

**Agrovc descriptors:** herbicides,pesticides,leaching,groundwater,groundwater pollution,soil pollution,models,standards

**Agris category code:** H60,P10,D50

## Primerjava modelov FOCUS PELMO in PEARL pri ocenjevanju izpiranja herbicidov v treh izbranih vrstah tal na območju Apaške doline

Marjan ŠINKOVEC<sup>1</sup>, Ana ŠTANGELJ<sup>2</sup>, Primož BUKOVEC<sup>3</sup>, Marjetka SUHADOLC<sup>4</sup>

Prispelo: 15. septembra 2010; sprejeto 14. februarja 2011.

Received: September 15, 2010; accepted February 14, 2011.

### IZVLEČEK

Modela PELMO 3.3.2 in PEARL 3.3.3 sta uveljavljena modela za ocenjevanje izpiranja fitofarmaceutskih sredstev (FFS) in se uporabljata tudi za namen registracije FFS v državah članicah EU. Medsebojno smo primerjali rezultate obeh modelov in sicer ocene izpiranja izbranih herbicidov (Lumax, Primextra Gold 720 SC in Primextra 500 tekoči) za standardne t. im. scenarije FOCUS, kot tudi za specifične okoljske scenarije, ki so značilni za Apaško dolino. Uporabili smo dolgoletne dnevne podatke z meteorološke postaje Murska Sobota in pedološke podatke treh izbranih profilov na območju Apaške doline: obrečnih tal, hipogleja in psevdogleja. Ugotovili smo, da so pri standardnih scenarijih FOCUS ocene izpiranja izbranih FFS v modelu PEARL v splošnem večje kot pa v modelu PELMO, v specifičnih (realnih) scenarijih iz Apaške doline za obdobje 1984-2009 pa se je ta ugotovitev potrdila le v izbranih (najobčutljivejših) plitvih obrečnih tleh, medtem ko so v drugih dveh talnih profilih nekoliko višje ocene izpiranja izbranih herbicidov pokazali rezultati PELMO modela.

**Ključne besede:** fitofarmaceutska sredstva, izpiranje, modeliranje, tla, podtalnica, FOCUS scenariji

### ABSTRACT

#### COMPARISON OF PELMO AND PEARL FOCUS MODELS FOR ASSESSING HERBICIDE LEACHING IN THE THREE SELECTED SOIL TYPES IN THE APAČE VALLEY AREA

FOCUS PELMO 3.3.2 and PEARL 3.3.3 are well established models for predicting pesticide leaching and can be used also for the pesticide registration purposes in the EU Member States. Results of both models were compared, namely the predicted leached concentrations of selected herbicides (Lumax Primextra Gold 720 SC and Primextra 500 liquid) for the standard FOCUS scenarios, as well as for the specific environmental scenarios that are typical for Apače Valley. Long term daily data from meteorological station Murska Sobota and soil data of three selected soil profiles (Fluvisol, Gleysol, and Stagnosol) were used. The results demonstrate that predicted leached concentrations of selected herbicides under standard FOCUS scenarios are in PEARL generally higher than in PELMO model, however under specific (realistic) scenarios in Apače Valley for the period 1984-2009, this finding is confirmed only in selected (the most vulnerable) shallow Fluvisol soil, while the predicted leached concentrations in the other two soil profiles are slightly higher when using PELMO model.

**Key words:** pesticides, leaching, modeling, soil, groundwater, FOCUS scenarios

<sup>1</sup> univ. dipl. ing. geol., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 100 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

<sup>2</sup> univ. dipl. ing. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 100 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

<sup>3</sup> univ. dipl. ing. agr., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, 3310 Žalec, Cesta Žalskega tabora 2

<sup>4</sup> doc. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 100 Ljubljana, Jamnikarjeva 101, email: marjetka.suhadolc@bf.uni-lj.si

