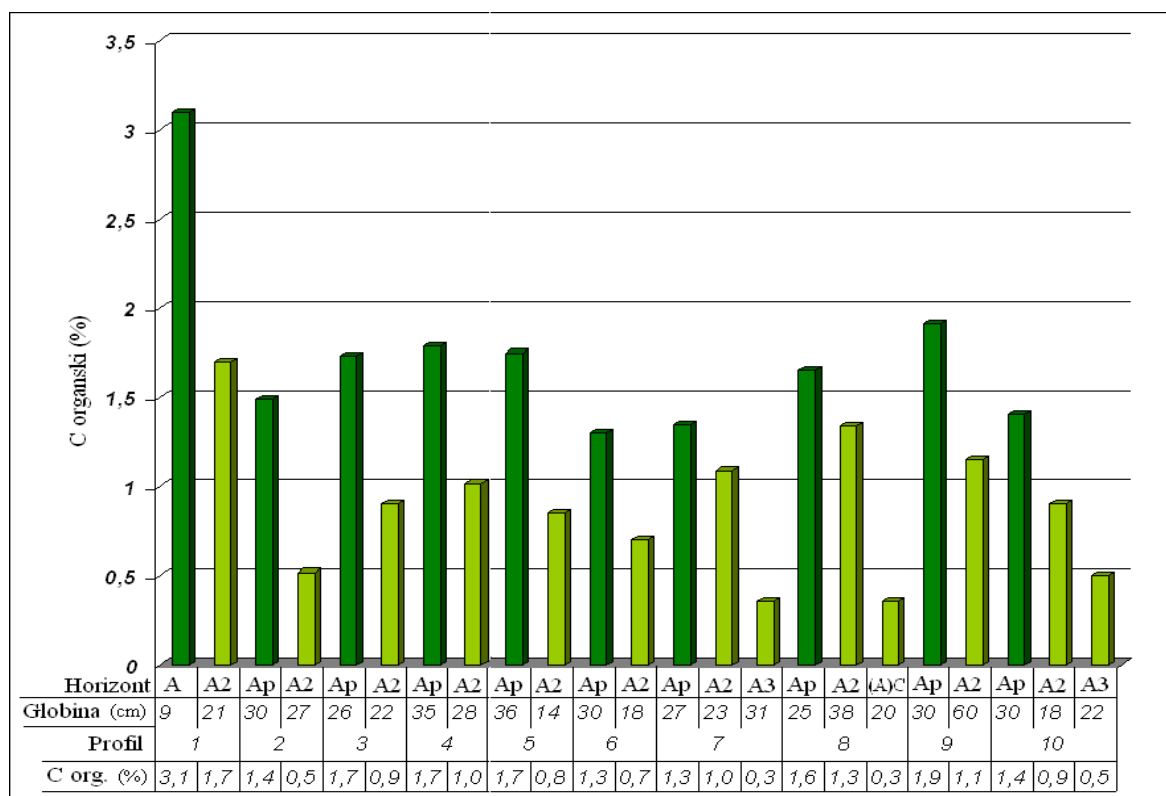
Odvisnost odcedne vode na dnu profila od količine padavin v desetletnem obdobju smo prikazali na profilu 3 (obrečna tla na nekarbonatnem prodnatem aluviju, evtrična 80% in distrična, srednje globoka) (Slika 7). Razvidna je odvisnost gibanja vode skozi talni profil glede na količino padavin.



Slika 7: Primerjava povprečnih mesečnih padavin (mm) in odcedne vode (mm) na dnu profila 3, izračunane z modelom PELMO v letih 1998-2007

## 4.2.2 Talne lastnosti

Iz pedoloških podatkov smo naredili primerjavo talnih lastnosti izbranih profilov. Prikazana je vsebnost organskega ogljika v tleh (Slika 8), izmerjena pri laboratorijskih analizah na Centru za pedologijo in varstvo okolja (CPVO). Organski ogljik v tleh je prikazan po posameznih horizontih v profilu. Podana je tudi označba in globina posameznega horizonta.



Slika 8: Vsebnost organskega ogljika v tleh (%) glede na globino posameznega horizonta v profilu, izmerjenega pri laboratorijski analizi talnih vzorcev na Centru za pedologijo in varstvo okolja (CPVO)

Odstotek organskega ogljika je podan za posamezen horizont v profilu. Največji odstotek organskega je v profilu 1, ki je bil vzeta na travniku. Največji odstotek organskega ogljika, med profili, vzeti na njivi, ima profil 9. Iz slike je razvidno, da je največja vsebnost organskega ogljika v prvem horizontu. Odstotek se po profilu navzdol zmanjšuje.

## 4.3 IZPIRANJE FFS

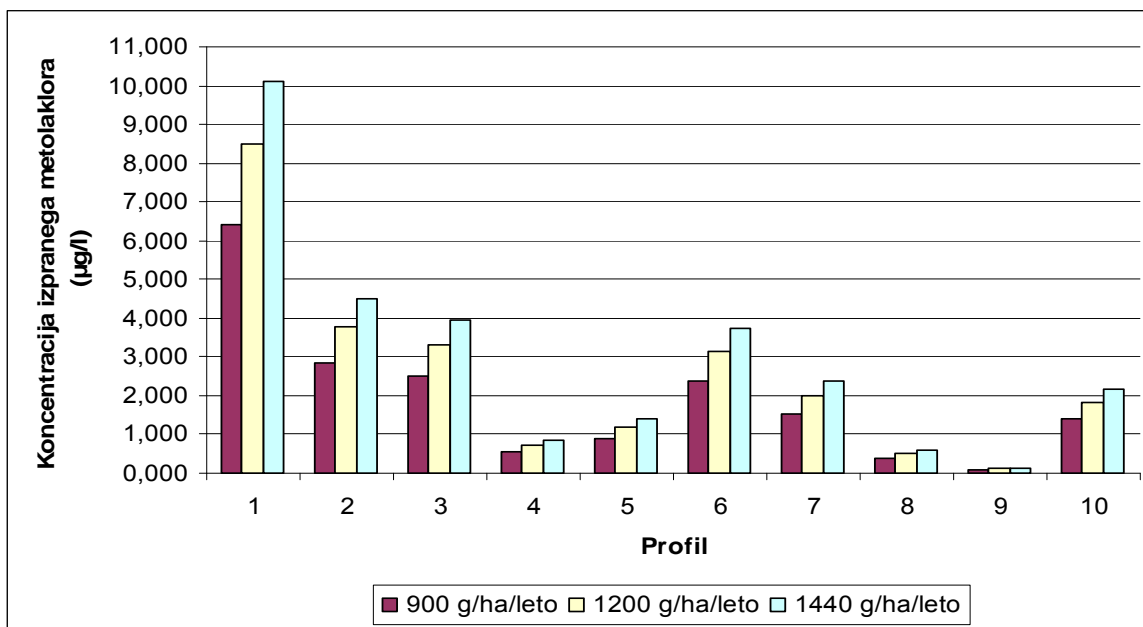
Izpiranje izbranih FFS smo izračunali z modelom PELMO. Koncentracije izprane snovi v odcedni vodi na dnu profila smo izračunali za obdobje 10 let.

### 4.3.1 Izpiranje S-metolaklora

Simulacije, ki smo jih izvedli z našimi vhodnimi podatki, niso pokazale izpiranja pri nobenem od pripravkov, ki vsebujejo S-metolaklor, zato rezultatov nismo prikazali.

### 4.3.2 Izpiranje metolaklora

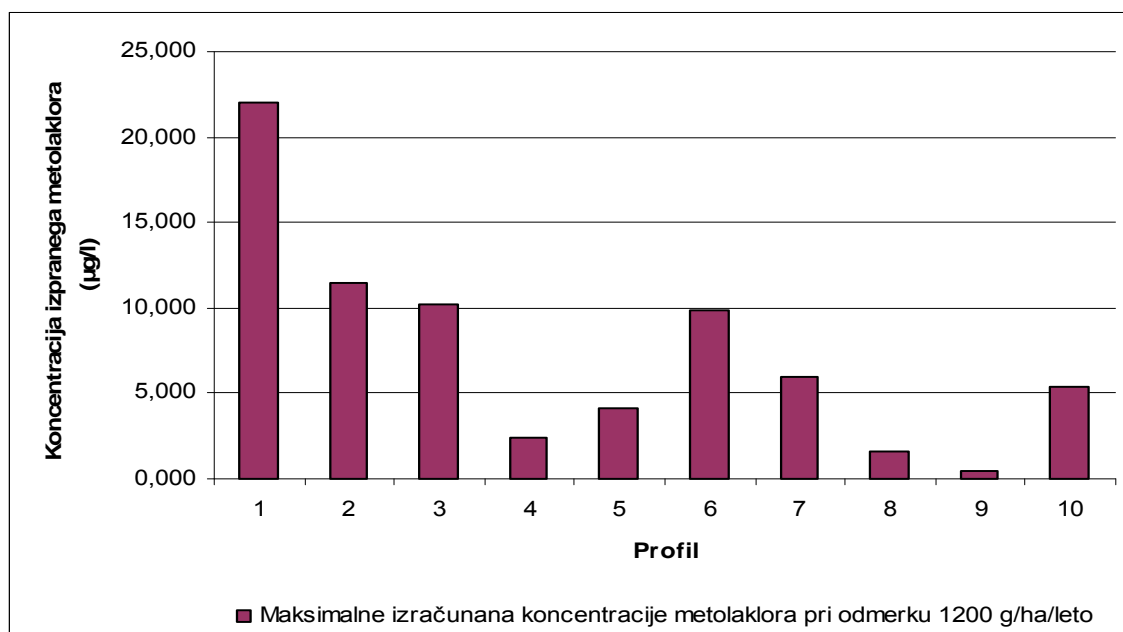
Primerjali smo ocene (napovedi) povprečnih letnih koncentracij izpranega metolaklora po profilih, pri treh različnih odmerkih (Slika 9).



