

Makroporeforbindelser og pesticidudvaskning

Petersen, C.T., Nielsen, M.H., Hansen, S., Abrahamsen, P. og Koch C.B.

En ny sporingsteknik afslører store porer, kaldet makroporer, som forbinder jordoverfladen direkte med markdræn. Undersøgelser i marken og modelberegninger viser, at sådanne porer kan have afgørende indflydelse på vandstrømningen direkte fra jordoverfladen til dræne og på udvaskningen af mange pesticider. Direkte forbundne makroporer blev kun fundet i et smalt bælte henover dræne, og de var meget uensartet fordelt langs med dræne.

Beregninger baseret på vejrdata for en 10-årsperiode viser, at pesticidudvaskningen og effekten af direkte forbundne makroporer er uforholdsmæssig stor i situationer, hvor vandføringsevnen i overfladenære jordlag omkring makroporerne er lav.

1.1 BAGGRUND OG FORMÅL

Man vil ikke umiddelbart forvente, at pesticider, der bindes hårdt i jorden og nedbrydes hurtigt, udgør en trussel mod vandmiljøet. Hård binding burde nemlig sikre, at pesticiderne bliver i den øverste del af jorden, og hurtig nedbrydning burde sikre, at de hurtigt forsvinder. Det viser sig dog, at tingene ikke er helt så enkle, og for denne type pesticider er det fundet, at makroporerne spiller en stor rolle for udvaskningen. I den øverste del af jorden (ofte til 1-2 m dybde) er de største og potentielt mest effektivt ledende makroporer normalt af biologisk oprindelse, typisk skabt af planterødder eller regnorme.

International forskning og resultater fra det danske overvågningsprogram *Varslingssystem for udvaskning af pesticider til grundvand* har vist, at regelret pesticidanvendelse i landbruget kan føre til udvaskning af mange pesticider til dræn beliggende i ca. 1 m dybde på lerjord. Pesticidudvaskning via dræn til overfladevand påkalder sig derfor en særlig interesse. I Danmark er ca. 50 % af landbrugsarealet drænet, nærmere bestemt ca. 40 % i Jylland og ca. 80 % på Øerne.

Kun en mindre del af jordens makroporer forbinder jordoverfladen direkte med markdræne. Disse direkte forbundne makroporer danner sammen med dræne (der også kan betragtes som "makroporer") en ubrudt forbindelse mellem jordoverfladen, hvor pesticiderne tilføres og vandløbene. Dermed får direkte forbundne makroporer potentielt en meget stor betydning for udvaskningen af pesticider. Resultater af et andet netop afsluttet forskningsprojekt viser da også, at det kan være umuligt at modellere pesticidudvaskning med drænvand uden at inddrage makroporer med direkte forbindelse til dræne (Hansen et al., 2012).

Projektets formål har været at bestemme hyppighed og arealmæssig fordeling samt effekter af makroporer, som forbinder jordoverfladen direkte med markdræn. Projektet bygger på udviklingen af en teknik til sporing og karakterisering af sådanne makroporeforbindelser baseret på indblæsning af røggas i nedgravede markdræn og beskrivelse af røgfaner ved jordoverfladen over dræne.

1.2 UNDERSØGELSEN

Undersøgelsen er udført i perioden december 2009 - november 2011 af medarbejdere ved Københavns Universitet (KU), Institut for Grundvidenskab og Miljø (Carsten T. Petersen, Marie H. Nielsen, Søren Hansen, Per Abrahamsen og Christian B. Koch). Projektet har omfattet feltforsøg samt beregninger med simuleringsmodellen Daisy, hvor resultaterne fra feltforsøget er blevet brugt i modellen.

Feltforsøgene er udført på KU's forsøgsgård Rørrendegaard ved Taastrup. Der er arbejdet med udvikling af den røgbaserede sporingsteknik samt med at karakterisere direkte forbundne makroporer fundet med den nye teknik. Jordens generelle transportegenskaber er undersøgt ved at måle og karakterisere transporten af 2 særligt egnede sporstoffer (herunder et farvestof) ned gennem jordlagene. Karakteriseringen er lavet så den kan bruges direkte i modellen. Modellen er brugt til at simulere udvaskningen af 2 pesticider (pendimethalin og ioxynil) med meget forskellige transportegenskaber. Pendimethalin binder relativt stærkt til jorden og nedbrydes langsomt, mens ioxynil binder svagt og nedbrydes relativt hurtigt.