## 1 UVOD

Za ocenjevanje izpiranja fitofarmaceutskih sredstev (FFS) skozi talni profil so bili v zadnjih 30 letih razviti številni simulacijski modeli, ki se med seboj razlikujejo v zahtevah po vhodnih podatkih, zmožljivosti simulacij in zanesljivosti rezultatov (Dubus in Surdyk, 2006). Napovedovanje izpiranja FFS je namreč zelo zahtevno tako zaradi kompleksnosti talnega ekosistema in medsebojne prepletenosti procesov, kot tudi zaradi potrebnih vhodnih parametrov vezanih na lastnosti tal, ki pa niso vedno na voljo. Za namene registracije FFS v EU je delovna skupina FOCUS (Forum for Co-ordination of pesticide fate models and their USE) izdelala strokovne podlage za ocenjevanje usode FFS v okolju z modeli PELMO, PEARL, MACRO in PRZM (FOCUS, 2000).

Modela FOCUS PELMO 3.3.2 in PEARL 3.3.3 sta uveljavljena modela za ocenjevanje izpiranja FFS, ki imata za namen registracije FFS v državah članicah EU vgrajene standardne, t. im. scenarije FOCUS značilne za 9 lokacij: Châteaudun, Hamburg, Jokioinen, Kremsmünster, Okehampton, Piacenza, Porto, Sevilla, Thiva (EEC, 1991). Standardni scenariji FOCUS se med seboj močno razlikujejo po talnih lastnostih kot tudi po klimatskih podatkih (Preglednica 1). Vprašanje je kateri standardni scenarij uporabiti za ocenjevanje izpiranja FFS na območju Slovenije, saj med scenariji FOCUS ni slovenskega.

**Preglednica 1:** Osnovne klimatske in pedološke lastnosti za devet FOCUS scenarijev za podtalnico  
**Table 1:** Basic climatic and soil properties for the nine FOCUS groundwater scenarios

Lokacije	Padavine (mm)	Temperatura povp. letna (°C)	Globina (cm)	Tekstura (Ap)	Org. sn. %	pH
Châteaudun	648	11.3	260	MGI	2,4	8,0
Hamburg	786	9	200	PI	2,6	5,7
Jokioinen	638	4.1	150	IP	7,0	6,2
Kremsmünster	900	8.6	200	I / MI	3,6	7,0
Okehampton	1038	10.2	150	I	3,8	5,8
Piacenza	857	13.2	170	I	1,7	7,0
Porto	1150	14.8	120	I	6,6	4,9
Sevilla	493	17.9	180	MI	1,6	7,3
Thiva	500	16.2	100+	I	1,3	7,0

Monitoring podatki kakovosti podtalnic v Republiki Sloveniji (RS) kažejo, da so le te obremenjene predvsem z aktivnimi snovmi herbicidov, ki se uporabljajo v koruzi. Na kmetijskih zemljiščih Apaške doline prevladujejo žita, med njimi ima pomemben delež koruza, zato je toliko bolj smiselno oceniti potencial izpiranja FFS pri pridelavi te kulture. Namen dela je medsebojna primerjava dveh modelov, ter različnih okoljskih razmer (scenarijev) na ocene potenciala izpiranja izbranih herbicidov. Osredotočili smo se na aktivne snovi, ki se največkrat pojavljajo v slovenskih podtalnicah: terbutilazin, metolaklor in atrazin. Pripravki z aktivno snovjo atrazin sicer niso več na listi registriranih fitofarmaceutskih sredstev RS od leta 2002 dalje, vendar pa ima Center za pedologijo in

varstvo okolja Biotehniške fakultete na območju Apaške doline dolgoletne mesečne podatke monitoringa atrazina in metabolitov na 20 vzorčnih mestih podtalnice, kar lahko pripomore k lažji interpretaciji in kasnejši ekstrapolaciji rezultatov.

V raziskavi smo medsebojno primerjali rezultate modelov FOCUS PELMO 3.3.2 in PEARL 3.3.3 in sicer tako za standardne scenarije FOCUS, kot tudi za dejanske (specifične) scenarije iz Apaške doline, kot modelne lokacije z dobrimi vhodnimi podatki. Nadalje smo na primeru Apaške doline ugotavljali vpliv različnih vrst tal na ocene izpiranja FFS ob istih podnebnih pogojih.