Slika 9: Ocene povprečnih letnih koncentracij izpranega metolaklora ( $\mu\text{g/l}$ ) v odcedni vodi na dnu profila v obdobju 10 let, pri treh različnih odmerkih metolaklora, po profilih, izračunane z modelom PELMO

Ugotovili smo, da so bile s povečevanjem odmerka metolaklora večje tudi ocene koncentracij izpranega metolaklora v odcedni vodi na dnu profila (Slika 9). Na splošno je bila ocena povprečne letne količine izpranega metolaklora v obdobju 10 let pri 33% povečanju najmanjšega odmerka metolaklora (iz 900 g/ha na 1200 g/ha) 31-32 % večja kot pri najmanjšem odmerku metolaklora ter za 55-58 % večja pri 60 % povečanju najmanjšega odmerka metolaklora (iz 900 g/ha na 1440 g/ha).

Primerjali smo ocene največjih (maksimalnih) izračunanih koncentracij izpranega metolaklora v odcedni vodi na dnu profila pri največjem priporočenem odmerku (1200 g/ha/leto) (Slika 10). Ocene največjih izračunanih koncentracij metolaklora na dnu profila so od 2,6-krat (profil 1) do 4,1-krat (profil 9) večje kot ocene povprečnih koncentracij izpranega metolaklora na dnu profila v obdobju 10 let, pri istem odmerku.



Slika 10: Ocena maksimalnih koncentracij metolaklora ( $\mu\text{g/l}$ ) v profilih pri največjem priporočenem odmerku metolaklora, izračunane z modelom PELMO

Padavine močno vplivajo na izpiranje FFS skozi tla, zato smo primerjali odvisnost izračunanih koncentracij izpirka od padavin. Kot primer podajamo povprečne letne količine padavin v obdobju 1998-2007 ter povprečne letne ocene koncentracij izpranega metolaklora v odcedni vodi na dnu profila 3, izračunane z modelom PELMO (Preglednica 7).

Iz preglednice je razvidno, da se ocene koncentracij izpranega metolaklora na dnu profila v splošnem povečujejo iz leta v leto, kar je povezano s številom nanosov herbicida (vsakoletna aplikacija). V obdobju od 1998 do 2002 so se koncentracije povečevale. Leta 2003 je ocena koncentracije izpranega metolaklora majhna, kar povezujemo z manjšo količino padavin v tem letu. Največje ocene koncentracij metolaklora v odcedni vodi smo z modelom PELMO izračunali v letu 2006. Domnevamo, da zaradi velike količine padavin v letu 2005 in 2006 in izpiranju ne le zadnjega nanosa herbicida, pač pa še ostankov iz prejšnjih let.

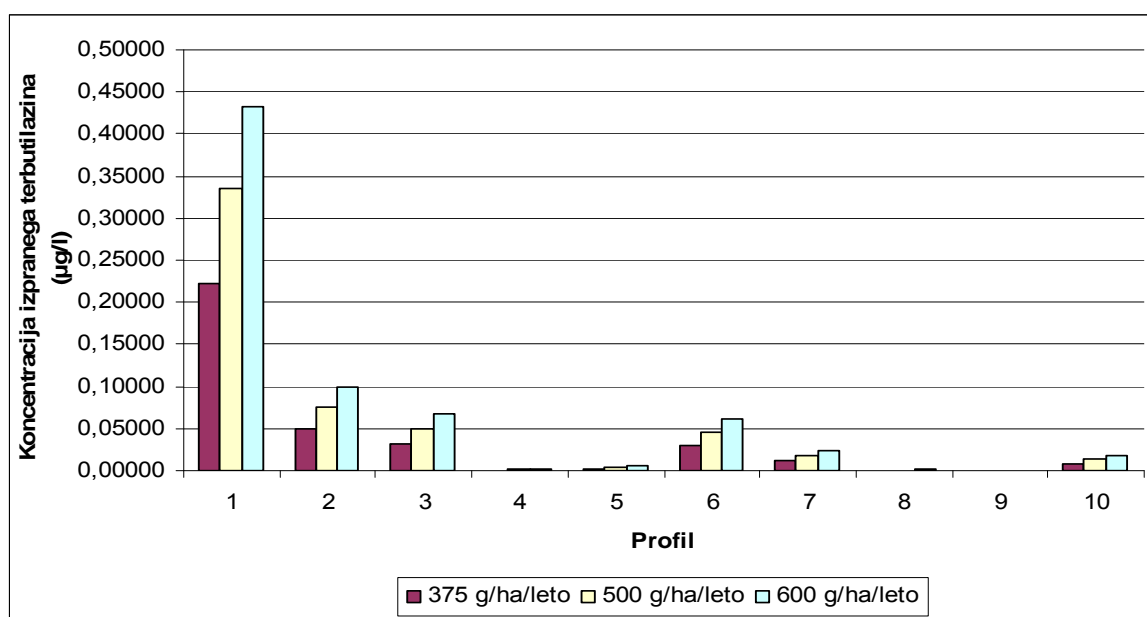


Preglednica 7: Povprečna letna ocena koncentracije izpranega metolaklora v odcedni vodi na dnu profila 3 ( $\mu\text{g/l}$ ) pri odmerku 1200 g/ha/leto, izračunana z modelom PELMO, in povprečna letna količina padavin (mm), v obdobju od 1998 do 2007

Leto	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Povprečna letna količina padavin (mm)	839.1	772.4	650.6	643.0	754.1	514.7	801.0	868.8	852.0	816.8
Povprečna letna ocena koncentracije izpranega metolaklora na dnu profila 3 ( $\mu\text{g/l}$ )	0.011	1.110	2.552	3.538	3.287	1.562	3.038	4.311	7.760	5.814

### 4.3.3 Izpiranje terbutilazina

Primerjali smo profile glede na ocene povprečnih letnih koncentracij izpranega terbutilazina v odcedni vodi na dnu profila pri treh različnih odmerkih terbutilazina (Slika 11).



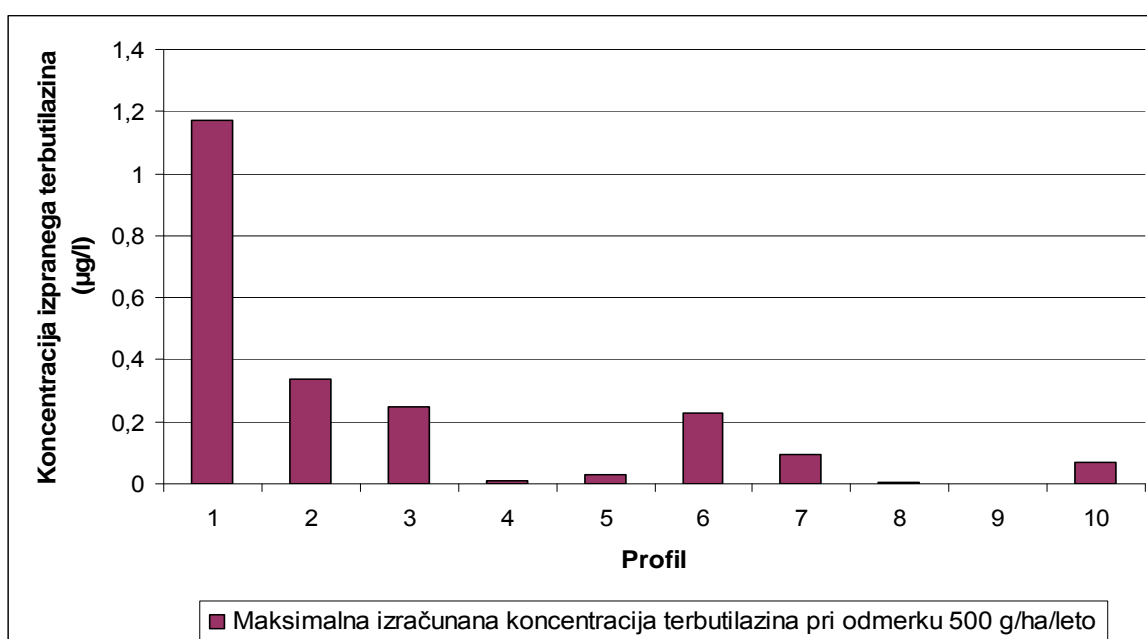
Slika 11: Ocena povprečne letne koncentracije izpranega terbutilazina ( $\mu\text{g/l}$ ) v odcedni vodi na dnu profila v obdobju 10 let, pri treh različnih odmerkih terbutilazina, po profilih, izračunana z modelom PELMO

Ugotovili smo, da so bile s povečevanjem odmerka terbutilazina večje tudi ocene koncentracij izpranega terbutilazina v odcedni vodi na dnu profila. Na splošno je bila ocena povprečne letne količine izpranega terbutilazina v obdobju 10 let pri 33% povečanju najmanjšega odmerka terbutilazina (iz 375 g/ha na 500 g/ha) 50-68 % večja kot pri najmanjšem odmerku terbutilazina. Ti podatki ne vključujejo profila 9, kjer izpiranja ni bilo. Pri povečanju najmanjšega odmerka terbutilazina za 60 % (iz 375 g/ha na 600 g/ha)

se je ocena koncentracij povečala za od 94 do 128 %. Prav tako tu ni bil vključen profil 9, kjer izpiranja še vedno ni bilo.

