

**PRIMERJAVA OCEN IZPIRANJA IZBRANIH FITOFARMACEVTSKIH
SREDSTEV S FOCUS MODELOMA PELMO IN PEARL NA SREDNJE GLOBOKIH
EVTRIČNIH RJAVIH TLEH V SAVINJSKI DOLINI**

Matej KNAPIČ¹, Andrej SIMONČIČ²

UDK / UDC 338.48-44 (1-22):659.3 (045)
izvirni znanstveni članek / original scientific article
prispelo / received: 28.11.2007
sprejeto / accepted: 15.12.2007

IZVLEČEK

Uporaba modelov pri napovedi ocene izpiranja fitofarmacevtskega sredstev (FFS) je zelo razširjena, saj omogoča enoten in relativno enostaven način preverjanja potencialnega obsega izpiranja. V postopku registracije FFS v Evropski skupnosti sta najpogostejše v rabi FOCUS modela PELMO in PEARL, zato smo preverili primerljivost obeh ocen modelov na podatkih profila srednje globokih evtričnih rjavih tal ter nizu vremenskih podatkov za Celje za obdobje 1974-2000. Osnovne podatke talnih lastnosti smo normalizirali na delež tal, ki ne vsebuje proda kot inertnega člena v procesu usode in obnašanja FFS v tleh. Preverili smo vpliv enotne disperzijske dolžine obeh modelov na bolj enotno oceno obsega izpiranja. Modeliranje je pokazalo, da sta modela primerljiva v napovedi obsega izpiranja ter da poenotenje disperzijske dolžine ne pripomore k zmanjšanju razlik med modelnimi napovedmi koncentracij FFS v talni raztopini med obema modeloma.

Ključne besede: izpiranje, fitofarmacevtska sredstva, podzemne vode, modeliranje, prodnata tla

**COMPARISON OF LEACHING PREDICTION FOR SELECTED PESTICIDES
USING PELMO AND PEARL FOCUS MODELS ON MEDIUM DEPTH EUTRIC
CAMBISOL IN THE SAVINJA VALLEY**

ABSTRACT

Use of pesticide leaching models is common process because modeling enables uniform and relatively simple way of testing the leaching potential of pesticide. FOCUS PELMO and PEARL models are most frequently used in pesticide registration process, so we tested predicted pesticide concentration in soil solution at 1m soil depth at both models. Both models were tested on soil data from profile, which developed on gravel and sand deposit, and weather data series of Celje for the period 1974-2000. Basic soil properties characteristics were normalized to active part of soil so we have excluded a portion of gravel, which has no direct influence on fate and behavior of pesticide in soil. A comparison of influence of the same dispersion length in both models on pesticide leaching prediction was made. Modeling results show similar rate of pesticide leaching prediction. A uniform dispersion length does not decrease differences between predicted pesticide leaching concentrations of both models.

Keywords: pesticides, leaching, groundwater, modeling, gravely soil

^{1,2} Kmetijski inštitut Slovenije, Hacquetova 17, 1000 Ljubljana; matej.knapič@kis.si

1 UVOD

Čeprav je spremljanje izpiranja fitofarmaceutskih sredstev (FFS) s poskusi »in situ« najbolj zanesljiv kazalec potencialnega onesnaževanja podzemnih vod, so v svetu poznani številni modeli, ki skušajo oceniti potencialni obseg izpiranja FFS iz tal. Spremljanje izpiranja FFS z lizimetri je namreč zamuden in drag proces, kjer so rezultati veljavni za specifične razmere in jih je zelo težko prevesti v drugačne okoljske razmere. Velika prednost modelnih ocen je prav prilagodljivost modelov, ki omogoča preverjanje potencialnega obsega izpiranja določenega FFS v različnih razmerah. Modeliranje nam tako omogoča, da lahko v kratkem času preverimo interakcije različnih razmer na proces izpiranja FFS.

V postopkih registracije FFS se uporabljajo štirje FOCUS modeli, in sicer: PELMO, PRZM, PEARL in MACRO. Čeprav se njihova zasnova v mnogih segmentih oziroma modelnih funkcijah razlikuje, so rezultati velikokrat primerljivi, tako da uspejo v zadostni meri oceniti obseg izpiranja posameznega FFS. Zaradi tega dejstva je njihova uporabnost splošno priznana na prvem nivoju preverjanja primernosti uporabe FFS [1]. V FOCUS modelih PELMO, PRZM in PEARL je vključenih 9 FOCUS scenarijev. Scenariji odražajo kombinacijo različnih talnih in klimatskih razmer in so enakomerni porazdeljeni po celotnem območju držav Evropske skupnosti pred njeno zadnjo veliko širitvijo leta 2004. Takšna porazdeljenost in nabor kombinacij omogočajo preverjanje primernosti rabe določenega FFS na najširšem območju Evropske skupnosti [2].