## 2 METODE IN MATERIAL

Ocene izpiranja smo izdelali za izbrane herbicidne pripravke, ki so jih v večjih količinah uporabljali v koruzi na območju Apaške doline: Lumax, Primextra

Gold 720 SC in Primextra 500 tekoči. Pri modeliranju smo simulirali maksimalni dovoljeni odmerek izbranih pripravkov (4 L/ha) v koruzi za zrnje in sicer enkratni

nanos letno (1. maja) za 26 zaporednih let (obdobje 1984-2009). Zaradi primerljivosti med modeloma smo uporabili enotno disperzijsko dolžino (5 cm) po celotnem talnem profilu.

Pripravek Lumax sestavljajo terbutilazin (0,5 kg/ha), S-metolaklor (1,5 kg/ha) in mezotrion (0,15 kg/ha); pripravek Primextra Gold 720 SC atrazin (1,28 kg/ha) in S-metolaklor (1,6 kg /ha), ter pripravek Primextra 500 tekoči atrazin (0,8 kg/ha) in metolaklor (1,2 kg/ha). Lastnosti posameznih aktivnih snovi smo povzeli po

FOOTPRINT-ovi podatkovni bazi o FFS (Preglednica 2). Rezultati naših predhodnih modeliranj kažejo, da se v izbranih pripravkih in scenarijih iz Apaške doline, aktivna snov S-metolaklor ne izpira, saj so ocenjene koncentracije z modelom PELMO na občutljivejših obrečnih tleh znašale pod 0,001 µg/L (Štangelj, 2009), zato je v tej raziskavi nismo obravnavali. Prav tako v raziskavo nismo vključili mezotriona zaradi majhne količine v pripravku in zelo kratke razpolovne dobe (5 dni).

**Preglednica 2:** Izbrane kemijske lastnosti aktivnih snovi herbicidov: molska masa, koeficient sorpcije na organski ogljik (Koc), ter razgradnja v tleh (DT50) (PPDB, 2010)

**Table 2:** Selected chemical properties of herbicide active substances used: molecular mass, organic-carbon sorption constant (Koc), and soil degradation (DT50) (PPDB, 2010)

Lastnosti	Terbutilazin	Atrazin	Metolaklor	S-Metolaklor	Mezotrion
Molska masa (g/mol)	229,71	215,68	283,8	283,8	339,3
Koc (ml/g)	219	100	200	226	80
DT50 (dnevi)	76,7	75	90	15	5

### 2.1 Standardni FOCUS scenariji

S FOCUS modeloma PEARL 3.3.3 in PELMO 3.3.2, smo medsebojno primerjali ocenjene količine izpiranja FFS na primeru 8 standardnih scenarijev FOCUS. Scenarija na lokaciji Jokioinen nismo preučevali, saj močno odstopa od naravnih razmer na kateremkoli območju v Sloveniji (Preglednica 1).

### 2.2. Specifični scenariji Apaške doline

Primerjavo med modeloma PEARL 3.3.3 ter PELMO 3.3.2 smo razširili na izdelavo specifičnih scenarijev, kjer smo vključili realne klimatske in pedološke podatke iz Apaške doline. Dnevne klimatske podatke (količina padavin, potencialna evapotranspiracija, temperatura

zraka, relativna zračna vlaga, sončno obsevanje in hitrost vetra) z meteorološke postaje Murska Sobota smo za obdobje 1984-2009 pridobili na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO). V preučevanem obdobju je povprečna dnevna temperatura zraka znašala 10,1 °C, povprečna letna količina padavin pa 800 mm.

Za informacijo o tleh smo uporabili pedološke podatke 19 talnih profilov na območju Apaške doline. Za primerjavo med modeloma smo za tri glavne vrste tal izbrali profil, pri katerem smo predhodno z modelom PELMO ugotovili največjo ranljivost za izpiranje (Preglednica 3).