Primerjali smo ocene največjih (maksimalnih) izračunanih koncentracij izpranega terbutilazina ( $\mu\text{g/l}$ ) v odcedni vodi na dnu profila pri največjem priporočenem odmerku terbutilazina (500 g/ha/leto) (Slika 12).

Ocene največjih izračunanih koncentracij terbutilazina v odcedni vodi na dnu profila pri odmerku 500 g/ha/leto so od 3,5-krat (profil 1) do 6,3-krat (profil 5) večje kot ocene povprečnih koncentracij izpranega terbutilazina v odcedni vodi na dnu profila v obdobju 10 let, pri istem odmerku. Pri tem ni upoštevan profil 9, pri katerem do izpiranja ni prišlo.



Slika 12: Ocena maksimalnih koncentracij terbutilazina ( $\mu\text{g/l}$ ) v profilih pri največjem priporočenem odmerku terbutilazina

Padavine močno vplivajo na izpiranje FFS skozi tla, zato smo primerjali odvisnost izračunanih koncentracij izpirka od padavin. Kot primer podajamo povprečne letne količine padavin v obdobju 1998-2007 ter povprečne letne ocene koncentracij izpranega terbutilazina v odcedni vodi na dnu profila 3 izračunane z modelom PELMO (Preglednica 8).

Iz preglednice je razvidno, da so se ocene koncentracij izpirka povečevale do leta 2002. Leta 2003 je bila ocena koncentracije izpranega terbutilazina manjša zaradi manjše količine padavin v tem letu. Po letu 2003 so se koncentracije zopet povečevale vse do leta 2007. Največje ocene koncentracij izpranega terbutilazina v odcedni vodi smo z modelom PELMO izračunali leta 2006. Domnevamo, da zaradi velike količine padavin v letu 2005 in 2006 in izpiranju ne le zadnjega nanosa herbicida, pač pa še ostankov iz prejšnjih let.

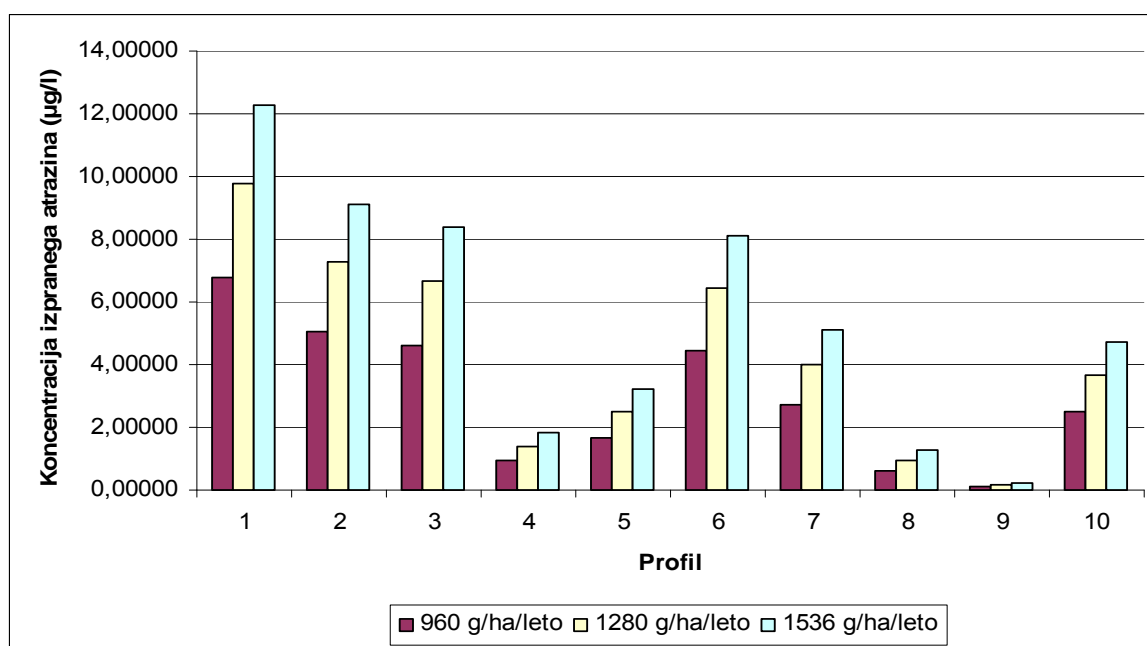
Preglednica 8: Povprečna letna ocena koncentracij izpranega terbutilazina na dnu profila 3 ( $\mu\text{g/l}$ ) pri odmerku 500 g/ha/leto, izračunana z modelom PELMO in povprečna letna količina padavin (mm), v obdobju od 1998 do 2007

Leto	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Povprečna letna količina padavin (mm)	839.1	772.4	650.6	643.0	754.1	514.7	801.0	868.8	852.0	816.8
Povprečna letna ocena koncentracij izpranega terbutilazina na dnu profila 3 ( $\mu\text{g/l}$ )	0.000	0.000	0.004	0.036	0.051	0.025	0.043	0.056	0.140	0.149

#### 4.3.4 Izpiranje atrazina

##### 4.3.4.1 Atrazin v pripravku Primextra Gold 720 SC

Primerjali smo profile glede na ocene povprečnih letnih koncentracij izpranega atrazina v ocedni vodi na dnu profila pri treh različnih odmerkih (Slika 13).



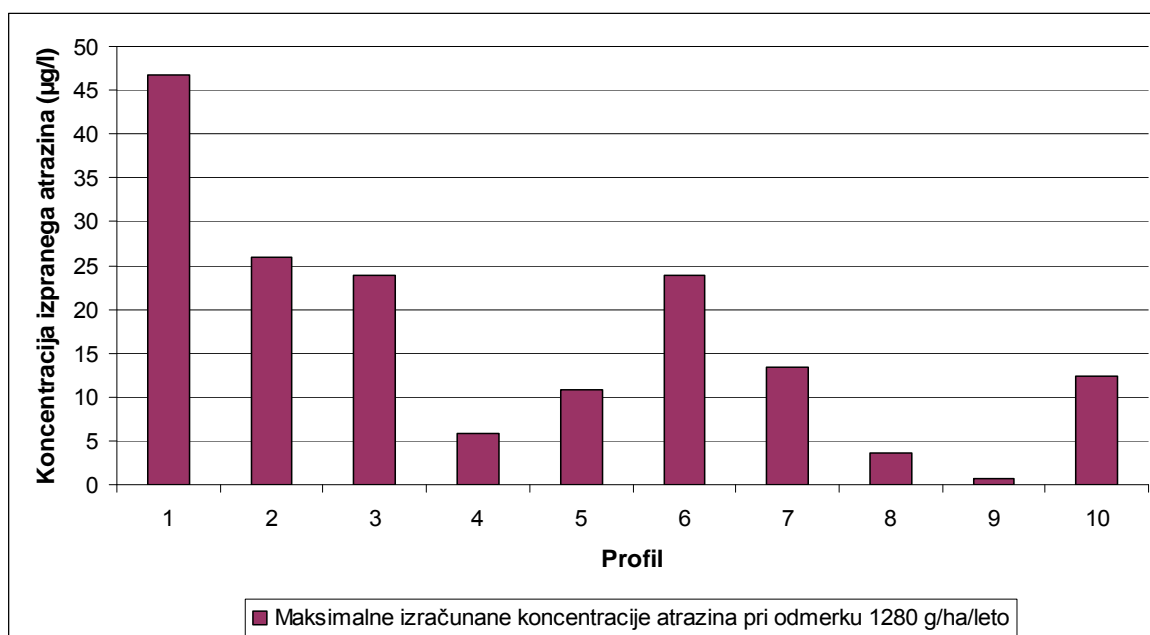
Slika 13: Ocene povprečne letne koncentracije atrazina ( $\mu\text{g/l}$ ) v ocedni vodi na dnu profila v obdobju 10 let, pri treh različnih odmerkih atrazina, v pripravku Primextra Gold 720 SC, po profilih, izračunane z modelom PELMO

Ugotovili smo, da se je s povečevanjem odmerka atrazina povečala tudi ocena koncentracij izpranega atrazina v ocedni vodi na dnu profila. Na splošno je bila ocena povprečnih letnih količin izpranega atrazina v obdobju 10 let pri 33% povečanju najmanjšega odmerka atrazina (iz 960 g/ha na 1280 g/ha) 44-64% večja kot pri najmanjšem odmerku atrazina. Pri

povečanju najmanjšega odmerka atrazina za 60 % (iz 960 g/ha na 1536 g/ha) so se koncentracije povečale za 80-124 %.

Primerjali smo ocene največjih (maksimalnih) izračunanih koncentracij atrazina v odcedni vodi na dnu profila pri največjem priporočenem odmerku atrazina (1280 g/ha/leto) (Slika 14).

Ocene največjih izračunanih koncentracij atrazina v odcedni vodi na dnu profila pri odmerku 1280 g/ha/leto so od 2,9-krat (profil 1) do 4,5-krat (profil 9) večje kot povprečne koncentracije izpranega atrazina na dnu profila v obdobju 10 let, pri istem odmerku.