Slovenija je s svojim naborom kombinacij talnih lastnosti in klimatskih razmer specifična, saj se na prodnato peščenih nasutinah naših glavnih vodotokov odvija intenzivna kmetijska pridelava, hkrati pa je na večjem delu več kot 1000 mm letnih padavin. V okviru dosedanjega dela in modeliranja smo s pripravo nabora talnih in klimatskih lastnosti ugotovili, da se slovenske razmere v osrednji Sloveniji močno razlikujejo od kombinacije parametrov uveljavljenih scenarijev. Zato je potrebno za učinkovito varstvo slovenskih podzemnih vod pripraviti nabor parametrov, ki odražajo razmere tako imenovanih realno slabih lastnosti [3]. Ti parametri naj ne bi odražali ekstremnih razmer, saj bi v takem primeru le redko katero FFS izpolnilo kriterije za varno rabo. Realno slabe razmere morajo biti odraz razmer, ki se pojavljajo v tako velikem obsegu, da v večji meri vplivajo na stanje podzemnih vod na določenem območju.

Pri preverjanju obsega potencialnega izpiranja FFS iz tal se v večji meri uporabljata FOCUS modela PELMO in PEARL. Prvi je sorazmerno enostaven in hkrati nezahteven za računalniške zmogljivosti, medtem ko je model PEARL kompleksnejši predvsem v segmentu modeliranja gibanja vode v tleh. Za gibanje vode in računanje vodne bilance ima v svojo strukturo vgrajen podmodel SWAP. PELMO model opisuje gibanje vode po principu polnega vedra, kar pomeni, da se voda pomakne iz enega v drug horizont, ko doseže točko poljske kapacitete. V PEARL modelu pa je osnova gibanja vode Richardova enačba, ki opisuje tok vode kot razliko potenciala vode med dvema točkama.

V ostalih segmentih, predvsem kemizma FFS (sorpcije, razgradnje, itd), sta si modela zelo podobna. Boesten [4] je opozoril, da je razlika v rezultatih izprane količine FFS med modeloma PELMO in PEARL v veliki meri posledica različnih dolžin disperzije, ki se uporabljata v modelnih izračunih. Disperzija, konvekcija in difuzija so glavni parametri pri opisu transporta aktivne snovi v tekoči fazi tal. V PEARL modelu je dolžina disperzije 5 cm, medtem ko je v PELMO 2,5 cm. Čeprav so mnenja o pravilni izbiri disperzijske dolžine različna [5, 2], med drugim prevladuje mnenje, da bi bilo potrebno uporabljati za zgornji

horizont tal disperzijsko dolžino 2,5 cm in za spodnje globine 5 cm, je zadnje sporočilo ekspertov FOCUS skupine [5], da zaradi postopka harmonizacije modeliranja priporoča enotno uporabo 5 cm disperzijske dolžine. Seveda na razlike v koncentracijah oziroma količinah izpranega FFS vpliva tudi že omenjen različen princip modeliranja toka vode v tleh.

V raziskavi je narejena primerjava rezultatov modeliranja izpiranja petih FFS z modeloma PELMO in PEARL. Vhodni parametri so prilagojeni za realno slabe razmere za Savinjsko dolino, ki jih ponazarja srednje globoka oblika evtričnih rjavih tal. Posebnost slovenskih razmer je ta, da se poleg večje količine letnih padavin soočamo s tlemi, ki imajo večjo količino proda v talnem profilu. Prod seveda negativno vpliva na sorpcijske in vodno zadrževalne sposobnosti tal. V Savinjski dolini je srednje globoka oblika evtričnih rjavih tal najbolj razširjena oblika evtričnih rjavih tal. Rezultati in princip modeliranja pa so zaradi primerljivosti uporabni tudi za širše slovenske razmere.

2 MATERIAL IN METODE DELA

Za oba FOSUS modela, PELMO 3.3.2 in PEARL 3.3.3, smo priredili zapis vremenskih podatkov za vremensko postajo Celje za obdobje 1974-2000 (MOP, ARSO). Šestindvajsetletni niz podatkov je namreč najmanjši možni niz za oba modela. Za potrebe prilagoditve modela smo na osnovi terenskih raziskav območja izbrali reprezentativni talni profil ter analizirali osnovne kemične in fizikalne lastnosti. Talni profil smo izkopali v neposredni bližini Šempetra.