**Preglednica 3:** Lastnosti izbranih talnih profilov iz Apaške doline

**Table 3:** Properties of selected soil profiles from Apače Valley

Tla	Horizonti	Globina (cm)	vol. gostota (g/cm <sup>3</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )	pesek % P	glina % G	org. C % C
Profil 1 (obrečna tla)	A	0-9	1,20	6,9	43,7	7,4	3,1
	A2	9-30	1,27	6,9	50,1	6,3	1,7
	I	30-42	1,30	7	90,5	4,5	0,3
Profil 2 (hipoglej)	Ap	0-20	1,40	5,1	11,7	19,6	1,34
	A1	20-39	1,49	4,7	7,2	23,6	0,86
	A2	39-67	1,47	5,1	9,7	24,7	0,43
	Go	67-82	1,57	5,2	7,4	25,9	0,29
Profil 3 (pseudoglej)	Ap	0-30	1,27	5,1	20,3	15,9	1,66
	g	30-50	1,45	5,7	20,2	16,6	1,09
	Bg1	50-80	1,56	6,1	18,9	28,6	0,27
	Bg2	80-100	1,60	6,1	15,0	30,1	0,22

### 3 REZULTATI IN DISKUSIJA

#### 3.1 Standardni FOCUS scenariji

Pri ocenjevanju izpiranja izbranih pripravkov herbicidov v razmerah standardnih scenarijev FOCUS smo med modeloma PEARL 3.3.3 in PELMO 3.3.2 ugotovili precejšnje razlike in sicer so v programu PEARL izračunane koncentracije večje kot v programu PELMO (Preglednica 4). Največje ocene koncentracij FFS na globini 1 m tal sta oba modela izračunala za standardne lokacije Piacenza, Hamburg in Okehampton ter najnižje za Porto in Sevilla, kar je skladno z rezultati FOCUS skupine (FOCUS, 2000; Kördel in Klein, 2006).

Ugotovili smo velike razpore v ocenah koncentracij FFS na 1 m globine tal (0 – 21,8 µg/l za atrazin, 0 - 16,9 µg/l za metolaklor, ter 0 - 2,3 µg/l za terbutilazin), ki jih

lahko pojasnimo z različnimi pedo-klimatskimi razmerami uporabljenih scenarijev FOCUS, razlikami v odmerkih aktivne snovi, ter razlikami med modeloma PELMO in PEARL. Rezultati kažejo na veliko verjetnost izpiranja atrazina v pripravkih Primextra Gold in Primextra 500, kot tudi metolaklor v pripravku Primextra 500, v razmerah podobnim scenarijem FOCUS Châteaudun, Hamburg, Kremsmünster, Okehampton in Piacenza. Ocene koncentracij izpranega atrazina so po pričakovanju značilno večje v pripravku z večjim odmerkom nanosa (Primextra Gold SC). Ocene koncentracij terbutilazina na globini 1 m tal so v primerjavi z atrazinom manjše, kar lahko pojasnimo z manjšim odmerkom in večjim potencialom vezave na organsko snov tal (Koc).

**Preglednica 4:** Primerjava ocen koncentracij izbranih herbicidov v koruzi na globini 1 m tal (µg/L) med modeloma PELMO in PEARL ob upoštevanju standardnih scenarijev FOCUS

**Table 4:** Comparison of the selected herbicides predicted concentrations in maize fields at 1 m soil depth (µg/L) between models PELMO and PEARL under conditions of standard FOCUS scenarios

