

Metode za određivanje adsorpcionih karakteristika pesticida i ispitivanje njihove mobilnosti u zemljištu

Rada Đurović

*Institut za pesticide i zaštitu životne sredine, Banatska 31b, 11080 Beograd, Srbija
(Rada.Djurovic@pestring.org.rs)*

Primljen: 3. marta 2011.

Prihvaćen: 24. maja 2011.

REZIME

Sudbina pesticida u zemljištu zavisi od mnoštva faktora, kao i od zastupljenosti i intenziteta procesa, kao što su adsorpcija, degradacija, isparavanje, ispiranje, spiranje, itd. S obzirom da adsorpcioni procesi regulišu koncentraciju slobodne frakcije molekula pesticida, istraživanja u ovoj oblasti su pre svega usmerena na proučavanje ovog procesa, tačnije na određivanje adsorpcionih konstanti i adsorpciono/desorpcionih izoterma koji omogućavaju utvrđivanje karakteristika zemljišta najodgovornijih za zadržavanje ispitivanih pesticida u zemljištu. S obzirom da je od transportnih procesa ispiranje po profilu zemljišta najzastupljenije, i da je njegov intenzitet indirektno određen intenzitetom adsorpcionih procesa, određivanje adsorpcionih konstanti pesticida omogućava i utvrđivanje potencijala ka ispiranju ovih jedinjenja po profilu zemljišta.

U ovom radu su predstavljene metode za određivanje adsorpcionih karakteristika pesticida i ispitivanje njihove mobilnosti u zemljištu, pre svega ispiranja po profilu zemljišta. Poseban akcenat je stavljen na „batch“ metodu, koja je danas najviše zastupljena, i koja je između ostalog i predložena od strane Organizacije za ekonomsku saradnju i razvoj (OECD).

Ključne reči: Pesticidi; zemljište; adsorpcija; degradacija; migracija

UVOD

Usled intenzivne primene, pesticidi se danas neretko detektuju u životnoj sredini, a zbog načina primene, najviše u zemljištu (Đurović i Đorđević, 2010a, 2010b; Marković i sar., 2010). Bez obzira na koji način dospeju u zemljište, dalja sudbina pesticida će zavisiti od mnoštva faktora, kao što su fizičko-hemijske karakteristike kako samog jedinjenja tako i zemljišta, načina i količine

primene, oblika formulacije, stanja terena (nagib, flora i fauna), količine i frekvencije padavina i navodnjavanja, vazdušnog strujanja, temperature, itd. Sudbina pesticida u zemljištu zavisiće i od intenziteta procesa, kao što su isparavanje, adsorpcija, ispiranje, hemijska, fotohemijska, mikrobiološka degradacija, itd. Od pomenutih, adsorpciono/desorpcioni procesi su ključni procesi koji regulišu koncentraciju pesticida u zemljišnom rastvoru, pa samim tim utiču i na mobilnost, degradaciju (pre

svega mikrobiološku) i usvajanje pesticida biljkama, tj. ciljanim organizmima, pošto se pomenuti procesi odnose samo na slobodnu (nadsorbovanu) frakciju molekula. Uzimajući u obzir složenost interakcija pesticida i zemljišta, i činjenicu da će intenziteti interakcija istog jedinjenja sa različitim zemljištima biti različiti (Đurović i sar., 2009, 2010; Đurović, 2010), sve su više zastupljena istraživanja koja za cilj imaju, pre svega, ispitivanja uticaja, tj. učešća najvažnijih zemljišnih parametara u pomenutim interakcijama. Ispitivanja ovog tipa su uglavnom usmerena na određivanje adsorpcionih konstanti i adsorpciono/desorpcionih izoterma, koje upravo i omogućavaju utvrđivanje fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta najodgovornijih za retenciju ispitivanih pesticida u zemljištu, odnosno za njihovo ispiranje po profilu zemljišta.

Uzimajući u obzir značaj ovih pitanja, ovaj rad sumira metodologiju koja se danas najviše koristi za određivanje adsorpcionih karakteristika pesticida i ispitivanje njihove mobilnosti u zemljištu.

Određivanje adsorpcionih karakteristika pesticida, tj. ispitivanje njihove mobilnosti i degradabilnosti u zemljištu, obično počinje laboratorijskim ispitivanjima, nakon čega se prelazi na ogledu u polju. Pošto su zemljišni procesi i faktori koji na njih utiču, kao i njihove međusobne interakcije izuzetno složeni, eksperimentalno određivanje je zbog velikog broja promenljivih izuzetno otežano, zbog čega se matematičko modeliranje često pokazuje kao jako korisno za simuliranje pomenutih procesa u definisanim uslovima. Generalno, istraživanja koja se sprovode u izučavanjima ove problematike se mogu podeliti na: *eksperimentalna*, gde je težište na prikupljanju i usitnjenju obradi podataka, i *teorijska*, gde je težište na globalnom pristupu (matematičko modeliranje). Eksperimentalna ispitivanja obuhvataju ispitivanja u *kontrolisanim uslovima* (laboratorije i staklenici) i *nekontrolisanim*, prirodnim uslovima (poljski ogledi i ispitivanja sa lizimetrima).

LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

Ispitivanja u laboratoriji se izvode u kontrolisanim uslovima, zbog čega su pogodna za određivanje razlika u pokretljivosti i adsorpcionim karakteristikama različitih aktivnih materija u funkciji fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta. Pored kvantitativnih pokazatelja adsorptivnosti i pokretljivosti (adsorpciona konstanta – K_d , vreme poluraspada – DT_{50} , itd.), ova ispitivanja daju i mogućnost procene opasnosti od zagađenja životne sredine.

Ispitivanja u laboratoriji obuhvataju različite tehnike, kao što su: hromatografija na koloni sa zemljištem, hromatografija na tankom sloju zemljišta i tzv. batch ravnotežni metod.