Preglednica 1: Osnovne kemijske lastnosti ter tekstura profila tal iz Šempetra

Table 1: Basic chemical properties and soil texture of the Šempeter soil profile

Horizont/globina	pH v KCl	pH v H ₂ O	% org. snovi	% C	% gline	% melja	% peska	Teksturni Razred (ameriška teksturna klasifikacija)
Ap; 0-29 cm	6,6	7,4	3,3	1,9	27	39,2	33,8	Ilovica do glinasta ilovica; I-GI
AB; 29 - 42 cm	6	7,3	2,2	1,3	30,9	34	35,1	Glinasta ilovica; GI
Bv; 42 - 69 cm	6,1	7,3	1,7	1,0	33,4	30,7	35,8	Glinasta ilovica; GI
CB; 69 – 90	6,1	7,4	1,2	0,7	27	13	60	Peščeno glinasta ilovica; PGI

Preglednica 2: Volumska gostota, odstotek (%) proda, ter poljska kapaciteta (PK) in točka venenja (TV) za izbran talni profil iz Šempetra

Table 2: Soil bulk density, percent (%) of gravel and points of field capacity (PK) and permanent wilting point (TV) of selected soil profile from Šempeter

Horizont/globina	ρ_s gcm ⁻³	ρ_n^* gcm ⁻³	% proda v./v.	PK v./v.	TV v./v.
Ap; 0-29 cm	1.53	1.38	14,6	0,3824	0,1699
AB; 29 - 42 cm	1.61	1.348	26,3	0,3437	0,1745
Bv; 42 - 69 cm	1.67	1.2297	44,2	0,3681	0,1892
CB; 69 – 90	1.58	1.099	48,1	0,1868	0,1868

* normalizirana volumska gostota

Za ustrezno modeliranje je potrebno analitske podatke prilagoditi vrednostim za aktivni del tal. Volumen aktivnega dela tal (frakcija tal manjša od 2mm) predstavlja volumen tal brez proda, saj prod predstavlja inerten del, ki neposredno ne vpliva na sorpcijo oziroma druge procese v kemizmu tal. Za potrebe modeliranja smo uvedli izraz normalizirana volumska gostota tal, ki predstavlja volumsko gostoto aktivnega dela tal. Van Genuchtenove parametre tal smo določili na osnovi vodnoretencijske krivulje tal ter s pomočjo RETC programa, ki kvantificira hidravlične parametre tal Mualem Van Genuchtenove funkcije.

Pri primerjavi modeliranja FOCUS modelov PELMO in PEARL smo kot testne substance uporabili standardni testni nabor FOCUS FFS (FFS A, B, C in D), ki je sestavni del obeh modelov. Ta nabor FFS je zasnovan tako, da demonstrira različen obseg izpiranja. Testne substance imajo takšne lastnosti, da ponazarjajo različne možne scenarije usode FFS v tleh; od majhnega obsega izpiranja - FFS z oznako D do zelo velikega obsega izpiranja - FFS z oznako B.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

Primerjavo ocen obsega izpiranja FFS iz tal z obema FOCUS modeloma , PELMO IN PEARL, smo izvedli na podlagi podatkov talnega profila, ki ima takšne lastnosti, da ga lahko uvrstimo v kategorijo povprečnega reprezentativnega profila za območje spodnje Savinjske doline. Ker se v profilu v večji meri pojavlja prod, smo podatke prilagodili na način, da smo vrednosti (ρ_s , vodno retencijske podatke tal in vsebnost organske snovi) normalizirali na aktiven del tal. Zaradi občutnih razlik v uporabljenih funkcijskih zvezah za gibanje vode v tleh v obeh modelih smo želeli dobiti odgovor, kako uporabna sta oba modela za izdelavo ocene obsega izpiranja FFS iz tal pri takšnih parametrih tal. Ocena obsega izpiranja FFS iz tal je narejena skladno s standardnim postopkom pri ocenjevanju FFS v registracijskem postopku, to je količino oziroma koncentracijo FFS na globini 1 m tal. Številni avtorji [6, 7] so pri oceni FOCUS modelov ugotovili, da ima na končni rezultat obsega izpiranja FFS iz tal največji vpliv kemizem FFS (degradacija FFS, sorpcija, gibanje FFS v talni raztopini, itd.), medtem ko imajo hidravlične lastnosti tal manjši vpliv.