1.3 HOVEDKONKLUSIONER

Projektet har bidraget med grundlæggende ny viden om forekomst og effekter af direkte drænforbundne makroporer. Denne viden er vigtig for at forstå omfanget af og dynamikken i pesticidudvaskningen fra markarealer til dræn og vandløb. Specifikke hovedkonklusioner er anført i boks 1.

Boks 1. Hovedkonklusioner

- Den nye røgbaserede sporingsteknik kunne anvendes under markforhold til kortlægning af direkte drænforbundne makroporer.
- Således kortlagte makroporeforbindelser blev næsten udelukkende fundet i et 1,0 m bredt bælte direkte over drænene. Forbindelserne var desuden meget uensartet fordelt langs med drænene. Dvs. at områder med direkte forbundne makroporer kun udgjorde en meget lille del af markarealet.
- Nogle af de direkte forbundne makroporer udgjorde særdeles effektive transportveje for vand og farvestof mellem jordoverflade og dræn.
- Regnormegange dominerede som transportveje for farvestoffet gennem jorden ned til drænet. Transporten det sidste stykke (ofte kun få cm) til drænet foregik dog i mindre porer (rodkanaler, sprækker).
- Målt transport i jorden kunne beskrives tilfredsstillende vha. Daisy-modellen
- Modelberegninger viste, at der var tæt sammenhæng mellem, hvor meget vand der strømmede direkte fra overfladen til drænet, og hvor meget af det stærkt bundne pesticid (pendimethalin), der endte i drænet. Ganske små vandmængder kunne være afgørende for udvaskningens størrelse.
- Med lave, men realistiske (målte) værdier for hydraulisk ledningsevne i overfladelag og/eller furebund (vandføringsevne i jorden uden om makroporerne bestemt helt tæt på overfladen og/eller lige under pløjedybden) blev transporten fra overfladelaget via direkte forbundne makroporer helt dominerende for den samlede udvaskning af pendimethalin fra marken til drænene.
- For det svagt bundne pesticid (ioxynil) var transport fra overfladelaget via direkte forbundne makroporer kun afgørende, når den hydrauliske ledningsevne i overfladelaget var usædvanlig lav.

1.4 PROJEKTRISULTATER

Sporingsteknikken med røg

Sporingsteknikken afslørede tilstedeværelsen af ubrudte, luftfyldte makroporeforbindelser mellem drænene og jordoverfladen (eksempler er vist i figur 1). De observerede røgfaner udgik typisk fra åbne bioporer i jordoverfladen (hovedsageligt regnormegange). I foråret 2010 udgik mange røgfaner dog også fra udtørningsprækker i overfladelaget, som formentlig krydsede underliggende, røgførende bioporer.



FIGUR 1 RØGAFGIVELSE FRA MAKROPORER I JORDOVERFLADEN OVER EN 35 M LANG DRÆNLEDNING NEDGRAVET FOR 45 ÅR SIDEN I 120 CM DYBDE. RØGEN BLEV BLÆST IND I DRÆNET I FORGRUNDEN UNDER LAVT TRYK, MENS DEN FJERNE ENDE AF DRÆNSEKTIONEN VAR BLOKERET. RØGFANERNES PLACERING I FORHOLD TIL DRÆNET BLEV BESTEMT MED MÅLEBÅND. BILLEDERNE ER TAGET 3.5 OG 27.5 2010.

Direkte forbundne (røggivende) makroporer blev kun fundet i et ca. 1 m bredt bælte over drænledningerne, og fordelingen var meget ujævn langs med drænene. Det betyder, at udvaskningsprocesser, som måtte knytte sig til disse makroporeforbindelser, vil være tilsvarende uensartet fordelt inden for marken.