Slika 14: Ocena maksimalnih koncentracij izpranega atrazina po profilih pri največjem priporočenem odmerku atrazina v pripravku Primextra Gold 720 SC (1280 g/ha/leto), izračunane z modelom PELMO

Padavine močno vplivajo na izpiranje FFS skozi tla, zato smo primerjali odvisnost izračunanih koncentracij izpirka od padavin. Kot primer podajamo povprečne letne količine padavin v obdobju 1998-2007 ter povprečne letne ocene koncentracij izpranega atrazina v odcedni vodi na dnu profila 3 izračunane z modelom PELMO (Preglednica 9).

Iz preglednice je razvidno, da so se ocene koncentracij izpranega atrazina v odcedni vodi na dnu profila že v drugem letu nanosa močno povečale. Leta 2000 in 2002 so bile koncentracije še vedno visoke. Leta 2003 je se je ocena koncentracije izpranega atrazina močno zmanjšala. To leto so bile izmerjene tudi najmanjše količine padavin. Od leta 2004 naprej so se koncentracije atrazina v odcedni vodi na dnu profila zopet povečale. Leta 2006 je bila izračunana največja koncentracija atrazina v odcedni vodi, leta 2005 in 2006 so bile izmerjene tudi velike količine padavin. Leta 2007 je ocena koncentracij izpranega atrazina v odcedni vodi na dnu profila zopet manjša. V primerjavi s preteklima dvema letoma je bila manjša tudi količina letnih padavin.

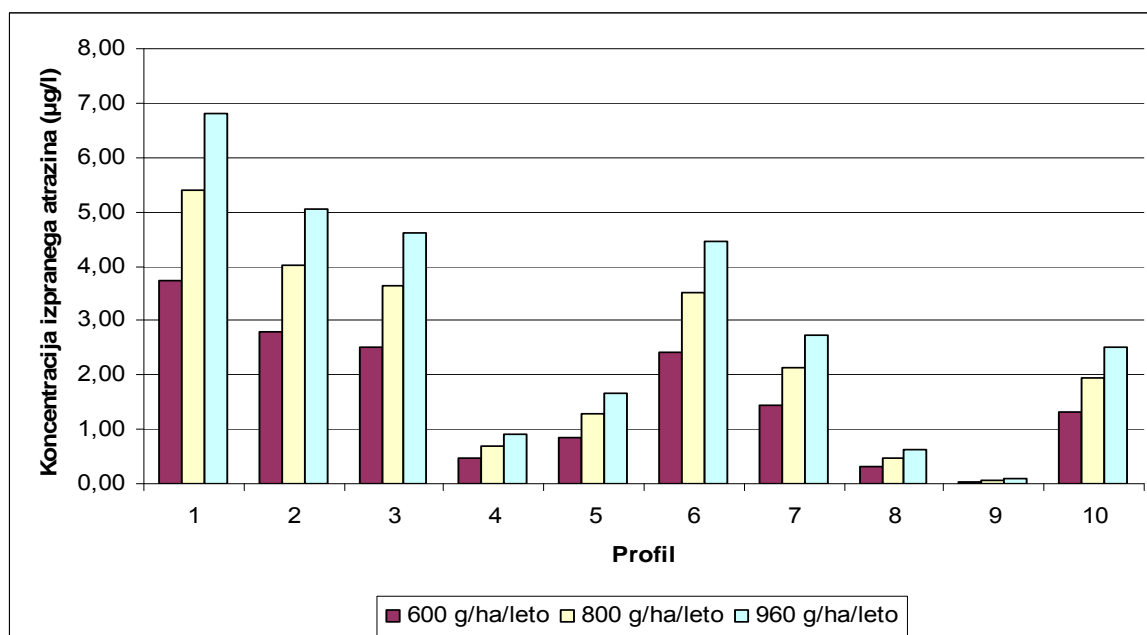
Preglednica 9: Povprečna letna ocena koncentracije izpranega atrazina na dnu profila 3 ( $\mu\text{g/l}$ ) pri odmerku 500 g/ha/leto, izračunana z modelom PELMO in povprečna letna količina padavin (mm), v obdobju od 1998 do 2007

Leto	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Povprečna letna količina padavin (mm)	839.1	772.4	650.6	643.0	754.1	514.7	801.0	868.8	852.0	816.8
Povprečna letna ocena koncentracij izpranega atrazina na dnu profila 3 ( $\mu\text{g/l}$ )	0.073	7.477	6.751	5.501	5.287	2.422	5.418	8.904	16.81	7.919

#### 4.3.4.2 Atrazin v pripravku Primextra 500 tekoči

Izpiranje atrazina smo računali še za Primextra 500 Tekoči, ki ima manjši delež atrazina v pripravku, kot je v pripravku Primextra Gold 720 SC.

Primerjali smo profile glede na ocene povprečnih letnih koncentracij izpranega atrazina v odcedni vodi na dnu profila pri treh različnih odmerkih (Slika 15).



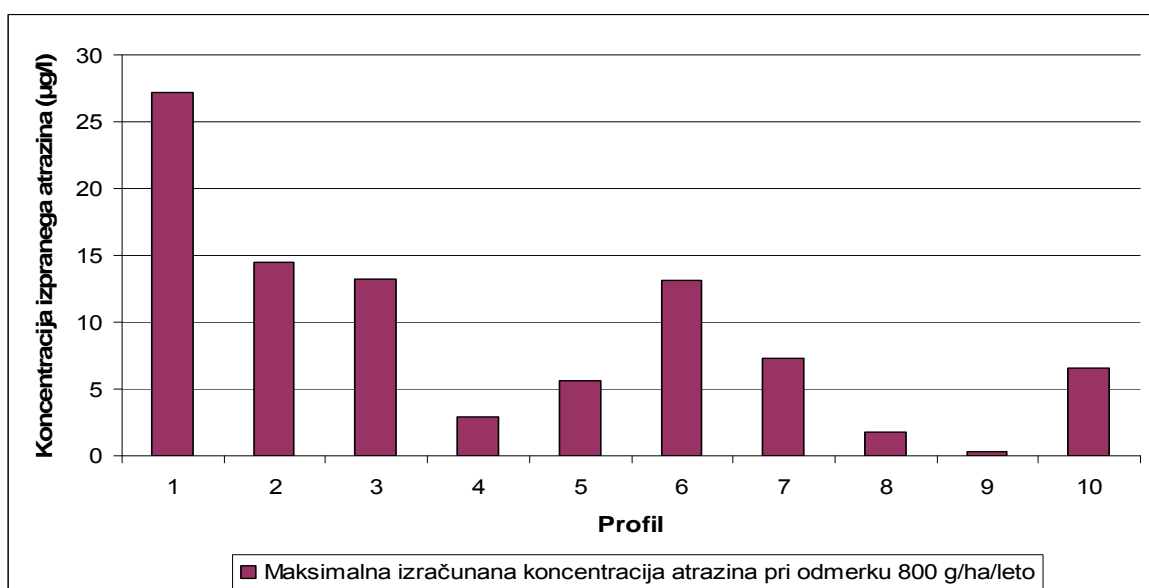
Slika 15: Ocena povprečne letne koncentracije izpranega atrazina ( $\mu\text{g/l}$ ) v odcedni vodi na dnu profila v obdobju 10 let, pri treh različnih odmerkih atrazina, v pripravku Primextra 500 tekoči, izračunane z modelom PELMO

S povečevanjem odmerka atrazina se je povečevala tudi ocena koncentracij izpranega atrazina v odcedni vodi na dnu profila. Na splošno je bila povprečna letna količina izpranega atrazina v obdobju 10 let pri 33% povečanju najmanjšega odmerka atrazina (iz 600 g/ha na 800 g/ha) 44-66% večja kot pri najmanjšem odmerku atrazina. Pri povečanju

najmanjšega odmerka atrazina za 60% (iz 800 g/ha na 960 g/ha) so se ocene koncentracij povečale za 81-128 %.

Primerjali smo ocene največjih (maksimalnih) izračunanih koncentracij atrazina v odcedni vodi na dnu profila pri največjem priporočenem odmerku atrazina (800 g/ha/leto) (Slika 16).

Največje izračunane koncentracije atrazina v odcedni vodi na dnu profila pri odmerku 800 g/ha/leto so od 2,9-krat (profil 1) do 4,7-krat (profil 9) večje kot povprečne koncentracije izpranega atrazina v odcedni vodi na dnu profila v obdobju 10 let, pri istem odmerku.



Slika 16: Ocena maksimalnih koncentracij atrazina v profilih pri največjem dovoljenem odmerku pripravka Primextra 500 tekoči, izračunane z modelom PELMO

Pri primerjavi odvisnosti izračunanih koncentracij izpirka od padavin (Preglednica 10) smo ugotovili, da se ocene koncentracij izpranega atrazina v odcedni vodi na dnu profila prve tri leta povečevale. Leta 2002 je bila koncentracija še vedno velika. Leta 2003 se je ocena koncentracije izpranega atrazina močno zmanjšala. V letu 2003 je bila tudi najmanjša letna količina padavin v 10 letnem obdobju. Od leta 2004 naprej so se ocene koncentracij atrazina v odcedni vodi na dnu profila zopet povečale. Leta 2006 je bila izračunana največja koncentracija atrazina v odcedni vodi, takrat so bile izmerjene tudi velike količine padavin. Leta 2007 je ocena koncentracije izpranega atrazina v odcedni vodi na dnu profila zopet manjša. V primerjavi s preteklima dvema letoma je bila manjša tudi količina letnih padavin.

