

FÖRORENINGSTRANSPORT I DEN OMÄTTADE ZONEN UNDER OLIKA NEDERBÖRDSSCENARION

Unsaturated solute transport under different rainfall scenarios

av MAGNUS PERSSON¹, JONAS OLSSON²

¹ Department of water resources engineering, Lund University. Box 118, 221 00 Lund

² Research and Development (hydrology), Swedish Meteorological and Hydrological Institute, 601 76 Norrköping
e-post: magnus.persson@tvrl.lth.se, jonas.olsson@smbi.se



Abstract

Pollutant transport in the unsaturated soil zone is a potential threat to surface and ground water resources. The intensity and volume of rainfall are the parameters that decide how fast and deep the pollutants will be transported. Climate models predict a future rainfall climate with higher total volume and higher intensities. In the present study we try to assess effects on unsaturated solute transport of a future rainfall climate. In the present study we investigate the effects of the estimated precipitation change on unsaturated solute transport in two different soil types in southern Sweden using the numerical model HYDRUS-1D. Three different precipitation input data were used, direct output from a high resolution climate model and downscaled climate model data using delta change (DC). The results presented in this paper shows that DC gives more realistic solute transport depths compared to using climate model data. Using DC data it is predicted that the solute transport depths will increase during the mid of the present century and the return to levels similar today's. Different soil types can give different response using the same precipitation input, therefore more studies are needed in different parts of Sweden using different soil types.

Key words – solute transport, unsaturated zone, climate change, HYDRUS-1D

Sammanfattning

Föroreningstransport i den omättade markzonen är ett potentiellt hot mot både yt- och grundvattentäckter. Nederbördsvolym och intensitet är de parametrar som i huvudsak bestämmer föroreningstransportens hastighet och hur djupt föroreningarna transporteras. Klimatmodeller förutsäger att både nederbördsvolym och intensitet kommer att öka de närmaste 100 åren. I denna studie undersöks hur dessa ökningarna kommer att påverka föroreningstransporten i den omättade zonen i två olika områden i sydvästra Skåne. Numerisk modellering av föroreningstransport gjordes med modellen HYDRUS-1D med två olika jordtyper. Tre olika typer av nederbördsindata används: observerade, direkta utdata från en högupplöst klimatmodell och nedskalade klimatmodelldata med delta change (DC). Resultaten i denna artikel visar att DC verkar ge mer realistiska värden på föroreningstransport i jämförelse med direkt klimatmodellnederbörd. Med nederbördsdata framtaget med DC metoden förutspås djupare föroreningstransport under mitten av innevarande sekel. Mot slutet av seklet kommer föroreningstransporten att återgå till nivåer liknande dagens, om än något djupare. Olika jordtyper kan ge olika respons för samma nederbördsindata och därför bör fler studier göras med fler olika jordtyper i flera delar av Sverige.

1 Introduktion

Markvattenzonen eller den omättade zonen utgör en viktig del av den hydrologiska cykeln. En viktig del av grundvattenbildning sker genom att nederbörd infiltrerar genom den omättade zonen. På sin väg jämnas flödet

ut över tiden och biologiska och kemiska processer renar vattnet. I marken finns också växternas rötter som behöver en jämn tillgång till rent vatten. I vårt samhälle är vi alltså beroende av en ren mark för att upprätthålla vårt behov av rent vatten och livsmedel.

Transporten i markvattenzonen är beroende av förhål-

landena vid de övre och undre gränsskikten. På jordytan bestämmer nederbörd och avdunstning vattenflödets storlek och riktning, vid den undre begränsningsytan bestämmer grundvattenytans nivå hur mycket vatten som lämnar zonen ner till grundvattnet. Avdunstning och, i synnerhet, nederbörd är ojämnt fördelade över tiden. Transporthastigheten i marken bestäms både av nettonederbördens volym och hur den fördelas över tiden. Förvånansvärt få studier har dock gjorts på hur den tidsmässiga variabiliteten hos nederbörden påverkar transporthastigheten in den omättade zonen. De flesta av dessa studier har koncentrerat sig på makroporflöde (Jarvis, 2007; Lewan m.fl., 2009; Mohammadi och Vanclooster, 2011). Makroporflöde äger rum i torrsprickor, maskgångar, längs rötter mm. Just för makroporflöde är kopplingen mellan höga nederbördsintensiteter och transporthastighet stark eftersom höga vattenhalter leder till en högre andel makroporflöde. Även om makroporflöde är en viktig process för snabb föroreningstransport är transporten i den omättade zonen under större tiden dominerad av mikroporflöde. De fåtaliga studier som studerar hur nederbördsvariationen i tiden påverkar transporten i marken för mikroporflöde har mest varit inriktade på olika typer av bevattningsintensitet (Russo m.fl., 1989; Sharma och Taniguchi, 1991; Persson och Berndtsson, 1999). Naturlig nederbörd har dock en mycket större tidsmässig variabilitet än bevattning och därför kan man inte vara säker på att ovanstående studier är relevanta för naturlig nederbörd.