Pripravek Aktivna snov Odmerek a.s.	Lumax Terbutilazin 0,5 kg/ha		Primextra Gold Atrazin 1,28 kg/ha		Primextra 500			
					Atrazin 0,8 kg/ha		Metolaklor 1,2 kg/ha	
	PELMO	PEARL	PELMO	PEARL	PELMO	PEARL	PELMO	PEARL
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)
<b>Châteaudun</b>	0,016	0,431	3,001	13,229	1,606	7,423	1,950	8,277
<b>Hamburg</b>	0,127	0,583	11,266	15,894	6,047	9,072	5,322	9,972
<b>Kremsmünster</b>	0,027	0,447	3,727	12,983	2,040	7,496	2,600	7,945
<b>Okehampton</b>	0,066	0,695	5,853	15,355	3,175	8,795	3,614	10,361
<b>Piacenza</b>	1,103	2,271	17,315	21,819	10,215	12,770	12,210	16,879
<b>Porto</b>	0,000	0,001	0,014	0,393	0,005	0,195	0,031	0,428
<b>Sevilla</b>	0,000	0,058	0,000	3,943	0,000	2,136	0,000	2,684
<b>Thiva</b>	0,000	0,531	0,130	11,474	0,064	6,563	0,180	7,826

#### 3.2 Specifični scenariji Apaške doline

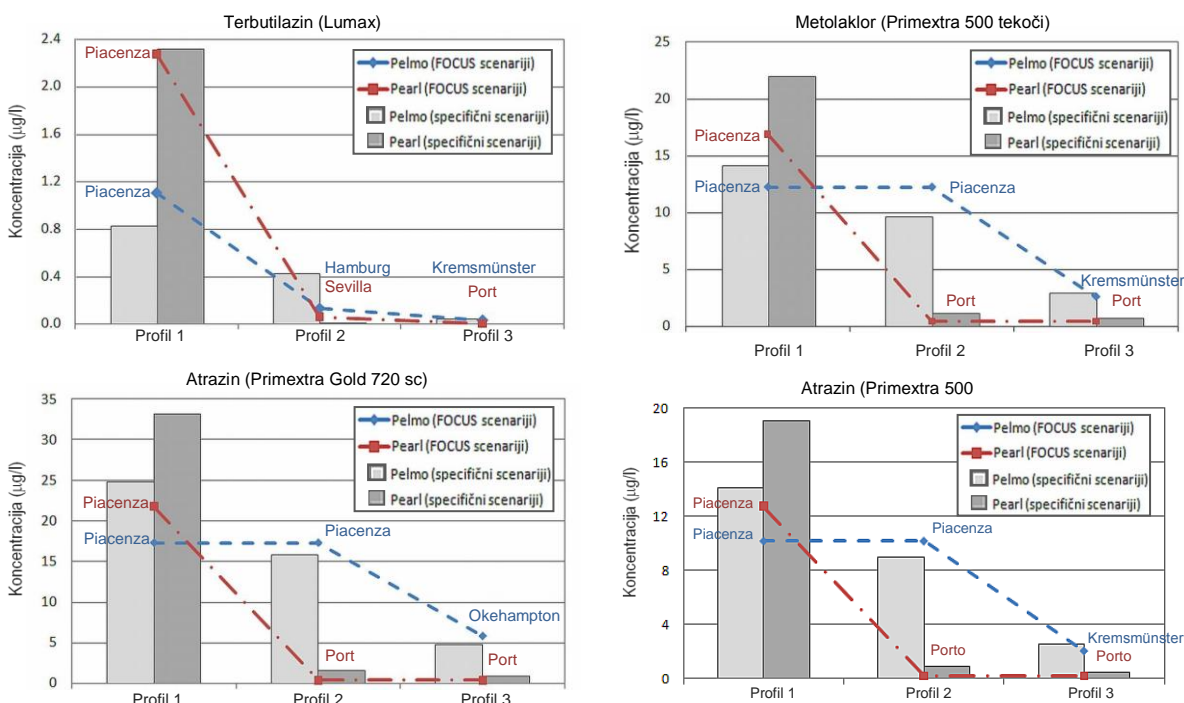
Podobno kot pri standardnih scenarijih FOCUS, smo tudi v specifičnih pedo-klimatskih pogojih Apaške doline ugotovili precejšnje razlike v ocenah koncentracij FFS na dnu talnih profilov med modeloma PEARL 3.3.3 in PELMO 3.3.2 (Preglednica 5). Model PEARL je izračunal večje koncentracije FFS na dnu profila 1 (obrečna tla), nasprotno pa v primeru profilov 2 in 3 (hipoglej in psevdoglej) večje izpiranje pokaže PELMO. Naši rezultati potrjujejo ugotovitev Knapiča in