V preglednicah 3 in 4 so povzeti rezultati modeliranj izpiranja testnih FOCUS aktivnih snovi v srednje globoki obliki evtričnih rjavih tal. Pri modeliranju smo uporabili dve različni gojeni rastlini, ozimno pšenico in koruzo. Celoten postopek modeliranja je bil izveden s priporočili za postopek modeliranja na prvi ravni (Tier 1) evaluacije FFS v registracijskem postopku [1]. Med drugim to pomeni vsakoletno aplikacijo FFS v obdobju 26 let ter ugotavljanje osemdesetega percentila koncentracije izpranega FFS na globini 1 m tal za proučevano obdobje.

Rezultati modeliranj kažejo, da obstajajo razlike med modeloma, vendar so rezultati v primerljivih okvirjih oziroma v podobnih koncentracijskih območjih. Nekateri avtorji navajajo [8, 2, 9], da so pomembne razlike predvsem v koncentracijah, ko se izpere manj kot 1 % celotne dodane količine FFS. Pri nižjih koncentracijskih vrednostih naj bi model PEARL vedno napovedal višjo koncentracijo kot PELMO. V našem primeru lahko ugotovimo, da te trditve ne moremo zeti kot absolutno dejstvo. V primeru modeliranja izpiranja FFS z oznako D, je v primeru ozimne pšenice model PELMO napovedal večje koncentracije aktivne snovi kot model PEARL, medtem ko so bile koncentracijske napovedi v kombinaciji s koruzo skladne z napovedmi iz literature.

Preglednica 3: Primerjava koncentracij FFS ($\mu\text{g/L}$) na globini 1 m tal profila iz Šempetra pri pridelavi ozimne pšenice z modeloma PELMO in PEARL

Table 3: Comparison of predicted concentrations ($\mu\text{g/L}$) of FOCUS active substances at 1 m of soil depth in soil profile from Šempeter modeling with PELMO and PEARL on winter wheat

FFS/model	PEARL (dis. dolžina 2,5 cm)* $\mu\text{g/L}$	PEARL (dis. dolžina 5 cm)** $\mu\text{g/L}$	PELMO $\mu\text{g/L}$
FFS A	1,126	1,883	1,757
FFS B	11,631	17,352	13,668
FFS C***	14,144	14,72	15,269
FFS D	0,03	0,0965	0,124

- * dolžina disperzije v modelnih izračunih je 2,5 cm
- ** dolžina disperzije v modelnih izračunih je 5 cm
- *** rezultati se nanašajo na metabolit in ne na aktivno snov

Preglednica 4: Ocena in primerjava koncentracij FFS ($\mu\text{g/L}$) na globini 1m tal profila iz Šempetra pri pridelavi koruze z modeloma PELMO in PEARL.

Table 4: Comparison of predicted concentrations ($\mu\text{g/L}$) of FOCUS active substances at 1 m of soil depth in soil profile from Šempeter modeling with PELMO and PEARL on maize.

FFS/model	PEARL (dis. dolžina 2,5 cm)* $\mu\text{g/L}$	PEARL (dis. dolžina 5 cm)** $\mu\text{g/L}$	PELMO $\mu\text{g/L}$
FFS A	0,7736	1,3644	0,606
FFS B	0,9976	1,3802	1,567
FFS C***	14,2019	14,2113	15,151
FFS D	0,0130	0,0427	0,009

- * disperzijska dolžina v modelnih izračunih je 2,5 cm
- ** disperzijska dolžina v modelnih izračunih je 5 cm
- *** rezultati se nanašajo na metabolit in ne na aktivno snov

Naslednje odstopanje v ustaljenih vzorcih modelnih napovedi izpiranja FFS je vpliv disperzijske dolžine na koncentracijske vrednosti FFS. Boesten [4], je namreč prišel ob proučevanju vpliva disperzijske dolžine na modelne napovedi do zaključka, da se ob poenotenju disperzijske dolžine (2,5 cm) zmanjšajo razlike v rezultatih med modelnimi napovedmi koncentracij FFS na globini 1 m med modeloma PEARL in PELMO. To trditev je postavil na podlagi modeliranja, kjer je prav tako uporabil testna FOCUS FFS ter proučil modelne napovedi koncentracij vsakega izmed modelov pri vseh scenarijih. Iz rezultatov vpliva disperzijske dolžine na modelne napovedi izpiranja FFS v našem profilu tal in v naših klimatskih razmerah (preglednici 3 in 4) takšnih zaključkov ne moremo postaviti. Ob upoštevanju disperzijske dolžine 2,5 cm namreč modelne napovedi modela PEARL še vedno

podobno odstopajo od koncentracij, izračunanih z modelom PELMO in niso manj variabilne od koncentracij, kjer smo modelirali z disperzijsko dolžino 5 cm. Res pa je tudi, da so nekateri avtorji [2] prišli do zaključka, da disperzijska dolžina 2,5 cm ni primerna pri modeliranju izpiranja FFS v poljskih razmerah, je pa primerna za napoved izpiranja v kolonskih poskusih.