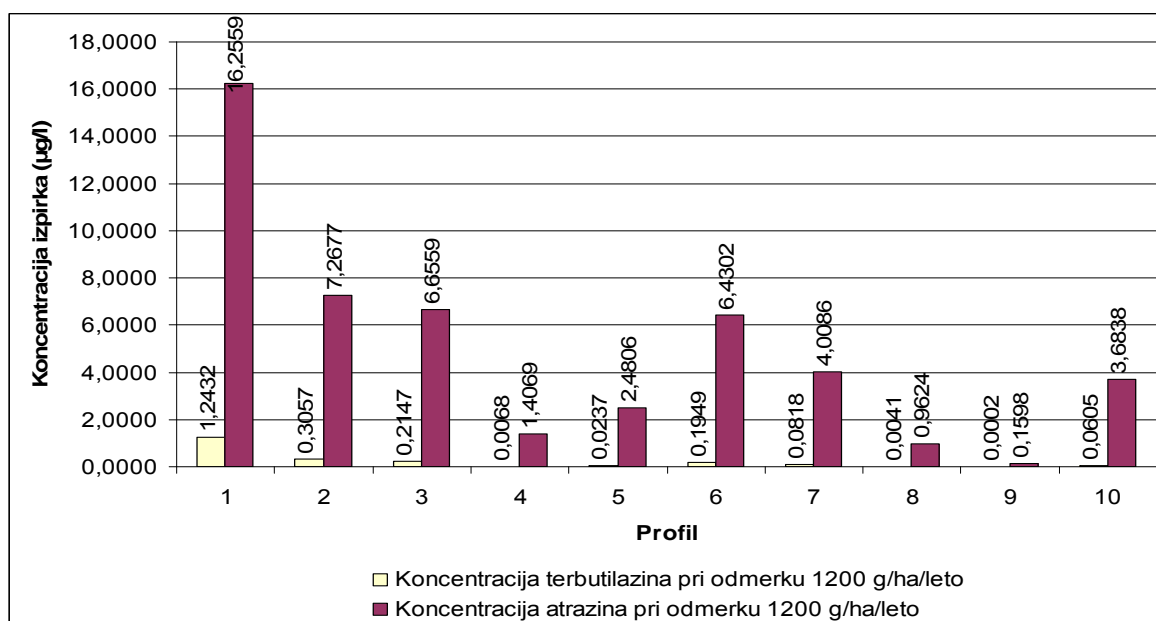
Preglednica 10: Povprečna letna ocena koncentracije izpranega atrazina na dnu profila 3 ( $\mu\text{g/l}$ ) pri odmerku 800 g/ha/leto, izračunana z modelom PELMO, in povprečna letna količina padavin (mm), v obdobju od 1998 do 2007

Leto	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Povprečna letna količina padavin (mm)	839.1	772.4	650.6	643.0	754.1	514.7	801.0	868.8	852.0	816.8
Povprečna letna ocena koncentracij izpranega atrazina na dnu profila 3 ( $\mu\text{g/l}$ )	0.025	3.691	3.857	3.003	2.869	1.287	2.892	4.769	9.398	4.624

#### 4.3.5 Primerjava izpiranja atrazina in terbutilazina pri istem odmerku

Ker se terbutilazin nanaša v manjših odmerkih kot se nanaša atrazin, smo želeli primerjati ocene koncentracij izpranega terbutilazina in atrazina v odcedni vodi na dnu profila, če se terbutilazin nanaša pri istem odmerku kot atrazin (1200 g/ha/leto). Količina se nanaša na največji priporočen odmerek atrazina v pripravku Primextra Gold 720SC.

Primerjali smo povprečne letne ocene koncentracij izpranega terbutilazina in atrazina v odcedni vodi na dnu profila v obdobju 10 let za vsak profil posebej (Slika 17).



Slika 17: Primerjava povprečnih koncentracij izpranega atrazina ( $\mu\text{g/l}$ ) in terbutilazina ( $\mu\text{g/l}$ ) v odcedni vodi na dnu profila (izpirek) pri odmerku 1200 g/ha/leto, po posameznih profilih, za obdobje 10 let, izračunanih z modelom PELMO

Ocene koncentracij izpranega atrazina v odcedni vodi na dnu profila so pri vseh profilih močno presegle ocene koncentracij izpranega terbutilazina.

Primerjali smo tudi povprečne letne ocene koncentracij izpranega terbutilazina in povprečne letne ocene koncentracij izpranega atrazina v odcedni vodi na dnu profila 3 (Preglednica 11).

Ocene koncentracij terbutilazina v odcedni vodi na dnu profila 3 se v primerjavi z oceno koncentracij atrazina povečujejo počasneje. Atrazin kaže tudi na večja nihanja po letih kot terbutilazin.

Preglednica 11: Povprečne letne ocene koncentracij izpranega terbutilazina ( $\mu\text{g/l}$ ) in povprečne letne ocene koncentracij izpranega atrazina ( $\mu\text{g/l}$ ) v odcedni vodi na dnu profila 3, pri odmerku 1200 g/ha/leto, izračunane z modelom PELMO za obdobje 10 let

Leto	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Terbutilazin ( $\mu\text{g/l}$ )	0.000	0.003	0.030	0.186	0.221	0.100	0.172	0.231	0.595	0.609
Atrazin ( $\mu\text{g/l}$ )	0.073	7.477	6.751	5.501	5.287	2.422	5.418	8.904	16.81	7.919

Za primerjavo smo uporabili količino aktivne snovi terbutilazin, ki je enaka kot pri atrazinu pri največjem priporočenem odmerku pripravka Primextra Gold 720 SC in sicer 1280 g/ha/leto. Rezultate smo primerjali z rezultati, ki smo jih dobili s simulacijami z največjim priporočenim odmerkom terbutilazina v pripravku Lumax (500 g/ha/leto) (Preglednica 12). Namen je bil ugotoviti ali se stopnja nevarnosti za onesnaženje z terbutilazinom močno poveča, če se uporabijo iste količine te aktivne snovi kot so se pred časom uporabljale za atrazin. Kot primerjavo smo v preglednici podali še povprečne letne ocene koncentracij atrazina.

Preglednica 12: Povprečne letne ocene koncentracije izpranega terbutilazina ( $\mu\text{g/l}$ ) v odcedni vodi na dnu profila, pri odmerku 1280 g/ha/leto in 500 g/ha/leto ter povprečna letna ocena koncentracije izpranega atrazina ( $\mu\text{g/l}$ ) v odcedni vodi na dnu profila izračunanih z modelom PELMO za obdobje 1998-2007

Leto	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Terbutilazin - 500 g/ha/leto ( $\mu\text{g/l}$ )	0,000	0,003	0,030	0,186	0,221	0,100	0,173	0,231	0,595	0,609
Terbutilazin - 1200 g/ha/leto ( $\mu\text{g/l}$ )	0,335	0,075	0,050	0,001	0,005	0,046	0,018	0,001	0,000	0,013
Atrazin - 1200 g/ha/leto ( $\mu\text{g/l}$ )	0,073	7,477	6,751	5,501	5,288	2,422	5,418	8,904	16,806	7,919

Rezultati prikazujejo, da se je ocena koncentracije izpranega terbutilazina v odcedni vodi na dnu profila skoraj pri vseh profilih povečala od 3,7-krat (profil 1) do 5,3-krat (profil 8 in 4), ko smo povečali odmerek za 156% (iz 500 g/ha/leto na 1280 g/ha/leto). Pri tem nismo upoštevali profila 9, pri katerem se je izračunana koncentracija terbutilazina iz nič povečala na 0,00015. Kljub povečani koncentraciji izpranega terbutilazina se koncentracije terbutilazina pri odmerku 1200 g/ha/leto niso približale izračunanim koncentracijam atrazina pri istem odmerku.



## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

#### 5.1.1 Lastnosti FFS

S simulacijami, izvedenimi z modelom PELMO, smo želeli ugotoviti kako fizikalno kemijske lastnosti izbranih FFS vplivajo na njihovo izpiranje skozi talni profil.

##### 5.1.1.1 S-metolaklor in metolaklor

Ocene koncentracij izpranega S-metolaklora v odcedni vodi na dnu profila so pokazale, da model PELMO v danih razmerah ne pokaže izpiranja S-metolaklora. To lahko pojasnimo z dokaj veliko Koc vrednostjo (226,1 ml/g) in predvsem kratko razpolovno dobo – DT50 (15 dni).

Nasprotno pa je model PELMO napovedal izpiranje metolaklora. Najmanjša izračunana povprečna koncentracija metolaklora je bila 0,091 µg/l v profilu 9, pri najmanjšem odmerku metolaklora (900 g/ha/leto). To lahko pripišemo veliki razpolovni dobi (DT50), ki je 75 dni. Največje izračunane koncentracije (maksimalni enkratni dogodki) izpranega metolaklora so od 1,6 do 3,1-krat presegle povprečne izračunane koncentracije metolaklora v obdobju 10 let. To nakazuje, da lahko pride do občasnih povečanih koncentracij metolaklora v odcedni vodi na dnu talnega profila.

Čeprav sta metolaklor in S-metolaklor zelo podobna po lastnostih, ima metolaklor 4-krat večjo DT50 kot S-metolaklor. Metolaklor je tako v tleh bolj obstojen. Po GUS indeksu, ki kaže na dovzetnost za izpiranje glede na kemijske lastnosti FFS, je metolaklor zelo dovzeten za izpiranje (GUS indeks je 3,32) medtem ko ima S-metolaklor GUS indeks 1,94.