Simončiča (2007), da lahko v določenih kmetijsko okoljskih pogojih model PELMO oceni večje izpiranje posameznega FFS od modela PEARL. Avtorja sta dokazala, da v primeru modeliranja izpiranja enega izmed FFS v ozimni pšenici (z oznako D) v srednje globokih evričnih tleh v Savinjski dolini PELMO poda večje ocene od modela PEARL, medtem ko so bile napovedi drugih FFS v pšenici, kot tudi napovedi v kombinaciji s koruzo večje (ali podobne) v modelu PEARL.

**Preglednica 5:** Primerjava ocen koncentracij izbranih herbicidov v koruzi na dnu talnega profila ( $\mu\text{g/L}$ ) med modeloma PELMO in PEARL ob upoštevanju specifičnih pedo-klimatskih pogojev v Apaški dolini

**Table 5:** Comparison of the selected herbicides predicted concentrations in maize fields at the bottom of soil profile ( $\mu\text{g/L}$ ) between models PELMO and PEARL under conditions of specific pedo-climatic conditions of Apače Valley

Pripravek Aktivna snov Odmerek a.s.	Lumax Terbutilazin 0,5 kg/ha		Primextra Gold Atrazin 1,28 kg/ha		Primextra 500 tekoči			
					Atrazin 0,8 kg/ha		Metolaklor 1,2 kg/ha	
	PELMO	PEARL	PELMO	PEARL	PELMO	PEARL	PELMO	PEARL
Tla	( $\mu\text{g/l}$ )	( $\mu\text{g/l}$ )	( $\mu\text{g/l}$ )	( $\mu\text{g/l}$ )	( $\mu\text{g/l}$ )	( $\mu\text{g/l}$ )	( $\mu\text{g/l}$ )	( $\mu\text{g/l}$ )
<b>Profil 1</b>	0,829	2,317	24,770	33,142	14,112	19,098	14,123	21,982
<b>Profil 2</b>	0,427	0,010	15,820	1,691	8,947	0,896	9,636	1,169
<b>Profil 3</b>	0,043	0,003	4,806	0,993	2,588	0,500	2,933	0,693



**Slika 1:** Primerjava ocen koncentracij izbranih FFS v koruzi na dnu talnih profilov ( $\mu\text{g/L}$ ) med PELMO in PEARL modelom ob upoštevanju specifičnih pedo-klimatskih razmer Apaške doline (stolpci). Točkovno so prikazane ocene enega izmed standardnih scenarijev FOCUS za vsak model, ki se vrednostno najbolj približa ocenam koncentracij FFS v specifičnih pedo-klimatskih razmerah.

**Figure 1:** Comparison of the selected pesticides predicted concentrations in maize fields at 1 m soil depth ( $\mu\text{g/L}$ ) between models PELMO and PEARL under conditions of standard FOCUS scenarios (columns). Pesticide predicted concentration of one standard FOCUS scenario per model that most closely approximates the value from specific pedo-climatic conditions is also presented (points).