Razlog za odstopanja od vzorca rezultatov modeliranja, ki ga je dobil Boesten, gre najbrž pripisati večji humidnosti naše klime ter zmanjšani skupni sposobnosti profila tal za zadrževanje vode, ki je posledica večje vsebnosti voda. V takšnih razmerah imajo hidravlične lastnosti tal večji pomen, saj je pomik vode hitrejši. Zmanjšana disperzijska dolžina sicer zniža napovedne vrednosti koncentracij FFS na globini 1 m v primeru modela PEARL, vendar so tudi vrednosti dobljene z modelom PELMO odraz hitrejšega pomika vode v tleh. Zato je vzorec modeliranja s PELMO modelom nekoliko drugačen, kot je to v primerih z manjšim in bolj počasnim procesom izpiranja.

4 ZAKLJUČEK

Rezultati modeliranja izpiranja testnih FFS s FOCUS modeloma PELMO in PEARL so pokazali, da so napovedne koncentracije na globini 1 m tal primerljive oziroma v podobnih koncentracijskih območjih. Glede na izkušnje in preverjanja uporabnosti obeh modelov v drugih okoljih lahko zaključimo, da sta oba modela primerna za uporabo v razmerah Savinjske doline oziroma s prilagoditvijo talnih in klimatskih vhodnih parametrov tudi za ostale slovenske razmere.

Za razliko od nekaterih drugih avtorjev nismo opazili, da bi poenotenje disperzijske dolžine med modeloma prispevalo k bolj enotni napovedi koncentracij FFS v talni raztopini na globini 1 m tal.

Za potrebe kalibracije obeh modelov bo potrebno v prihodnosti opraviti lizimetske študije *in situ*, saj bodo le tako dobljeni rezultati lahko dopolnili končno sliko o primernosti obeh modelov za napovedovanje izpiranja posameznega FFS na prodnato peščenih nasutinah naših glavnih vodotokov, kjer se v Sloveniji odvija največji del intenzivne kmetijske pridelave.

5 LITERATURA

1. Directive 414/91/EEC.
2. http://www.pfmodels.org/downloads/EMW4_2.pdf (15. nov. 2007).
3. Knapič, M., Bukovec, P., Fate and behavior evaluation of pesticides in pesticide registration scheme with emphasis on groundwater.- Book of abstracts: 9th International Conference Life Sciences 2004, Nova Gorica, 18th–22th Sep., s. 226.
4. Boesten, J., Influence of dispersion length on leaching calculated with PEARL, PELMO and PRZM for FOCUS groundwater scenarios.- Pest Management Science, 60(2004)10, s. 971-980.

5. Jones, R.L., Boesten, J.J.T.I., Fisher, R., Gottesbüren, B., Hanze, K., Huber, A., Jarvis, T., Klein, M., Pokludova, M., Remy, B., Sweeney, P., Tiktak, A., Trevisan, M., Vanclooster, M., Vanderborght, J., Assessing potential impact to ground water in the EU and the member state registration procedures.- Proceedings Symposium Pesticide Chemistry, Piacenza September 2007, s. 881-888.
6. Bouraoui, F., Testing the PEARL model in the Netherlands and Sweden.- Environmental Modelling & Software, 22(2007)7, s. 937-950.
7. Vanderborght, J., Vereecken, H., One-Dimensional Modeling of Transport in Soils with Depth Dependent Dispersion, Sorption and Decay.- Vadose Zone Journal (2007)6, s. 140-148.
8. Dubus, I.G., Brown, C.D. & Beulke, S., Sensitivity analyses for four leaching models.- Pest Management Science, (2003)59, s. 962-982.
9. Opinion of the Scientific Panel on Plant Health, Plant Protection Products and their Residues on a request from EFSA on the FOCUS groundwater models comparability and the consistency of this risk assessment of ground water contamination (Question N° EFSA-Q-2004-58).- The EFSA Journal, (2004)93, s. 1-20.