Enligt olika klimatmodeller kommer framtidens nederbörds klimat att förändras jämfört med idag. Globalt sett gäller att redan blöta (d.v.s. nederbördsrika) områden blir blötare och vice versa (IPCC, 2007). Således förväntas Sverige få en ökad nederbörd i framtiden. Vad gäller total årstidsnederbörd kommer enligt klimatmodellerna den kraftigaste ökningen att ske på vintern, med en ökning på ca 20–30 % fram till slutet av seklet (t.ex. Kjellström m.fl., 2011). Sommartid indikeras överlag en mindre ökning, 5–10 %, och även enligt vissa modeller lokalt en minskad årstidstotal. Vad gäller maximal nederbörd under en kort period fann Nikulin m.fl. (2011) i en studie av dygnsnederbörd en ökning av 20-års regnet sommartid (då de högsta dygnsvärdena generellt inträffar) på 10–30 % fram till slutet av seklet, generellt högst i västra Sverige. Olsson och Foster (2013) studerade 30-min data och fann att för korttidsnederbörd (≤ 1 h) är den framtida ökningen ca 5 % större än på dygnskala.

Ett fåtal studier har försökt ta reda på vad som händer med markvattenhalter och föroreningstransport i ett framtida klimat (Arheimer m.fl., 2005; Knapp m.fl., 2008; Gu och Riley, 2010; Thomey m.fl., 2011). Resultaten från dessa studier visar att det finns risker förknippade

med att föroreningstransport potentiellt kan komma öka i framtiden.

Syftet med denna artikel är att för sydsvenska förhållanden undersöka (i) hur den tidsmässiga variabiliteten hos nederbördsdata påverkar föroreningstransporten i den omättade zonen, (ii) vilka typer av data från klimatmodeller som är lämpliga att använda för föroreningstransportmodellering och (iii) vilka framtida förändringar i föroreningstransport man kan vänta sig under det innevarande seklet.

2 Material och metoder

2.1 Numerisk modellering

I denna studie användes en numerisk modell av den omättade zonen som heter HYDRUS-1D. Denna modell använder finita elementmetoden för att lösa ekvationer för vatten- och föroreningstransport i den omättade zonen under olika typer av randvillkor. Modellen har använts i en lång rad tillämpningar med mycket gott resultat. En detaljerad beskrivning av modellen och exempel på applikationer ges av Radcliffe och Šimůnek (2010).

I denna studie användes jordprofildata från två lokaler i sydvästra Skåne, Löddeköpinge och Odarslöv. Jordegenskaperna beskrivs i tabell 1. Dessa två jordtyper användes då de kan ses som representativa för jordbruksmark i sydvästra Skåne. Två modeller upprättades, en för varje jordtyp. Jorden delades in i lager enligt tabell 1. Hydrauliska parametrar för de olika jordlagren uppskattades med hjälp av kornstorleksfördelningen. Den omättade zonen antogs vara 2,5 m djup och delades in i 100 element. Effekten av hysteresis modellerades med metoden beskriven av Kool och Parker (1987). Dispersiviteten sattes till 1/10 av modelldomänen. En utförligare beskrivning av modellen finns att läsa i Persson och Saifadeen (2013).

Tabell 1. *Jordegenskaper.*

Djup (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Lera (%)	Bulk densitet (g/cm ³)
Löddeköpinge				
0–20	80	16,5	3,5	1,53
20–45	78,8	18,3	2,9	1,55
45–70	84,3	11,8	3,9	1,55
>70	93,4	4,8	1,8	1,56
Odarslöv				
0–20	68,0	27,2	4,8	1,48
20–150	58,2	33,0	8,9	1,48
>150	40,5	44,6	14,9	1,65

Perioden från 1 mars till 25 september (5000 h) användes för simuleringarna. Denna period motsvarar ungefär den aktiva växtperioden och problem med frysning/tining av marken undviks. All nederbörd antas vara i form av regn. I början av varje simuleringsperiod spreds 100 g av ett vattenlösligt ämne i markens översta 5 cm.

Initialt antogs att porvattenundertrycket varierade linjärt mellan 0 m på 2,5 m djup i jordprofilen till -2,5 m vid jordytan. Randvillkoret i botten på modellområden sattes som kontant porvattenundertryck (=0 m). Modellen tog inte hänsyn till ytavrinning.

2.2 Indata

För att köra simuleringarna behövs indata för nederbörd och potentiell evapotranspiration. Eftersom detaljerade evapotranspirationssdata med hög tidsupplösning inte var tillgängliga användes månadsmedelvärden för Malmö under perioden 1961–1990. Dessa månadsmedelvärden fördelades lika över varje dygn i respektive månad. Under dygnet varierade evapotranspirationen enligt en sinuskurva med maximalt värde mitt på dagen och 0 under natten (mellan kl. 18:00–6:00). För simuleringar av framtida klimat antogs evapotranspirationen vara 5 % högre runt 2050 och 10 % högre runt 2100. Dessa förändringar motsvarar ungefär vad som framkommit de fåtal studier av framtida avdunstning som gjorts, även om också kraftigare framtida ökning indikerats (t.ex. Olsson m.fl., 2010). Eftersom en högre avdunstning kommer att minska den effektiva nederbörden, och därmed även nedträngningen av föroreningar, har vi valt att göra ett konservativt antagande om framtida avdunstning.