Transport af vand og sporstof fra overflade til dræn

Direkte forbundne (røggivende) makroporeres evne til at transportere vand og tilsat farvestof (Brilliant Blue) fra overfladen til drænet blev undersøgt. Der blev tilført vand på et lille overfladeareal direkte henover poreåbningerne (regnormegange) præcist ligeså hurtigt, som det var i stand til at trænge ind i jorden (dvs. infiltrere). Målinger blev også gennemført på andre helt tilsvarende porer uden røgafgivelse. Under målingerne, der hver varede i 20 minutter, blev der holdt et fast vandspejl på 1-2 cm henover jordoverfladen og poreåbningen. Infiltrationsevnen var markant højere i porer med kraftig røgafgivelse end i tilsvarende porer med svag eller ingen røgafgivelse. I nogle tilfælde og primært for porer med kraftig røgafgivelse, blev blåfarvet vand kanaliseret meget effektivt ind i drænet og videre til nedstrøms drænudløb (Figur 2). Resultaterne viser, at røgafgivelsen kunne bruges som indikator for potentialet for direkte vandtransport (og stoftransport) fra jordoverfladen til markdræn.

FIGUR 2. UDSTRØMNING AF BLÅFARVET VAND FRA ET DRÆNUDLØB 29 M NEDSTRØMS I FORHOLD TIL TILFØRSELSSTEDET. DER BLEV I LØBET AF 20 MIN TILFØRT 7,8 L BLÅFARVET VAND PÅ JORDOVERFLADEN TIL EN ÅBENTSTÅENDE, KRAFTIGT RØGGIVENDE REGNORMEGANG, BILLEDET BLEV TAGET UMIDDELBART EFTER TILFØRSELN.



Nogle af de blåfarvede (strømningsaktive) makroporesystemer blev studeret i detaljer ved omhyggelige udgravninger helt ned til drænet. Den overfladeåbne makropore (regnormegang) og/eller andre tilsluttede regnormegange dominerede som transportvej for sporstoffet gennem størstedelen af jorden.

Beregning af effekter af direkte forbundne makroporer på pesticidudvaskningen

Effekter af direkte forbundne makroporer på pesticidudvaskningen til dræn blev undersøgt ved modelberegninger (tabel 1). Beregningerne blev gennemført for de to pesticider pendimethalin (P) og ioxynil (I). I modelopsætning 1 var der ikke vandstandsede jordlag, og der blev anvendt målte gennemsnitstal for antal makroporer, herunder direkte drænforbundne makroporer bestemt i røgforsøgene. Der blev beregnet en mindre pesticidudvaskning til drænene (hhv. 0,0011 og 0,066 % af udbragt mængde), hvilket er nogenlunde på niveau med, hvad man tidligere har målt (Petersen et al., 2003). Denne opsætning er brugt som reference, og den samlede relative udvaskning til drænene er for hvert stof sat til værdien 1,00. Effekten af direkte forbundne makroporer (ses i de to kolonner længst mod højre i tabellen) er negligerbar fordi der ikke opstår frit vand ved jordoverfladen og derfor heller ikke makroporestrømning herfra.

Tabel 1. Relativ udvaskning og effekt af direkte forbundne makroporer beregnet for 2 forskellige pesticider (P=pendimethalin og I=ioxynil) med 6 forskellige opsætninger af Daisy-modellen (se teksten). Gennemsnitstal for 10 år.

Modelopsætning	Relativ udvaskning		Heraf fra overfladen via direkte forbundne makroporer	
	P	I	P	I
1. Ingen vandstandsede jordlag	1,00	1,00	0	0
2. Ingen makroporer	0	0,11	0	0
3. Mange makroporer	2,0	2,4	0	0
4. Moderat pakket overfladelag	14	1,02	13	0,02
5. Stærkt pakket overfladelag	271	11	268	5,7
6. Moderat pakket furebund	56	7,7	49	0,04

I de efterfølgende modelopsætninger (2-6) er der i hvert tilfælde kun ændret på én faktor i forhold til referenceopsætningen. På nær for opsætningen (2) ligger ændringerne alle inden for et realistisk spænd bestemt ud fra målinger på forsøgsarealet eller på tilgrænsende arealer. Helt uden makroporer (2) var der ingen erkendelig udvaskning af pendimethalin til dræn, og udvaskningen af ioxynil faldt til 11 % af, hvad der blev fundet i referenceopsætningen. Der var selvsagt ingen udvaskning (via makroporer) direkte fra overfladen. Makroporer er altså afgørende for udvaskningen af begge pesticider, omend specielt for pendimethalin. En tilsvarende konklusion blev nået ud fra eksperimentelle undersøgelser med de to pesticider af Petersen et al. (2003).