Hromatografija na koloni sa zemljištem (zemljišne kolone)

Proučavanja transporta pesticida u zemljišnoj koloni upotrebom protočne vode je znatno složenije u odnosu na „batch“ eksperimente, o kojima će kasnije biti diskutovano, ali obezbeđuje detaljnije informacije vezane za mobilnost pesticida, i bliže je realnim, poljskim uslovima (Wauchope i sar., 2002). Postoji nekoliko različitih tehnika rada sa zemljišnim kolonama, pri čemu su promenljivi sledeći parametri: dimenzije i materijal od koga su napravljene kolone, priprema, tj. način pakovanja kolone zemljištem, način nanošenja pesticida, količina i smer propuštanja, tj. kretanja vode kroz kolonu, protok vode, frekvencija dodavanja vode i dužina trajanja eksperimenta (Weber i Whitacre, 1982; Lee i sar., 1988; Brusseau i sar., 1989; Nkedi-Kizza i sar., 1989; Ma i Selim, 1997; Gupta i Gajbhiye, 2002; Regitano i sar., 2002; Celis i sar., 2005; Cryer, 2005; Cox i sar., 2007). Kao metode identifikacije i kvantifikacije ispitivanog pesticida u eluentu i zemljištu, najčešće se koriste hromatografske tehnike, a pored njih i metode bazirane na merenju radioaktivnosti (upotreba najčešće ^{14}C obeleženog jedinjenja) (Regitano i sar., 2002; Cryer, 2005; Saffih-Hdadi i sar., 2006) i primena biotestova (Günther i sar., 1993; Nennemann i sar., 2001; Vasilakoglou i sar., 2001; El-Nahhal, 2003).

Još 1977. godine, Weber i Peeper (1997) su podelili kolone na „prirodne“ i „ručno pakovane“, i opisali postupke za njihovu pripremu. „Prirodne kolone“, tj. kolone koje se sastoje od neporemećenog uzorka zemljišta poreklom sa određene dubine (profila) zemljišta, relativno se malo koriste u istraživanjima, i to najverovatnije zbog toga što je priprema takvih kolona tehnički teško izvodljiva (Schiavon, 1988; Sauer i sar., 1990; Wauchope i sar., 2002).

Lizimetri se takođe mogu svrstati u „prirodne“ kolone, koje pri tome mnogo verodostojnije simuliraju prirodne uslove u polju, jer se mogu ostaviti na otvorenom prostoru (Starr i Glotfelty, 1990). Međutim, upotreba lizimetara u proučavanju transporta pesticida u zemljištu je prilično retka, verovatno zbog ekonomskog faktora.

Veliki broj različitih pristupa rada sa zemljišnim kolonama ukazuje i na probleme koji su posebno izraženi sa stanovišta standardizacije postupka i dobijanja

reproduktivnih rezultata (Chesters i sar., 1989; Gupta i Gajbhiye, 2002a). Jedan od glavnih nedostataka je i nepostojanje jedinstvenog načina za izražavanje pokretljivosti (prati se i preko maksimuma koncentracije u eluatu ili zemljištu, i na osnovu fronta eluiranog jedinjenja). Ovakav način izražavanja rezultata otežava, a često i onemogućava poređenje publikovanih podataka. Treba istaći da se u kolonama obično prati pokretljivost jednog jedinjenja po koloni, pri čemu se uglavnom radi sa analitičkim standardom pesticida. U novije vreme, mogu se naći i publikacije vezane za primenu formulacija (Helling i Turner, 1968; Cryer, 2005). Tako je npr. Cryer (2005) konstatovao značajne razlike u sorpciji, odnosno mobilnosti hlorporifosa kada se on u zemljište unese u vidu vodenog rastvora analitičkog standarda ili EC formulacije. Na osnovu dobijenih rezultata, zaključio je da sorpcija pesticida za zemljište opada (ispiranje raste) kako stabilnost formulacije raste. U ovom slučaju, emulzija verovatno formira stabilan zaštitni sloj oko molekula aktivne materije, što sa jedne strane delimično inhibira sorpciju molekula pesticida, a sa druge dovodi do kompeticije između komponenti formulacije i molekula aktivne materije za sorpciona mesta zemljišta. Imajući u vidu činjenicu da je aktivna materija znatno stabilizovana u formulacijama, ekstrapolacija kinetičkih podataka dobijenih za čistu aktivnu materiju na ponašanje formulacije može dovesti do velikih odstupanja u predviđanju ponašanja i sudbine pesticida u životnoj sredini.

Hromatografija na tankom sloju zemljišta (TLC)

Primena ove tehnike je vezana pre svega za Helling-a i Turner-a (1968), koji su je prvi primenili za praćenje pokretljivosti pesticida.

Prednosti TLC tehnike u odnosu na rad sa kolonama su što ona daje reproduktivnije rezultate i što je mnogo jednostavnija za rad. Sa druge strane, ova tehnika daje manje pouzdane rezultate u odnosu na „batch“ metodu, zbog čega se danas slabo i koristi (Helling i sar., 1971). Ipak, u literaturi se mogu sresti i dobra slaganja rezultata dobijenih primenom pomenute dve metode (Wenzel i Dedek, 1975; Kruger i sar., 1996). Međutim, treba imati u vidu da je broj parametara koji se pomoću TLC mogu odrediti znatno manji u odnosu na ispitivanja sa zemljišnim kolonama i „batch“ tehnikom. Tačnije, može se pratiti samo relativna distribucija više jedinjenja na istom zemljištu, tj. mogu se porediti pokretljivosti jednog jedinjenja na različitim zemljištima (Majka i Lavy, 1977; Felsot i Wilson, 1980; Jamet i Thoisy-Dur, 1988; Goetz i sar., 1989).

„Batch“ ravnotežni metod

„Batch“ pristup je danas najčešće korišćen metod za praćenje sorpcije, koji je između ostalog i predložen od strane Organizacije za ekonomsku saradnju i razvoj (OECD) (2010).

Prednosti ove tehnike u odnosu na ispitivanja sa zemljišnim kolonama su brojne (npr. zemljište i rastvor se lako razdvajaju, velika zapremina rastvora je dostupna analizi, metod se može rutinski koristiti u laboratoriji, itd.). Glavni nedostatak ove metode je što se na osnovu rezultata dobijenih njenom primenom ne može u potpunosti objasniti uticaj različitih faktora na sorpciju. Sa druge strane, niz eksperimentalnih promenljivih nije standardizovan (odnos zemljište/rastvor, temperatura, tip posuda, tehnika i brzina mešanja), što predstavlja problem u poređenju rezultata različitih studija.