##### 5.1.1.2 Terbutilazin in atrazin

Povprečne ocene koncentracij izpranega terbutilazina v odcedni vodi na dnu profila so bile vedno manjše od atrazina in metolaklora. Terbutilazin ima srednje veliko vrednost Koc (219 ml/g), kar vpliva, da se v tleh dobro veže na organske koloide in se tako izpere skozi talni profil v manjših količinah. Na njegovo nagnjenost k izpiranju pa pripomore dolga DT50 (76,7 dni), kar pomeni, da ostane dalj časa v tleh. Največje izračunane koncentracije izpranega terbutilazina so od 2,5 do 5,3-krat presegle povprečne izračunane koncentracije izpranega terbutilazina v obdobju 10 let, kar kaže na neenakomerno izpiranje.

Koncentracije atrazina v odcedni vodi na dnu profila so bile izmed vseh izračunanih koncentracij največje. Atrazin ima izmed vseh izbranih FFS najmanjšo vrednost Koc (100 ml/g) kar pomeni, da se ne veže močno na talne delce in je tako bolj dovzeten za izpiranje. Ima tudi dolgo razpolovno dobo – DT50 (75 dni) in ima tudi velik GUS indeks kar nakazuje njegovo dovzetnost za izpiranje. Največje izračunane koncentracije izpranega atrazina so bile od 1,9 do 3,5-krat (pripravek Primextra Gold 720 SC) in od 1,9 do 3,7-krat

(pripravek Primextra 500 Tekoči) večje kot povprečne ocene koncentracij izpranega atrazina v 10 letnem obdobju, kar kaže na neenakomerno izpiranje.

Pri primerjavi enakih količin nanesenega terbutilazina in atrazina (Slika 17), ki spadata v isto skupino herbicidov (triazini), so bile izračunane koncentracije veliko večje pri atrazinu, kar ugotavljata tudi Dusset in Mouvet (1997). Atrazin ima v primerjavi s terbutilazinom za 1-krat manjšo vrednost Koc, kar pomeni, da se terbutilazin v tleh močnejše veže. Ugotovili smo, da atrazin hitreje potuje skozi talni profil kot terbutilazin (Preglednica 11). V prvem letu nanosa herbicidov model PELMO ni pokazal izpiranja terbutilazina, medtem ko je po oceni modela do izpiranja atrazina že prišlo, kar spet kaže na to, da se terbutilazin v tleh močnejše veže.

### 5.1.2 Lastnosti tal in padavine

V diplomski nalogi smo uporabili obrečna tla, ki pa imajo različne lastnosti. S primerjavami obnašanja herbicidov v različnih tleh smo želeli ugotoviti, kako na izpiranje izbranih herbicidov skozi talni profil vplivajo talne lastnosti.

Model PELMO je za vse obravnavane herbicide izračunal največjo oceno koncentracij ( $\mu\text{g/l}$ ) izprane snovi v profilu 1. Vzrok za največjo ranljivost teh tal za izpiranje vseh obravnavanih herbicidov je v zelo majhni vsebnosti gline v tleh: v prvem horizontu (globina 9 cm) 7,4% gline in v drugem horizontu (globina 21 cm) 6,3% gline. Majhen odstotek gline predstavlja manj možnosti za vezavo herbicida in tako večja možnost za njegovo izpiranje skozi talni profil. Zaradi plitvih tal (30 cm) je propustnost tal za vodo velika (Slika 6). Dobra prepustnost tal za vodo pomeni hitrejše odtekanje vode in s tem nevezanih FFS skozi talni profil, kar se odraža v večji ranljivosti tal za izpiranje FFS.

Model PELMO je za vse obravnavane herbicide izračunal najmanjšo koncentracijo ( $\mu\text{g/l}$ ) izprane snovi v profilu 9, ki spada v globoka obrečna tla na peščeno prodnatem in meljasto ilovnatem aluviju (PKE 1938). Lastnost teh tal je zelo slaba prepustnost za vodo (Slika 6), kar je posledica globine (90 cm) ter teksture tal. Profil ima velik delež gline v tleh: v prvem horizontu (globina 30 cm) je delež gline 19,5% in v drugem horizontu (globina 60 cm) je delež gline 20,4%. Ti dve lastnosti vplivata na manjšo dovzetnost tal za izpiranje herbicidov skozi talni profil.

Pri odvisnosti izpiranja herbicidov skozi talni profil od lastnosti tal je poseben primer profil 8. Glede na druge profile ima velik delež peska, gline in organskega ogljika v prvih dveh horizontih. V tretjem horizontu (globina od 63 do 83 cm) ima zelo velik delež peska (84,6 %). Ta očitno močno vpliva na prepustnost tal za vodo v tem profilu, saj je, glede na njegovo globino, zelo velika (Slika 6). Kljub temu je dovzetnost tal tega profila za izpiranje izbranih herbicidov, poleg profila 9, najmanjša izračunana. Razlog je velik delež gline (do 22%) in organske snovi (do 1,65%) v zgornjih horizontih. To kaže na pomembnost zgornjega horizonta pri izpiranju FFS.

Heterogenost tal znotraj posameznih pedokartografskih enot (PKE) ter variabilnost talnih lastnosti, pomembnih za modeliranje z modelom PELMO, je v našem primeru velika. Za primerjavo med posameznimi PKE je zato potrebno izbrati reprezentativna tla za posamezno PKE ali uporabiti čimveč profilov za eno PKE.

Primerjavo odvisnosti koncentracije izpranega FFS od padavin smo prikazali na profilu 3, ki smo ga naključno izbrali. Rezultati so pokazali, da količina padavin vpliva na izpiranje FFS skozi tla. Največje koncentracije izbranih FFS v odcedni vodi na dnu profila so bile izračunane leta 2006, ko so bile izmerjene velike količine padavin. Največja količina padavin je bila izmerjena leto pred tem. Koncentracije izpranih FFS so se večinoma povečevale s številom nanosov FFS. Koncentracije FFS v odcedni vodi na dnu profila so se močno zmanjšale leta 2003, ko so bile izmerjene tudi najmanjše količine padavin.

### 5.1.3 Odmerki

Pri večjih odmerkih izbranih herbicidov so koncentracije izpranih snovi po pričakovanjih večje. Izračunane ocene koncentracij izpranega metolaklora so se povečevale sorazmerno s povečanjem odmerka. Pri atrazinu in terbutilazinu se koncentracije niso povečevale sorazmerno s povečevanjem odmerka. Na primer pri povečanju najmanjšega odmerka atrazina za 60 % (iz 960 g/ha na 1536 g/ha) so se koncentracije povečale za 80-124 %.

### 5.1.4 Model PELMO

Model PELMO se uporablja za napoved izpiranja FFS v nenasičenem delu tal in računa koncentracijo izpranih snovi v odcedni vodi na dnu tal. Neposredna primerjava med napovedano koncentracijo, ki z odcedno vodo vstopa v vodno telo, in izmerjeno koncentracijo na zajetjih ni mogoča, ker model ne upošteva redčenja v podzemni vodi in nadaljnjih transformacij (Persolja, 2008). Vendar pa model vseeno pokaže kakšne koncentracije izpranega herbicida se izperejo na dno talnega profila. Večje koncentracije kot so na dnu, večja je možnost, da pride do onesnaženja podtalnice.

### 5.1.5 Vhodni podatki

Model PELMO zahteva kakovostne podatke za izdelavo scenarijev za modeliranje. Odstopanja vnesenih podatkov od dejanskih podatkov območja se lahko odrazijo z nenatančnimi in zavajajočimi rezultati modeliranja. Kakovostni podatki so zato pogoj za pridobitev realnih rezultatov o ranljivosti tal.

Kot klimatske podatke za območje Apaškega polja smo uporabili klimatske podatke iz meteorološke postaje Murska Sobota. Ugotovili smo, da že majhna nihanja v količini padavin pomenijo drugačne izračunane koncentracije izprane snovi. Zaradi občutljivosti o kakovosti vhodnih podatkov si upamo trditi, da bi bili z bolj natančnimi klimatskimi podatki izračuni koncentracij izprane snovi lahko drugačni.

Podatki o fizikalno kemijskih lastnostih herbicidov se od literature do literature spreminjajo. Zaradi teh razponov podatkov je od posameznika odvisno, za katere vrednosti

se bo odločil. Različne uporabljene vrednosti pa pomenijo različne rezultate. Tako je na primer razpon v razgradnji atrazina med različnimi študijami od 28 do 150 dni (laboratorijske študije), od 12 do 108 (študije na terenu) in od 6 do 10 tednov pri drugih študijah (PPDB, 2009).

Podatki o talnih lastnostih so zelo pomembni. Zaradi različnih lastnosti talnih profilov znotraj enega talnega tipa (PKE) je pomembno, da pri izdelavi ocen izpiranja na določenem območju uporabimo čim več talnih profilov s širokim obsegom opisanih in merjenih talnih lastnosti. Najbolje bi bilo, da bi imeli tudi svoje podatke o sorpciji in razgradnji preučevanih FFS v izbranih tleh. Z določitvijo razpolovne dobe herbicidov v izbranih tleh v laboratoriju bi lažje določili razpolovno dobo za modeliranje izbranih herbicidov in tal. Razpon v razgradnji terbutilazina v treh različnih tipih tal Apaške doline v laboratorijskih poskusih je od 5-16% v 60 dneh (Šibanc, 2009), kar kaže da je razpolovna doba v teh tleh počasnejša kot razpolovna doba, ki smo jo vzeli iz baze PPDB (76,7 dni). Še bolj realnim razmeram bi se lahko približali z določitvijo razpolovne dobe na osnovi poljskih poskusov na konkretnih območjih.