Največje ocene koncentracij za vsa preučevana FFS smo po pričakovanju ugotovili v plitvih, teksturno lahkih obrečnih tleh. Ocene koncentracij FFS na dnu talnih profilov so bile z modelom PEARL večje od ocen modela PELMO za 35 do 75%. Specifičnim pogojem plitvih obrečnih tal v Apaški dolini se najbolj približa standardni scenarij FOCUS Piacenza, tako v PELMO kot tudi v modelu PEARL (Slika 1). Ob tem je potrebno

poudariti, da so ocene koncentracij že prepovedanih pripravkov v teh zelo specifičnih pogojih zelo ranljivih tal večje od »najslabšega možnega scenarija«, t.j. v danem primeru scenarij v Piacenzi. Medtem, ko so ocene izpiranja terbutilazina v Lumaxu med specifičnim scenarijem in scenarijem FOCUS Piacenza v podobnih koncentracijskih območjih. Ocene koncentracij FFS na dnu profilov hipogleja in psevdogleja so med modeloma

manjše kot v primeru obrečnih tal in sicer znašajo od 2 do 24%. Specifičnim pogojem hipogleja v Apaški dolini se sicer v odvisnosti od preučevanega FFS najbolj približajo naslednji standardni FOCUS scenariji: Piacenza in Hamburg (PELMO), oz. Porto in Sevilla (PEARL); v pogojih psevdogleja pa Kremsmünster in Okehampton (PELMO), oz. Porto (PEARL) (Slika 1).

Vprašanje, katera ocena koncentracij na dnu talnih profilov je bolj verjetna ostaja odprto, saj le to zahteva izvedbo zahtevnih lizimetrovskih poljskih poskusov na preučevanem območju. Le na ta način bi lahko ocenili kateri model in standardni scenarij FOCUS je za naše razmere primernejši.

#### 4 SKLEPI

Pri ocenjevanju izpiranja izbranih pripravkov herbicidov tako v razmerah standardnih scenarijev FOCUS kot tudi specifičnih scenarijev iz Apaške doline smo med modeloma PEARL 3.3.3 in PELMO 3.3.2 ugotovili precejšnje razlike in sicer so v PEARL modelu izračunane koncentracije praviloma večje kot v PELMO. Izjemoma, v določenih kmetijsko okoljskih pogojih (FFS, lastnosti tal), pa lahko PELMO oceni večje izpiranje posameznega FFS od modela PEARL.

Sedanji evropski registracijski postopki uporabljajo za izdelavo ocen tveganja rabe FFS omejeno število

kmetijsko okoljskih scenarijev glede na talne in podnebne razmere. Tako naj bi 9 scenarijev FOCUS za podtalnice predstavljalo evropsko prostorsko variabilnost, vendarle pa se v realnosti srečujemo z veliko variabilnostjo že med majhnimi območji znotraj iste države, kar smo pokazali v tej raziskavi na območju Apaške doline. Potencial izpiranja izbranih FFS je poleg klimatskih razmer namreč močno odvisen od lastnosti tal, čemur je v prihodnje potrebno nameniti več pozornosti z namenom zmanjševanja izgub FFS v podtalnico.

#### 5 LITERATURA

Dubus I.G., Surdyk N. 2006. State-of-the-art review on pesticide fate models and environmental indicators. Report DL#4 of the FP6 EU –funded FOOTPRINT project. Orléans Cedex, BRGM: 39 str.

EEC, 1991. Council Directive of 15 July concerning the placing of plant protection products on the market (414/91/EEC). 1991. Off. J. Eur. Communities, L230, 32: pp. 1-32

FOCUS, 2000. FOCUS groundwater scenarios in the EU review of active substances. Report of the FOCUS Groundwater Scenarios Workgroup, EC Document Reference Sanco/321/2000, 202 str.

Knapič M., Simončič A. 2007. Primerjava ocen izpiranja izbranih fitofarmaceutskih sredstev s Focus modeloma PELMO in PEARL na srednje globokih evtričnih rjavih tleh v Savinjski dolini. Hmeljarski bilten, 14: 55-61.

Kördel W., Klein M. 2006. Prediction of leaching and groundwater contamination by pesticides. Pure Appl. Chem., 78 (5): 1081-1090.

PPDB, 2010. Pesticide Properties Database, <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/> (do 16. apr. 2010)

Štangelj A., 2009. Ocena izpiranja izbranih herbicidov na obrečnih tleh Apaške doline, posejanih s koruzo: diplomsko delo. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 40 str.