Kako sorpcija predstavlja distribuciju analita između dve faze, koje se u ovom slučaju mogu lako razdvojiti, distribicioni koeficijent K_d ne bi trebalo da zavisi od koncentracije sorbata koja je na početku eksperimenta uneta u sistem. Međutim, ovo se u praksi najčešće ne dešava. Detaljno objašnjenje ovog fenomena i prikaz publikacija koje se bave ovom problematikom, dao je Delle Site (2001) u svom revijalnom radu. Sa druge strane, često se zapaža i porast sorpcije sa povećanjem odnosa zemljište/rastvor. Glavni uzrok ovakvih rezultata je verovatno povećanje dostupnosti zemljišnih centara za sorpciju (Álvarez-Benedí i sar., 1998; Walker i Jurado-Exposito, 1998). Dodatno, eksperimentalni uslovi u „batch“ analizi najčešće ne odlikavaju realnu situaciju u prirodi. Npr., metod koristi prosejano i na vazduhu osušeno zemljište, a zna se da zemljište u prirodi sadrži agregate čestica različite veličine, koji mogu uticati na transport pesticida po profilu zemljišta. Ova tehnika uključuje i mešanje zemljišta i vodene faze radi sigurnosti u dostizanju sorpcione ravnoteže. Jasno, u prirodi, interakcija pesticida i zemljišta je sasvim drugačija, a i odnos zemljište/zemljišni rastvor je znatno veći (García-Valcarcel i Tadeo, 1999; Delle Site, 2001).

Princip „batch“ analize je prilično jednostavan. Eksperimenti se zasnivaju na mešanju određenih količina zemljišta i vodene faze (u praksi se umesto vode obično koristi 0,01 M rastvor CaCl_2 , koji kao noseći elektrolit omogućava lakše razdvajanje faza, tj. olakšava flokulaciju zemljišta sa jedne strane, dok sa druge strane održava jonsku jačinu zemljišnog rastvora konstantnom, tj. približno jednakom prirodnom zemljišnom rastvoru), koja je pre dodavanja zemljištu obogaćena određenom količinom ispitivanog pesticida. Ravnotežno vreme, tj. minimalno vreme mešanja ovako formirane zemljišne

suspencije koje je potrebno da se uspostavi ravnotežna raspodela datog pesticida u sistemu zemljište/voda se određuje preliminarnim, kinetičkim eksperimentom. U većini slučajeva, preliminarna ispitivanja ukazuju da je 24 h dovoljno dugo vreme za uspostavljanje ravnoteže u sistemu. Neki istraživači se pak odlučuju da iz praktičnih razloga i mogućnosti lakšeg poređenja rezultata, rade sa ravnotežnim vremenom od 24 h, iako kinetičkim ispitivanjima dobijaju znatno kraća ravnotežna vremena (Morrica i sar., 2000; Dorado i sar., 2005; Đurović, 2010). Sa druge strane, postoji i ne mali broj istraživanja u kojima se koriste znatno kraća ravnotežna vremena, kao što su npr. 16 h za azimsulfuron, izoproturon, bentazon, atrazin, 2,4-D i trifluralin (Boivin i sar., 2005; Dorado i sar., 2005), 8 h za sulkotripon i sulfosulfuron (Chaabane i sar., 2005; Thulasiramara Maheswari i Ramesh, 2007), ili 4 h za heksanazol, triadimefon, penkonazol, izoksafutol, triadimefon, fenamifos, fenarimol, azinfos-metil, prometrin i atrazin (Beltran i sar., 2002; Singh, 2002, 2005; Oliver i sar., 2005). Određivanje ravnotežnih koncentracija pesticida u čvrstoj (zemljište) i tečnoj (voda) fazi (c_s i c_e , respektivno), najčešće se izvodi merenjem koncentracije analita u vodenoj fazi nakon dostizanja particione ravnoteže. Količina pesticida koja pri tome ostaje u čvrstoj fazi (adsorbovana frakcija) se računa iz razlike količine dodate u sistem zemljište/voda i količine detektovane u vodenoj fazi (jednačina 1).

$$c_s = \frac{m_0 - c_e \cdot V}{m_{zem}} \quad (1)$$

gde su: m_0 – količina aktivne materije dodate u sistem zemljište/voda na početku eksperimenta (μg); m_{zem} – masa zemljišta (g); V – zapremina vodene faze (mL)

Ovako izračunata koncentracija pesticida u čvrstoj fazi ujedno predstavlja i početnu koncentraciju za desorpcione eksperimente. Ovi eksperimenti se obično izvode tako što se nakon završenog adsorpcionog eksperimenta, tj. nakon centrifugiranja zemljišne suspenzije, izdvojena vodena faza zameni svežom količinom vode, koja ne sadrži ispitivani analit. Nakon uravnotežavanja ovako formirane zemljišne suspenzije, analizom vodene faze se određuje desorbovana koncentracija pesticida (c'_e), a količina zaostala u čvrstoj fazi se računa iz razlike količine prisutne u sistemu pre početka desorpcionog stupnja ($c_s \cdot m_{zem}$) i količine detektovane u vodenoj fazi nakon završenog desorpcionog koraka (jednačina 2).

$$c'_e = \frac{c_s \cdot m_{zem} - c'_e \cdot V}{m_{zem}} \quad (2)$$

Uobičajeno je da se desorpcioni korak ponovi još par puta. Na sličan način, nakon svakog desorpcionog stupnja, količina zaostala u zemljištu predstavlja početnu koncentraciju za naredni desorpcioni ciklus.

Za dobijanje adsorpcionih izoterma, obično se prati ravnotežna distribucija date aktivne materije primenjene u najmanje pet različitih koncentracija na proučavani sistem zemljište/voda, dok se desorpcioni eksperimenti obično izvode za dve primenjene koncentracije i za po četiri sukcesivna desorpciona koraka.

Kao što je već u par navrata napomenuto, ravnotežu u proučavanom sistemu treba uzeti uslovno, tj. treba imati u vidu da zbog heterogenosti sorpcionih centara i spore difuzije ka centrima u unutrašnjosti zemljišnog matriksa, neravnotežni uslovi mogu biti prisutni u sistemu (Brusseau i sar., 1991; Selim, 2004).

Na osnovu svega izloženog, može se konstatovati da se u novije vreme zemljišne kolone (i hromatografija na tankom sloju zemljišta) više koriste za kvalitativni opis pokretljivosti pesticida, a „batch“ eksperimenti za kvantitativnu ocenu sorpcije pesticida za zemljište. Pri tome treba imati u vidu da su sorpcija i mobilnost pesticida inverzni procesi, tj. da veća sorpcija odgovara manjoj pokretljivosti i obratno.