## 5.2 SKLEPI

Fizikalno kemijske lastnosti FFS pomembno vplivajo na njihovo izpiranje skozi talni profil. Atrazin, terbutilazin, metolaklor in S-metolaklor se med seboj razlikujejo v izpiranju, ocenjenem z modelom PELMO v istem profilu. Vrednosti Koc in DT50 sta se pokazali kot ključna dejavnika v modelu PELMO, ki določata izpiranje posameznega FFS.

Količina nanesenega FFS je pomembno vplivala na koncentracijo izpranega herbicida v odcedni vodi na dnu profila. Koncentracije so se z večanjem odmerka praviloma povečevale. V kakšni korelaciji se povečevanje odraža, pa je odvisno od lastnosti posameznega herbicida.

Ocene koncentracij izpranih herbicidov so se razlikovale med talnimi profili. Na oceno so ključno vplivale naslednje talne lastnosti: globina profila, delež glinice ter vsebnost organske snovi predvsem v zgornjem horizontu tal.

Spremembe količin padavin so se odrazile s spremembo ocen koncentracij izpranih FFS. Večje kot so bile količine padavin, večja je bila ocena koncentracij izbranih FFS v odcedni vodi na dnu profila.

Kakovostni vhodni podatki so pomemben faktor pri pridobivanju pravih podatkov za modeliranje. Večja kot je kakovost podatkov, večja je verjetnost, da rezultati prikažejo čim bolj realno stanje v območju, za katerega smo želeli ugotoviti ranljivost.

## 6 POVZETEK

Fitofarmaceutvska sredstva (FFS) so v kmetijstvu postala nepogrešljiva. Zaradi velike porabe teh sredstev se nekatera izmed njih, ter njihovi metaboliti, redno zaznavajo v podtalnici. Tako so postali poleg nitratov glavni vir onesnaževanja podtalnice.

Apaško polje leži na severovzhodu Slovenije ob reki Muri. Zaradi svoje ravninske lege se je na tem območju močno razvilo kmetijstvo. Intenzivno kmetijstvo, plitva podtalnica ter neugodne lastnosti obrečnih tal predstavljajo veliko tveganje za onesnaženje podzemne vode s FFS. Kot posledica intenzivnega kmetijstva se onesnaženost podtalnice Apaškega polja z nitrati in FFS ugotavlja že 20 let.

Da bi omejili oziroma preprečili škodljive učinke uporabe FFS na okolje se v to smer usmerja vse več študij. Poleg laboratorijskih študij, so tu še študije na terenu oz. poljski poskusi. Vedno več študij pa se usmerja tudi k razvijanju računalniških modelov, ki s simulacijami ocenjujejo obnašanje FFS v tleh. Eden od načinov ocene ranljivosti tal za izpiranje FFS v podtalnico je tudi računalniški model PELMO. Z njim smo računali dovzetnost izbranih herbicidov za izpiranje skozi talni profil.

Namen diplomske naloge je bilo določiti kako različne lastnosti tal ter izbranih FFS vplivajo na izpiranje izbranih FFS skozi tla. Želeli smo tudi ugotoviti kako se povečevanje odmerkov FFS kaže na izračunane koncentracije le-teh v odcedni vodi na dnu profila.

Za podatke o tleh smo uporabili 10 talnih profilov, ki so bili vzeti na obrečnih tleh Apaškega polja. Izbrali smo štiri fitofarmaceutvska sredstva (atrazin, terbutilazin, S-metolaklor in metolaklor), v treh različnih odmerkih. Modeliranje smo izvedli v enakih klimatskih razmerah za obdobje 10 let. Izvedli smo tudi modeliranje s terbutilazinom, pri katerem smo kot odmerek uporabili enake količine kot se uporabljajo za aktivno snov atrazin. Namen je bil ugotoviti, kako se nujne razlike v fizikalno kemijskih lastnostih odražajo v izpiranju.

Rezultati, ki smo jih pridobili z modeliranjem z modelom PELMO so pokazali, da na ocene izpiranja FFS skozi tla vplivajo tako fizikalno kemijske lastnosti in odmerki izbranih herbicidov, lastnosti tal, kot tudi padavine. Med fizikalno kemijskimi lastnostmi FFS so se, kot pomembne lastnosti, ki vplivajo na izpiranje, pokazale vrednosti Koc in DT50. Največje vrednosti Koc in najmanjšo vrednost DT50 je imel S-metolaklor za katerega izračuni niso pokazali izpiranja v odcedno vodo na dnu profila. Metolaklor, terbutilazin in atrazin so imeli podobne vrednosti DT50, vendar je imel atrazin najmanjšo vrednost Koc, kar se je pokazalo tudi v največjih izračunanih ocenah koncentracij izpranega atrazina, med vsemi herbicidi. Ugotovili smo, da sta med lastnostmi tal ključna delež glinice ter delež organskega ogljika v tleh. Najmanjše izpiranje je bilo izračunano v profilu 9, ki je imel velik delež glinice in največje v profilu 1, ki je imel majhen delež glinice. Izračuni so bili enaki za vse herbicide, razen za S-metolaklor, ki se po izračunih ni izpiral. Na koncentracijo izpranega herbicida pomembno vpliva tudi odmerek herbicida. Pri

največjih odmerkih herbicida so bile izmerjene tudi največje koncentracije izpranega herbicida (razen za S-metolaklor). Največje izmerjene koncentracije izpranega FFS so bile večje od 10 letnega povprečja, kar kaže na to, da se koncentracije izpranega FFS tekom leta neenakomerno pojavljajo v odcedni vodi na dnu profila. Na povečano ali zmanjšano koncentracijo FFS v odcedni vodi na dnu profila vplivajo tako količina padavin kot tudi čas nanosa. Če se pojavijo padavine takoj po nanosu FFS je večja verjetnost, da bo prišlo do povečanih koncentracij FFS v odcedni vodi na dnu profila.

Model PELMO izračunava izpiranje skozi talni profil. Če so izračunane ocene koncentracij na dnu profila velike, je večja nevarnost, da se ta herbicid pojavi v podtalnici. Da bi bili rezultati čimbolj realni, pa je potrebno pridobiti kvalitetne vhodne podatke, ki pa mnogokrat niso dostopni. Za popularizacijo modelov je zato potrebno še veliko raziskav, tako v laboratoriju, kot na terenu.

## 7 VIRI

- Arias – Estévez M., López – Periago E., Martínez – Carballo E., Simal – Gándara J., Mejuto J., García – Río L. 2008. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 123: 247–260
- Belović B., Fujs A., Aladič S., Krajnc Nikolič T. 2008. Stališča in odnos prebivalcev Pomurja do naravnega okolja. *Zavod za zdravstveno varstvo Murska Sobota*: 12 str.
- Bregar R. 2003. Herbicidi in njihovi metaboliti v podtalni vodi. *Zdravstveno varstvo*, 42: 160-166
- Celar F. 2006. Fitofarmaceutvska sredstva: fungicidi in herbicidi: študijsko gradivo za področje varstva rastlin. Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo  
<http://web.bf.uni-lj.si/dsa/gradivo/fito/za%20print.doc> (20. avg. 2009)
- CPVO 2009. Pedološki podatki za Apaško polje. Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo (izpis iz baze podatkov)
- Dubus I.G., Brown C.D., Beluke S. 2003. Sensitivity analyses for four pesticide leaching models. *Pesticide Management Science*, 59: 962-982
- Dubus I.G., Beulke S., Brown C.D., Gottesbüren B., Dienes A. 2004. Inverse modelling for estimating sorption and degradation parameters for pesticides. *Pesticide Management Science*, 60:859–874
- Dusset S., Mouvet C. 1997. Leaching of terbuthylazine and atrazine through laboratory soil columns. *Earth and Planetary Science*, 325, 5: 335-342
- FOCUS, 2008. FOCUS groundwater: about PELMO  
<http://focus.jrc.ec.europa.eu/gw/index.html> (27. maj 2009)
- FOOTPRINT, 2006. State of the art on pesticide fate models and environmental indicators.  
[http://www.eu-footprint.org/downloads/FOOTPRINT\\_DL4.pdf](http://www.eu-footprint.org/downloads/FOOTPRINT_DL4.pdf) (20. avg. 2009)
- Gerstl Z., Sluszny C., Alayof A., Graber E.R. 1996. The fate of terbuthylazine in test microcosms. *The Science of the Total Environment*, 196: 119-129
- Graymore M., Stagnitti F., Allinson G. 2001. Impacts of atrazine in aquatic ecosystems. *Environment International*, 26: 483-495
- Guo L., Jury W.A., Wagnet R.J., Flury M. 2000. Dependence of pesticide degradation on sorption: nonequilibrium model and application to soil reactors. *Journal of Contaminant Hydrology*, 43: 45–62
- Gustafson D.I. 1989. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 8, 4: 339–357
- Gustafson D.I. 1995. Use of computer models to assess exposure to agricultural chemicals via drinking water. *The Science of the Total Environment*, 171: 35-42
- Guzzella L., Pozzoni F., Giuliano G. 2006. Herbicide contamination of surficial groundwater in Northern Italy. *Environmental Pollution*, 142: 344-353