Med ”mange” makroporer, herunder direkte forbundne makroporer (det højeste antal målt i nærværende projekt, opsætning 3) blev der beregnet en moderat forøgelse af udvaskningen af begge pesticider set i forhold til referenceopsætningen. Effekten af direkte forbundne makroporer var fortsat negligerbar, fordi der fortsat ikke blev genereret frit vand ved overfladen.

Hvis jorden omkring en makropore pakkes, enten naturligt eller som følge af færdsel, går det ud over vandføringsevnen, og der kan lettere opstå frit, pesticidholdigt vand ved overfladen, som kan trænge ind i makroporen. Når beregningerne blev gennemført med moderat pakket overfladelag (opsætning 4) blev udvaskningen af pendimethalin forøget med en faktor 14, mens udvaskningen af ioxynil var næsten upåvirket. Langt hovedparten af udvaskningen af pendimethalin (13/14) foregik via direkte forbundne makroporer, mens det kun var ca. 2 % af udvaskningen af ioxynil, der foregik gennem sådanne porer. Kun godt 2 mm vand (1,0 % af gennemstrømningen i 100 cm dybde) blev kanaliseret ind i de direkte forbundne makroporer ved overfladen, men denne lille vandmængde var altså afgørende for udvaskningen af pendimethalin.

Med et stærkt pakket overfladelag (opsætning 5), svarende fx til forholdene i et hjulspor lavet af et tungt køretøj, blev udvaskningen af pendimethalin yderligere forøget til et niveau, der lå hele 271 gange højere end i standardopsætningen (svarende til ca. 0,30 % af udbragt mængde). Næsten hele denne udvaskning foregik fra overfladen via direkte forbundne makroporer. Udvasningen af ioxynil blev forøget med en faktor 11, hvoraf ca. halvdelen blev udvasket fra overfladen via direkte forbundne makroporer.

Med moderat pakket jord lige under pløjedybden, som reducerer afdræningsevnen og derved får indflydelse på vandindholdet i hele pløjelaget, lå udvaskningen af pendimethalin og ioxynil på niveauer, der var hhv. 56 og 7,7 gange højere end i referenceopsætningen (opsætning 6). Pendimethalin blev hovedsageligt udvasket fra overfladen via direkte forbundne makroporer, mens denne transportvej kun var af mindre betydning for ioxynil. Makroporer ved drænet var dog fortsat meget vigtige, hvilket afspejler transport af det svagtbundne pesticid med vandstrømning til makroporer i lidt større jorddybde.

Modellen viser altså, at direkte forbundne makroporer kun har mindre indflydelse på udvaskningen så længe der ikke er vandstandsede jordlag øverst i profilen, som kan få det pesticidholdige vand til at strømme ind i makroporerne. Men når jorden rundt om makroporerne er pakket og ikke kan lede vandet så godt, så får makroporerne en stor betydning, så selv pesticider, der bindes hårdt og nedbrydes hurtigt, kan ende i vores vandløb.

1.5 ANDRE KILDER

- Hansen, S., Petersen, C., Møllerup, M., Abrahamsen, P., Gjettermann, B., Nielsen, M.H., Styczen, S., Poulsen, R., Lørup, J.K., Yamagata, K. og Butts, M. (2012): Flerdimensional modellering af vandstrømning og stoftransport i de øverste 1–2 m af jorden i systemer med markdræn. Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen, nr. 138. 276 sider (<http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2012/07/978-87-92779-52-6.pdf>).
- Petersen, C.T., Holm, J., Koch, C.B., Jensen, H. E. og Hansen, S. (2003): Movement of pendimethalin, ioxynil, and soil particles to field drainage tiles. *Pest Management Science* 59: 85-96.