POLJSKI OGLEDI

Poljski ogledi se uopšteno izvode tako što se data aktivna materija u obliku neke svoje formulacije unese u zemljište, bilo direktno (zemljišni pesticidi) ili indirektno (tretman biljne kulture), nakon čega se obično prati distribucija ovog jedinjenja po profilu zemljišta, u funkciji vremena. Treba imati u vidu da se u prirodnim uslovima, mogu kontrolisati samo tip ispitivanog zemljišta, način, vreme i količina primene datog pesticida, prostorna i vremenska frekvencija uzorkovanja, i količine i frekvencije unošenja vode (pod uslovom, da se u obzir uzmu i količine padavina).

Pokretljivost i/ili degradacija* se određuju na osnovu sadržaja ispitivane aktivne materije u zemljištu, u funkciji dubine, i/ili u zemljišnom rastvoru. Rezultati se izražavaju ili preko eksperimentalno određenih koncentracija ili u odnosu na neku unapred zadatu veličinu, što su najčešće ili teoretska količina primene ili eksperimentalno određeni depozit – $c(t=0)$. Najveći broj ispitivanja u ovoj oblasti se bavi distribucijom analita

* Treba imati u vidu da se može pratiti samo ukupno iščezavanje date supstance, koje nastaje kao rezultat degradacije, isparavanja, ispiranja, spiranja i usvajanja drugim organizmima

u površinskom sloju zemljišta (0-10 ili 0-20 cm), u kome se po pravilu i zadržava najveći deo primenjene količine pesticida (Storc, 1998; Carter, 2000; López-Perez i sar., 2006). Ovaj sloj je i sa stanovišta poljoprivrede najinteresantniji, jer je reč o plodonosnom sloju, a on je važan i za ispoljavanje biološke efikasnosti primenjenog pesticida. U ogleđima ovog tipa, obično se prati distribucija aktivne materije u funkciji vremena u slojevima profila zemljišta debljine od 1 do 5 cm. Sa druge strane, sa stanovišta zaštite životne sredine, tj. zaštite podzemnih voda, interesantnija su ispitivanja koja se baziraju na praćenju mobilnosti pesticida kroz veći deo zemljišnog profila (Cogger i sar., 1998, 1998a; Ma i sar., 2004; Hancock i sar., 2008). U ovom slučaju, prati se vremenska distribucija pesticida u slojevima zemljišnog profila veće debljine (najčešće od 10 do 20 cm). Kako je u funkciji dubine, heterogenost zemljišnih osobina manje izražena u površinskom sloju, i kako su saznanja o važnim zemljišnim procesima (adsorpcija, degradacija, itd.) u površinskom sloju mnogo veća, pouzdanost dobijenih rezultata i mogućnost preciznijeg predviđanja su znatno bolja upravo za ovaj sloj zemljišta.

Mnogi istraživači smatraju da postojanost (perzistentnost), koja predstavlja sposobnost zemljišta da zadržava pesticid (obično se izražava preko vremena poluraspada – DT_{50}), predstavlja ključni parametar u istraživanjima sa zemljištem, i da je to parametar koji omogućava predviđanje sudbine pesticida u životnoj sredini. Pri tome treba imati u vidu da je u poljskim uslovima zemljište otvoren sistem, gde postoji mnogo promenljivih koje se ne mogu kontrolisati, a koje utiču na postojanost, pre svega na degradaciju i mobilnost pesticida (Fournier i sar., 1975; Kulshrestha, 1983). Zbog toga je za svaki tip zemljišta i svaku aktivnu materiju potrebno odrediti K_d i DT_{50} . Sorpcione karakteristike se obično određuju u laboratoriji, mešanjem vodeno rastvora aktivne materije i na vazduhu osušenog i prosejanog zemljišta (detaljno izloženo u poglavlju Laboratorijska ispitivanja). Na osnovu sorpcije, procenjuje se i sklonost ka ispiranju (pesticidi sa većim sorpcionim koeficijentom (K_d ili K_{OC}) snažnije su vezani za zemljišne čestice te imaju manju sklonost ka ispiranju). DT_{50} se određuje i u laboratoriji (pri određenoj vlažnosti i temperaturi zemljišta) (Sing i Kulshrestha, 2006) i u poljskim uslovima (Perrin-Ganier i sar., 1996; Cogger i sar., 1998, 1998a; Konda i Pásztor, 2001; Sing i Kulshrestha, 2006; Thulasiramaraja Maheswari i Ramesh, 2006).

Izvesne razlike koje se najčešće dobijaju između rezultata u laboratorijskim i poljskim eksperimentima su objašnjene u sledećem poglavlju, pošto teorijski

modeli imaju za cilj predviđanje ponašanja pesticida u poljskim uslovima, pri čemu kao ulazne parametre koriste i neke veličine koje se određuju u laboratorijskim eksperimentima.

TEORIJSKI MODELI

Teorijski modeli se koriste za predviđanje efekata različitih fizičko-hemijskih procesa koji se odvijaju u zemljištu, tj. za predviđanje koncentracija pesticida u zemljištu, površinskim i podzemnim vodama. Većina modela koji se danas koriste je determinističke prirode**. Procesi koji se uključuju u modele se opisuju fizičko-hemijskim zakonima, koji se zatim povezuju u zajedničku celinu koja opisuje transport i povećanje koncentracije ili gubljenje date supstance u vremenu i prostoru. Treba imati u vidu da se, zbog složene prirode zemljišnog matriksa i procesa u kojima učestvuje pesticid kada se nađe u njemu, pri postavljanju modela najčešće koriste različite aproksimacije. Ovakav pristup isključuje slučajni faktor i mnoge faktore i procese koji su od perifernog značaja (npr. rast biljaka).