- Hidrološki letopisi Slovenije od leta 1999 do 2005. (27. maj 2009)  
<http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/letopisi.html>
- Jantunen P., Trevisan M., Capri E. 2004. Computer models for characterizing the fate of chemicals in soil: Pesticide leaching models and their practical applications. V: Soil-water-solute process characterization: an integrated approach, Alvarez – Brendi J., Munoz – Carpena R. (ed.). CRC Press: 715-756
- Kah M., Brown C. D. 2006. Adsorption of ionisable pesticides in soils. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 188: 149–217
- Klein M. 1997. Statistical distribution of pesticide concentrations in leachate - results of Monte-Carlo analysis performed with PELMO. *Chemosphere*, 35: 319-389
- Klein M., Hosang J., Schäfer H., Erzgräber B., Ressler H. 2000. Comparing and evaluating pesticide leaching models: Results of simulations with PELMO. *Agricultural Water Management*, 44: 263-281
- Klimatski podatki meteorološke postaje Murska Sobota. 2008. Ljubljana. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) (osebna komunikacija, izpis iz baze podatkov)
- Koprivnikar – Bobek M., 2009. »Popolna prepoved atrazina«. Ljubljana. Fitosanitarna uprava Republike Slovenije (osebna komunikacija)
- Koren H., Bisesi M. 2003. Handbook of environmental health. Vol. 1: Biological, Chemical, and Physical Agents of Environmentally Related Disease. Fourth edition. CRC Press: 824 str.
- Landon M., Jacobsen J., Johnson G. 1994. Pesticide management for water quality protection. Montana State University: 19 str.
- LeBaron H. M., McFarland J. E., Burnside O.C. 2008. The triazine herbicides: 50 years revolutionizing agriculture. Amsterdam. Elsevier: 584 str.
- Maček J., Kač M. 1991. Kemična sredstva za varstvo rastlin. Ljubljana, ČZP Kmečki glas, 500 str.
- Milevoj L. 2007. Kmetijska entomologija (splošni del). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 179 str.
- Nolan B.T., Dubus I.G., Surdyk N. 2009. A refined lack-of-fit statistic to calibrate pesticide fate models for responsive systems  
[www.pfmodels.org/downloads/ID028.pdf](http://www.pfmodels.org/downloads/ID028.pdf) (20. avg. 2009)
- NRA (National Registration Authority for Agricultural and Veterinary Chemicals, Australia), 2002. Final report review of atrazine. Chemical Review Program: 57 str.  
[http://www.apvma.gov.au/chemrev/downloads/atrazine\\_finalApril02.pdf](http://www.apvma.gov.au/chemrev/downloads/atrazine_finalApril02.pdf) (20. jul. 2009)
- O'Connell P. J., Harms C. T., Allen J. R. F., 1998. Metolachlor, S-metolachlor and their role within sustainable weed-management. *Crop Protection*, 17, 3: 207-212
- Papiernik S.K., Spalding R.F. 1998. Atrazine, deethylatrazine, and deisopropylatrazine persistence measured in groundwater in situ under low-oxygen conditions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 46: 749-754



- Persolja J. 2008. Napoved izpiranja herbicidov v tleh Dravskega in Ptujkega polja z modelom PELMO: magistrsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 118 str.
- Pimentel D., Levitan L. 1986. Amounts applied and amounts reaching pests. *BioScience*, 36, 2: 86-91
- Pintar M., Mihelič R., Suhadolc M., Lobnik F. 1996. Monitoring onesnaženosti podtalnice in površinskih vod z nitrati in atrazinom v Apaški dolini V: Novi izzivi v poljedelstvu '96: zbornik simpozija. Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 105-109
- Poročilo o kakovosti podzemne vode v Sloveniji v letih 2004 in 2005. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), Ljubljana, 2007  
<http://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/00B-del.pdf> (20. apr. 2009)
- PPDB (Pesticide properties database), 2009.  
<http://www.eu-footprint.org/ppdb.html> (do 20. jul. 2009)
- Prestor J., Meglič P. 2008. Vodovarstveno območje vodnega vira Apaškega polja. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije.  
[www.pora-gr.si/datoteke/vvo\\_apace08.ppt](http://www.pora-gr.si/datoteke/vvo_apace08.ppt) (15. maj 2009)
- Priročnik o FFS iz leta 2002. 2009. Sredstva za varstvo rastlin. FITO-INFO.  
<http://www.fito-info.si> (20. jun. 2009)
- Prosen H., Zupančič – Kralj L. 2005. Evaluation of photolysis and hydrolysis of atrazine and its first degradation products in the presence of humid acids. *Environmental Pollution*, 133: 517–529
- Rao P.S.C., Mansell R.S., Baldwin L.B., Laurent M.F. 1983. Pesticides and their behaviour in soil and water. Soil science fact sheet. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida  
[www3.abe.iastate.edu/AE520/Pesticides.pdf](http://www3.abe.iastate.edu/AE520/Pesticides.pdf) (17. jun. 2009)
- Seznam fitofarmaceutskih sredstev, ki jim je prenehala registracija v Republiki Sloveniji v letu 2002. 2003. Ur. L. RS, št. 17/03  
[www.furs.si/](http://www.furs.si/) (20. maj 2009)
- Seznam registriranih fitofarmaceutskih sredstev 2008. Fitosanitarna uprava RS (FURS)  
[www.furs.si/](http://www.furs.si/) (20. maj 2009)
- Shaner D. L., Brunk G., Belles D., Westra P., Nissen S. 2006. Soil dissipation and biological activity of metolachlor and S-metolachlor in five soils. *Pest Management Science*, 62: 617–623
- Simončič A. 2009. Poraba sredstev za varstvo rastlin.  
[http://kazalci.arso.gov.si/kazalci/index\\_html?Kaz\\_id=81&Kaz\\_naziv=Poraba%20sredstev%20za%20varstvo%20rastlin&Sku\\_id=6&Sku\\_naziv=KMETIJSTVO&tip\\_kaz=1](http://kazalci.arso.gov.si/kazalci/index_html?Kaz_id=81&Kaz_naziv=Poraba%20sredstev%20za%20varstvo%20rastlin&Sku_id=6&Sku_naziv=KMETIJSTVO&tip_kaz=1)  
(20. jun. 2009)
- Suhadolc M. 2007. Sledenje fitofarmaceutskih sredstev v sistemu tla voda. V: Voda (pomen mikrobiologije in biotehnologije za prihodnost). Raspor P. (ur.), Kuščer E. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 85-92

- Suhadolc M., Lobnik F. 2006. Ugotavljanje tveganja in upravljanje s fitofarmaceutskimi sredstvi v okolju – predlog novih pristopov v Sloveniji na osnovi sodelovanja v EU projektu FOOTPRINT. V: Zbornik predavanj in referatov 8. slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin. Maček J. (ur.). Ljubljana, Društvo za varstvo rastlin Slovenije: 7-10
- Suhadolc M., Lobnik F. 2007. Učinek dodanega komposta tlem na razgradnjo atrazina v kolonskem poskusu. *Acta agriculturae Slovenica*, 89: 259-267
- Surdyk N., Dubus I.G., Real B., Dutertre A. 2007. Modelling the transfer of 2 herbicides in a drained clay soil over a 10-year period. V: Environmental fate and ecological effects of pesticides. Del Re A.A.M., Capri E., Fragoulis G., Trevisan M. (ed.). Italy, La Goliardica Pavese: 452-459
- Sušin J. 2008. Predstavitev kmetijskega dela uredb o vodovarstvenih območjih v Sloveniji na primeru Apaškega polja. Izobraževanje kmetijskih svetovalcev. Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije  
[http://www.aktrp.gov.si/fileadmin/arsktrp.gov.si/pageuploads/Aktualno/Ostalo/2008/6\\_SUSIN\\_Kmetijstvo\\_na\\_VVO.ppt](http://www.aktrp.gov.si/fileadmin/arsktrp.gov.si/pageuploads/Aktualno/Ostalo/2008/6_SUSIN_Kmetijstvo_na_VVO.ppt) (20. jul. 2009)
- Šibanc N. 2009. Razgradnja herbicida terbutilazina v dveh teksturno različnih tleh Apaške doline: diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 35 str.
- Tiktak A., de Nie D.S., Piñeros Garcet J.D., Jones A., Vanclooster M. 2004. Assessment of the pesticide leaching risk at the Pan-European level. The EuroPEARL approach. *Journal of Hydrology*, 289: 222–238
- Topolovec A. 2008. Raba zemljišč v Apaški dolini. Gornja Radgona, Kmetijsko svetovalna služba (osebna komunikacija)
- van der Werf H.M.G. 1996. Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 60: 81-96
- van Es H.M., Trautmann N.M. 1990. Pesticide management for water quality. Principles and practice. Ithaca, N.Y., Cornell University Press, 17 str.
- Wolters A. 2003. Pesticide volatilization from soil and plant surfaces: measurements at different scales versus model predictions. *Forschungszentrum Jülich, Zentralbibliothek*: 121 str.
- Zakon o fitofarmaceutskih sredstvih. Ur.l. RS, št. 11/01

## ZAHVALA

Zahvaljujem se somentorici doc. dr. Metki Suhadolc ter mentorju prof. dr. Francu Lobniku, za usmerjanje, spodbujanje in pomoč pri izdelavi diplomske naloge. Zahvaljujem se tudi Marjanu Šinkovcu za pomoč pri modeliranju in urejanju rezultatov.

Hvala vsem zaposlenim na Centru za pedologijo in varstvo okolja, posebej Janiju Ruprehtu za terensko delo.

Hvala sošolcem Nataši, Mojci in Mihi za spodbujanje, pomoč in popestritev študija. Hvala tudi vsem prijateljem, ki so me spodbujali tekom študija.

Najbolj pa bi se zahvalila staršem in Jerneju, ki so mi stali ob strani vsa leta študija.

Hvala tudi sestri za vse nasvete ter lektoriranje.