Prvi teorijski modeli kojima je tumačeno kretanje vode i u njoj rastvorenih supstanci kroz zemljište, bili su kvalitativne prirode. Zasnivali su se ili na empirijskom iskustvu ili na hromatografskim teorijama (Helling, 1970). Modeli koji su razvijani do kraja 70-ih godina XX veka su zemljište tretirali kao homogeni medijum sa stacionarnim, saturisanim protokom vode. Pošto je uglavnom razmatran samo uticaj fizičkih faktora na proces transporta, uticaj degradacije i drugih retencionih procesa nije bio obuhvaćen ovim modelima (Helling, 1970). Zahvaljujući kasnijim saznanjima, tj. boljem razumevanju procesa koji se odvijaju u zemljištu, od sredine 80-ih godina XX veka se pojavio veliki broj različitih modela za opisivanje retencije pesticida u zemljištu i kretanja vode i u njoj rastvorenih jedinjenja kroz zemljište. Neki od najkorišćenijih među njima su: LEACH (Laskowski i sar., 1983), PRZM (Carsel i sar., 1984, 1998), GLEAMS (Leonard i sar., 1987), PESTLA (Van der Berg i Boesten, 1998), PESTRAS (Tiktak i sar., 1994), PELMO (Jene, 1998), MACRO (Larsbo i Jarvis, 2003) i LEACHM (Dust i sar., 2000).

Ukoliko se ima u vidu da teorijski modeli kao ulazne parametre koriste fizičko-hemijske karakteristike

** Postoje i stohastički modeli (znatno su kompleksniji od determinističkih), koji u obzir uzimaju i slučajnu komponentu koja utiče na procese koji se proučavaju. Među teorijskim modelima za pesticide, danas ne postoji čisto stohastički model.

pesticida (rastvorljivost u vodi, molekulska masa, itd.), laboratorijski određene parametre (K_d , DT_{50} , itd.) i varijable iz polja (temperatura i vlažnost zemljišta, količina unete vode, itd.), mogući uzroci neslaganja izmerenih i simuliranih podataka se mogu grupisati u nekoliko celina.

1) Osim degradacije, gubici pesticida u polju se ostvaruju i drugim mehanizmima – brojna istraživanja ukazuju da se neposredno nakon unošenja pesticida u zemljište, njegovom analizom detektuje znatno manje pesticida od očekivane vrednosti, iako perzistencioni modeli ne ukazuju na ovaj fenomen. Ukoliko se ima u vidu da modeli osim degradacije ne uzimaju u obzir druge procese koji dovode do iščezavanja pesticida u zemljištu (fotoliza, isparavanje, usvajanje biljkama, ispiranje ispod površine sa koje se vrši uzorkovanje zemljišta koje se podvrgava analizi), razloge za odstupanja između simuliranih i izmerenih vrednosti upravo treba tražiti u učešću ovih „drugih“ procesa.

2) Laboratorijski uslovi se razlikuju od uslova u polju – jedna od osnovnih pretpostavki modela je da se DT_{50} određeno u laboratorijskim uslovima može primeniti i na poljske uslove. Međutim, ova hipoteza se često pokazuje kao netačna (Kulshrestha, 1983; Beulke i sar., 2000; Dinelli i sar., 2000). Ukoliko se uzme u obzir da se merenja u laboratorijama izvode u kontrolisanim uslovima (zadata temperatura i vlažnost zemljišta), a da je zemljište u prirodnim uslovima izloženo promenljivim varijablama (fluktuacije temperature i vlažnosti, vetar, itd.), razumljive su pomenute razlike rezultata. Dodatno, u laboratoriji se zemljište podvrgava različitim preparativnim procedurama pre započinjanja eksperimenta (sušenje, prosejavanje, podešavanje vlažnosti), što može znatno uticati na biološke i fizičko-hemijske procese, te se oni mogu i znatno razlikovati od onih koji se odigravaju u polju.

3) Degradacija se ne mora uvek odvijati po kinetici reakcije I reda – modeli isključivo počivaju na degradacionoj kinetici reakcije I reda. Međutim, često se pokazuje da ova pretpostavka nije tačna. Tako su npr. Beulke i saradnici (2000) na osnovu 178 poređenja između izmerenih i simuliranih DT_{50} vrednosti, ukazali da se u velikom broju slučajeva ove veličine razlikuju, i da često degradacija pesticida u laboratorijskim uslovima zavisi od početne koncentracije pesticida, te da linearni degradacioni model nije adekvatan. Odstupanje degradacije pesticida od degradacije po kinetici reakcije I reda, može biti razlog razlika između izmerenih i simuliranih podataka.

4) Temperature u poljskim uslovima se razlikuju od onih koje se koriste u laboratorijskim eksperimentima – u poljskim uslovima, fluktuacije temperature su jako izražene, tako da merenja DT_{50} ukazuju na variranje ove veličine tokom godišnjih doba (Heiermann, 1998). Sa druge strane, laboratorijski inkubacioni eksperimenti isključivo ispituju perzistentnost pesticida na konstantnoj temperaturi (najčešće su uključene temperature od 10 do 30°C). Pokazalo se da se u velikom broju slučajeva, podacima dobijenim za veće temperature mogu aproksimirati prolećne i jesenje vrednosti u polju, dok se u slučaju nižih temperatura ove vrednosti dosta razlikuju (Heiermann, 1998).

5) Temperatura i vlažnost zemljišta se mogu razlikovati od vrednosti koje koriste modeli – ova činjenica takođe može značajno uticati na razlike laboratorijski određenih DT_{50} i DT_{50} dobijenih na osnovu ogleđa u polju.

6) Nedostatak specifičnih degradacionih parametara koji su neophodni za modele – modeli za opisivanje ponašanja pesticida u zemljištu, pored DT_{50} koriste i specifične parametre, koji opisuju zavisnost DT_{50} od temperature i vlažnosti zemljišta.

7) Za datu aktivnu materiju i tip zemljišta, DT_{50} vrednosti se mogu razlikovati – uzorci zemljišta uzeti istovremeno sa različitim prostornih koordinata istog polja, ili uzorkovani sa istog mesta u različitim vremenima, u laboratorijskim inkubacionim eksperimentima nekada daju različite DT_{50} vrednosti (Beck i sar., 1996; Vischetti i sar., 1997). Kako modeli DT_{50} vrednosti koriste kao ulazni parametar, ovaj fenomen takođe može predstavljati problem.

Uzimajući u vidu kompleksnost, ali i značaj poznavanja adsorpcionih i transportnih karakteristika pesticida, razumljivo je zašto je velika pažnja usmerena upravo na istraživanja tog tipa. Poznavanje pomenutih karakteristika pesticida predstavlja veliki značaj u oblasti zaštite životne sredine, kao i mogućnost daljeg delovanja u smeru smanjenja dodatnih kontaminacija, kao i rešavanja problema postojećih ostataka pesticida u zemljištu.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je realizovan kao deo projekta 31043 – Proučavanje biljnih patogena, artropoda, korova i pesticida u cilju razvoja metoda bioracionalne zaštite bilja i proizvodnje bezbedne hrane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije.

LITERATURA

- Álvarez-Benedí, J., Cartón, A. and Fernández, J.C.:** Sorption of Tribenuron-methyl, Chlorsulfuron, and Imazamethabenz-methyl by Soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 2840-2844, 1998.
- Beck, A.J., Harris, G.L., Howse, K.R., Johnston, A.E. and Jones, K.C.:** Spatial and temporal variation of isoproturon residues and associated sorption/desorption parameters at the field scale. *Chemosphere*, 33: 1283-1295, 1996.
- Beltran, E., Fenet, H., Cooper, J.F. and Coste, C.M.:** Influence of the physical and chemical properties of soil on the retention process of isoxaflutole and its two main derivatives. *Weed Research*, 42: 385-393, 2002.
- Beulke, S., Dubus, I.G., Brown, C.D. and Gottesbüren, B.:** Simulation of pesticide persistence in the field on the basis of laboratory data – a review. *Journal of Environmental Quality*, 29: 1371-1379, 2000.
- Boivin, A., Cherrier, R. and Schiavon, M.:** A comparison of five pesticides adsorption and desorption processes in thirteen contrasting field soils. *Chemosphere*, 61: 668-676, 2005.
- Brusseau, M.L., Rao, P.S.C., Jessup, R.E. and Davidson, J.M.:** Flow interruption: a method for investigating sorption nonequilibrium. *Journal of Contaminant Hydrology*, 4: 223-240, 1989.
- Brusseau, M.L., Jessup, R.E. and Rao, P.S.:** Nonequilibrium sorption of organic chemicals: elucidation of rate-limiting processes. *Environmental Science and Technology*, 25: 134-142, 1991.
- Carsel, R.F., Imhoff, J.C., Hummel, P.R., Cheplick, J.M. and Donigian, A.S.:** PRZM-3, A model for predicting pesticide and nitrogen fate in the crop root and unsaturated soil zones: User's manual for release 3.0, Athens, GA., US EPA, 1998.
- Carsel, R.F., Smith, C.N., Mulkey, L.A., Dean, J.D. and Jowise, P.:** User's manual for the pesticide root zone model (PRZM), Release I, EPA-600/3-84-109, Athens, GA., US EPA 1984.
- Carter, A.D.:** Herbicide movement in soils: principles, pathways and processes. *Weed Research*, 40: 113-122, 2000.
- Celis, R., Real, M., Hermosin, M.C. and Cornejo, J.:** Sorption and leaching behaviour of polar aromatic acids in agricultural soils by batch and column leaching tests. *European Journal of Soil Science*, 56: 287-297, 2005.
- Chaabane, H., Cooper, J.F., Azouzi, L. and Coste, C.M.:** Influence of soil properties on the adsorption-desorption of sulcotriene and its hydrolysis metabolites on various soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 4091-4095, 2005.
- Chesters, G., Simsman, G.V., Levy, I., Albajjar, B.J., Fathulla, R.N. and Harkin, I.M.:** Environmental fate of alachlor and metolachlor. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 110: 1-74, 1989.
- Cogger, C.G., Bristow, P.R., Stark, J.D., Getzin, L.W. and Montgomery, M.:** Transport and persistence of pesticides in alluvial soils: I. Simazine. *Journal of Environmental Quality*, 27: 543-550, 1998.
- Cogger, C.G., Stark, J.D., Bristow, P.R., Getzin, L.W. and Montgomery, M.:** Transport and Persistence of Pesticides in Alluvial Soils: II. Carbofuran. *Journal of Environmental Quality*, 27: 551-556, 1998a.
- Cox, L., Velarde, P., Cabrera, A., Hermosin, M.C. and Cornejo, J.:** Dissolved organic carbon interactions with sorption and leaching of diuron in organic-amended soils. *European Journal of Soil Science*, 58: 714-721, 2007.
- Cryer, S.A.:** Determining Kinetic and Nonequilibrium Sorption Behavior for Chlopyrifos Using a Hybrid Batch/Column Experiment. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 53: 4103-4109, 2005.
- Delle Site, A.:** Factors Affecting Sorption of Organic Compounds in Natural Sorbent/Water Systems and Sorption Coefficients for Selected Pollutants. A Review. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 30: 187-440, 2001.
- Dinelli, G., Accinelli, C., Vicari, A. and Catizone, P.:** Comparison of the persistence of atrazine and metolachlor under field and laboratory conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48: 3037-3043, 2000.
- Dorado, J., López-Fando, C., Zancada, M.C. and Almendros, G.:** Sorption-desorption of alachlor and linuron in a semiarid soil as influenced by organic matter properties after 16 years of periodic inputs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 5359-5365, 2005.
- Đurović, R., Gajić Umiljendić, J. and Đorđević, T.:** Effects of Organic Matter and Clay Content in Soil on Pesticide Adsorption Processes. *Pesticides and Phytomedicine*, 24(1): 51-57, 2009.
- Đurović, R.:** Razvoj i primena metoda mikroekstrakcije u čvrstoj fazi za određivanje pesticida u različitim tipovima zemljišta. Doktorska disertacija, Fakultet za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu, 2010, str. 1-103.
- Đurović, R., Gajić Umiljendić, J., Cupać, S. and Ignjatović, Lj.:** Solid phase microextraction as an efficient method for characterization of the interaction of pesticides with different soil types. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 21: 985-994, 2010.
- Đurović, R. and Đorđević, T.:** Assessment of pesticide levels in plant products from agricultural area of Belgrade, Serbia. *Book of Abstracts 11th European Meeting on Environmental Chemistry (EMEC 11)*, Portorož, Slovenia, 2010a, p. 91.

- Durović, R. and Dorđević, T.:** Assessment of pesticide levels in soil from agricultural area of Belgrade, Serbia. Book of Abstracts 11th European Meeting on Environmental Chemistry (EMEC 11), Portorož, Slovenia, 2010b, p. 92.
- Dust, M.N., Baran, N., Errera, G., Hutson, J.L., Mouvet, C., Schafer, H., Vereecken, H. and Walker, A.:** Simulation of water and solute transport in field soils with the LEACHP model. *Agricultural Water Management*, 44: 225-245, 2000.
- El-Nabhal, Y.:** Persistence, mobility, efficacy and activity of Chloroacetanilide herbicide formulation under greenhouse and field experiments. *Environmental Pollution*, 124: 33-38, 2003.
- Felsot, A. and Wilson, J.:** Adsorption of carbofuran and movement on soil thin layers. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 24: 778-782, 1980.
- Fournier, J.C., Soulas, G. and Catroux, G.:** Dégradation microbienne de l'isoproturon dans des modèles de laboratoire. *Chemosphere*, 4: 207-214, 1975.
- Garcia-Valcarcel, A.I. and Tadeo, J.L.:** Influence of Soil Moisture on Sorption and Degradation of Hexazinone and Simazine in Soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 3895-3900, 1999.
- Goetz, A.J., Walker, R.M., Webtje, G. and Hajek, B.F.:** Sorption and Mobility of Chlorimuron on Alabama Soils. *Weed Science*, 37: 428-433, 1989.
- Günther, P., Pestemer, W., Rahman, A. and Nordmeyer, H.:** A bioassay technique to study the leaching behaviour of sulfonylurea herbicides in different soils. *Weed Research*, 33: 177-185, 1993.
- Gupta, S. and Gajbhiye, V.T.:** Adsorption-desorption, persistence, and leaching behavior of dithiopyr in an alluvial soil of India. *Journal of Environmental Science & Health, Part B – Pesticides, Food Contaminants, & Agricultural Wastes*, 37: 573-587, 2002.
- Gupta, S. and Gajbhiye, V.T.:** Persistence and leaching of β -cyfluthrin in alluvial soil of India. *Pest Management Science*, 58: 1259-1265, 2002a.
- Hancock, T.C., Sandstrom, M.W., Vogel, J.R., Webb, R.M.T., Bayless, E.R. and Barbash, J.E.:** Pesticide Fate and Transport throughout Unsaturated Zones in Five Agricultural Settings, USA. *Journal of Environment Quality*, 37: 1086-1100, 2008.
- Heiermann, M.:** Untersuchungen zum Verhalten von Herbiziden im Boden als Grundlage für Simulationen im Herbst und Winter. Ph.D. diss., Humboldt University, Berlin, Nemačka, 1998.
- Helling, C.S., Kearney, P.C. and Alexander, M.:** Behavior of pesticides in soil. *Advances in Agronomy*, 23: 147-240, 1971.
- Helling, C.S. and Turner, B.C.:** Pesticide mobility: Determination by soil thin layer chromatography. *Science*, 162: 562-563, 1968.
- Helling, C.S.:** Movement of s-triazine herbicides in soils. *Res Reviews*, 32: 175-210, 1970.
- Jamet, P. and Thoisy-Dur, J.C.:** Pesticide mobility in soils: Assessment of the movement of isoxaben by soil thin-layer chromatography. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 41: 135-142, 1988.
- Jene, B.:** SLFA Projektbericht: Weiterentwicklung des Simulationsmodells PELMO 2.01 zu PELMO 3.00, SLFA, Neustadt, Nemačka, 1998.
- Konda, L.N. and Pásztor, Z.:** Environmental distribution of acetochlor, atrazine, chlorpyrifos, and propisochlor under field conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 3859-3863, 2001.
- Kruger, E.L., Zhu, B. and Coats, J.R.:** Relative mobilities of atrazine, five atrazine degradates, metolachlor, and simazine in soils of Iowa. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15: 691-695, 1996.
- Kulshrestha, G.:** Persistence of the herbicide isoproturon in soil. *Aspects of Applied Biology*, 4: 413-422, 1983.
- Larsbo, M. and Jarvis, N.J.:** MACRO 5.0. A model of water flow and solute transport in macroporous soil. Technical description. Emergo 2003:6. Department of Soil Science, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Švedska, 2003.
- Laskowski, D.A., Swann, R.L., McCall, P.J. and Bidlack, H.D.:** Soil Degradation Studies. *Residue Reviews*, 85: 139-147, 1983.
- Lee, L.S., Rao, P.S.C., Brusseau, M.L. and Ogwada, R.A.:** Nonequilibrium sorption of organic contaminants during flow through columns of aquifer materials. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 7: 779-793, 1988.
- Leonard, R.A., Knisel, W.G. and Still, D.A.:** GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems. *Transactions of the ASAE/American Society of Agricultural Engineers*, 30: 1403-1418, 1987.
- López-Pérez, G.C., Arias-Estévez, M., López-Periago, E. and Soto-González, B.:** Dynamics of pesticides in potato crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 1797-1803, 2006.
- Ma, L. and Selim, H.M.:** Evaluation of nonequilibrium models for predicting atrazine transport in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 61: 1299-1307, 1997.
- Ma, Q.L., Rahman, A., James, T.K., Holland, P.T., McNaughton, D.E., Rojas, K.W. and Abuja, L.R.:** Modeling the Fate of Acetochlor and Terbutylazine in

the Field Using the Root Zone Water Quality. Soil Science Society of America Journal, 68: 1491-1500, 2004.

Majka, J.T. and Lavy, T.L.: Adsorption, mobility and degradation of cyanazine and diuron in soils. Weed Science, 25: 401-406, 1977.

Marković, M., Čupać, S., Đurović, R., Milinović, J. and Kljajić, P.: Assessment of heavy metal and pesticide levels in soil and plant products from agricultural area of Belgrade, Serbia. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 58: 341-351, 2010.

Morrice, P., Barbato, F., Giordano, A., Seccia, S. and Ungaro, F.: Adsorption and Desorption of Imazosulfuron by Soil. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 48: 6132-6137, 2000.

Nennemann, A., Misbael, Y., Nir, S., Rubin, B., Polubesova, T., Bergaya, F., Van Damme, H. and Lagaly, G.: Clay based formulations of metolachlor with reduced leaching. Applied Clay Science, 18: 265-275, 2001.

Nkedi-Kizza, P., Brusseau, M.L., Rao, P.S.C. and Hornsby, A.G.: Nonequilibrium sorption during displacement of hydrophobic organic chemicals and calcium-45 through soil columns with aqueous and mixed solvents. Environmental Science and Technology, 23: 814-820, 1989.

OECD: OECD guidelines for testing of chemicals 106: adsorption/desorption using a batch equilibrium method, 2000, 45 pp, www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/fulltext/9710601e.pdf?expires=1293529888&id=0000&ccname=freeContent&checksum=B2F1EA0B43F3391290DC5DEB87A2DD04. Datum pristupa stranici: 28. decembar 2010.

Oliver, D.P., Baldock, J.A., Kookana, R.S. and Grocke, S.: The effect of landuse on soil organic carbon chemistry and sorption of pesticides and metabolites. Chemosphere, 60: 531-541, 2005.

Perrin-Ganier, C., Breuzin, C., Portal, J.M. and Schiavon, M.: Availability and persistence of IPU under field and laboratory conditions. Ecotoxicology and Environmental Safety, 35: 226-230, 1996.

Regitano, J.B., Prata, F., Rocha, W.S.D., Tornisiello, V.L. and Lavorenti, A.: Imazaquin mobility in tropical soils in relation to soil moisture and rainfall timing. Weed Research, 42: 271-279, 2002.

Saffih-Hdadi, K., Bruckler, L., Lafolie, F. and Barriuso, E.: A model for linking the effects of parathion in soil to its degradation and bioavailability kinetics. Journal of Environmental Quality, 35: 253-267, 2006.

Sauer, T.J., Fermanich, K.J. and Daniel, T.C.: Comparison of the pesticide root zone model simulated and measured

pesticide mobility under two tillage conditions. Journal of Environmental Quality, 19: 727-734, 1990.

Schiavon, M.: Studies of the movement and the formation of bound residues of atrazine, of its chlorinated derivatives, and of hydroxy-atrazine in soil using ¹⁴C ring-labeled compounds under outdoor conditions. Ecotoxicology and Environmental Safety, 15: 46-54, 1988.

Selim, H.M.: Kinetic Retention of Atrazine and Metribuzin in Soil. Soil Science, 169: 25-34, 2004.

Sing, S.B. and Kulshrestha, G.: Soil persistence of triasulfuron herbicide as affected by biotic and abiotic factors. Journal of Environmental Science and Health, Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes, 41: 635-645, 2006.

Singh, N.: Factors Affecting Triadimefon Degradation in Soils. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 53: 70-75, 2005.

Singh, N.: Sorption Behavior of Triazole Fungicides in Indian Soils and Its Correlation with Soil Properties. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 50: 6434-6439, 2002.

Starr, J.L. and Glotfelty, D.E.: Atrazine and Bromide Movement through a Silt Loam Soil. Journal of Environmental Quality, 19: 552-558, 1990.

Storc, P.R.: Bioefficacy and leaching of controlled-release formulations of triazine herbicides. Weed Research, 38: 433-441, 1998.

Thulasiramaraja Maheswari, S. and Ramesh, A.: Adsorption and degradation of sulfosulfuron in soils. Environmental Monitoring and Assessment, 127: 97-103, 2007.

Thulasiramaraja Maheswari, S. and Ramesh, A.: Dissipation of Sulfosulfuron in Soil and Wheat Plant under Predominant Cropping Condition and in a Simulated Model Ecosystem. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 54: 4498-4498, 2006.

Tiktak, A., Van der Linden, A.M.A. and Swartjes, F.A.: PESTRAS: a one-dimensional model for assessing leaching and accumulation of pesticides in soil. Report no. 715501003, National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven, Holandija, 1994.

Van der Berg, F. and Boesten, J.J.: Pesticide leaching and accumulation model (PESTLA) version 3.3. Description and user's guide. Tech. Doc. 43, DLO-Staring Centrum, Wageningen, Holandija, 1998.

Vasilakoglou, I.B., Eleftheroborinos, I.G. and Dhima, K.B.: Activity, adsorption and mobility of three acetanilide and two new amide herbicides. Weed Research, 41: 535-546, 2001.

Vischetti, C.M., Businelli, M., Marini, M., Capri, E., Travis, M., Del Re, A.A.M., Donnarumma, L., Conte, E. and Imbroglini, G.: Characterization of Spatial Variability Structure in Three Separate Field Trials on Pesticide Dissipation. *Pesticide Science*, 50: 175-182, 1997.

Walker, A. and Jurado-Exposito, M.: Adsorption of isoproturon, diuron and metsulfuron-methyl in two soils at high soil:solution ratios. *Weed Research*, 38: 229-238, 1998.

Wauchope, R.D., Yeh, S., Linders, J.B., Kloskowski, R., Tanaka, K., Rubin, B., Katayama, A., Kördel, W., Gerstl, Z., Lane, M. and Unsworth, J.B.: Pesticide soil sorption

parameters: theory, measurement, uses, limitations and reliability. *Pest Management Science*, 58: 419-445, 2002.

Weber, J.B. and Peeper, T.F.: *Research Methods in Weed Science* (Second Edition). Weed Science, Auburn, Alabama, USA, 1977, pp. 73-78.

Weber, J.B. and Whitacre, D.M.: Mobility of herbicides in soil columns under saturated and unsaturated flow conditions. *Weed Science*, 30: 579-584, 1982.

Wenzel, K. and Dedek, W.: A simple method for the evaluation of the translocation behaviour of agrochemicals in soil. *Journal of Chromatography*, 109: 443-443, 1975.

Methods for Determination of Pesticide Adsorption Properties and Examination of Their Mobility in Soil

SUMMARY

Pesticide destiny in soil depends on a number of factors, as well as on presence and intensity of the processes such as adsorption, degradation, evaporation, rinsing and leaching. Since adsorption processes govern concentration of the free fraction of pesticide molecules, researches in this area are primarily focused on examination of this process, more precisely on determination of adsorption constants and adsorption/desorption isotherms which provide determination of the most responsible soil properties for the retention of the tested pesticides in the soil. Since rinsing across the soil profile is the most frequent and its intensity is indirectly determined by intensity of adsorption processes, determination of adsorption constants of pesticides provides determination of rinsing potential for these substances across the soil profile.

Methods for determination of pesticides adsorption properties and examination of their mobility in soil, primarily across the soil profile, are presented in the paper. Special emphasis is placed on the „batch“ method, which is currently the most common, and which was actually proposed by the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD).

Keywords: Pesticides; Soil; Adsorption; Degradation; Migration