Tre olika typer av nederbördsdata användes:

- Uppmätta värden (OBS): De uppmätta värdena hämtades från SMHIs station i Malmö och hade en upplösning på 0,1 mm. Den tillgängliga tidsperioden var 1996–2010 och de ursprungliga 15-min värdena aggregerades till 30 min för att överensstämma med klimatmodelldata. Andelen saknade värden var enbart ett fåtal procent och dessa perioder fylldes in med data från motsvarande period under ett annat år.
- Utdata från klimatmodell (ERA, ECHAM5): Dessa data kommer från högupplösta (12,5 km) simuleringar med den regionala klimatmodellen RCA3 (Kjellström m.fl., 2005). I den ena simuleringen användes den meteorologiska återanalysen ERA-40 (Uppala m.fl., 2005) som randvillkor; dessa utdata representerar RCA3-modellens prestanda med optimala randvillkor. I den andra simuleringen användes en global klimatprojektion för perioden 1961–2099 gjord med modellen ECHAM5 (Roeckner m.fl., 2003) (med IPCC utsläppsscenario A1B) som rand-

villkor. I detta fall tillkommer osäkerheter från den globala modellen. Tidsserier med 30-min nederbörd från Malmö extraherades i båda fallen.

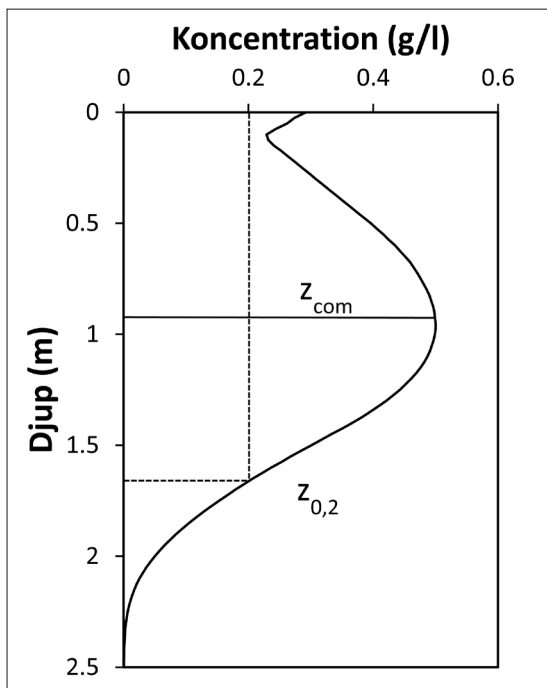
- Nedskalade klimatmodelldata (DC): P.g.a. systematiska fel (bias) i klimatmodellerna och/eller skaleffekter är det ofta svårt att använda nederbördsutdata direkt från klimatmodell i hydrologisk modellering (se t.ex. Olsson m.fl., 2013). Därför krävs ofta statistisk bias-korrigerig och/eller nedskalning. Här har vi använt principen Delta Change (DC), som innebär att 30-min observationerna från Malmö skalats om i enlighet med de förväntade framtida förändringarna uppskattade från klimatmodellutdata. Den DC version som använts tar hänsyn till olika förändringar för olika intensitetsnivåer och olika årstider samt korrigerar också frekvensen av nederbörd (Olsson m.fl., 2012).

En grundläggande skillnad mellan datatyperna är att OBS och DC representerar punktnederbörd emedan ERA och ECHAM5 representerar areellt medelvärdesbildad nederbörd över c:a 150 km². Trots att detta är en hög upplösning för en klimatmodell kan skalskillnaden ha stor inverkan på variabilitet och extremer (t.ex. Olsson m.fl., 2013). Ett grundläggande syfte med studien är att undersöka i vilken utsträckning högupplöst, state-of-the-art klimatmodellnederbörd kan användas för denna typ av lokal effektmodellering.

Simuleringarna kördes för tre olika tidsperioder med längden 15 år. I en historisk simulering för perioden 1996–2010 användes datatyperna OBS, ERA och ECHAM5. Från dessa simuleringar kan uppskattas hur stort felet blir vid användande av klimatmodelldata jämfört med uppmätta data, samt hur stor del av detta fel som är kopplat till den globala klimatmodellen. I två framtida simuleringar för perioderna 2035–2049 och 2085–2099 användes ECHAM5 och DC. Härav kan effekten av att använda framtida uppskattade data på punktskala eller på klimatmodellens gridskala bedömas.

2.3 Dataanalys

För att kvantifiera föroreningstransporten i den omätade zonen togs två parametrar fram för varje år, dels djupet för masscentrum av föroreningsskivan z_{com} och djupet där koncentrationen överstiger ett gränsvärde, godtyckligt satt till 0,2 g/l, $z_{0,2}$. I figur 1 visas ett exempel på koncentrationsfördelningen över djupet i slutet på en simuleringsperiod samt de båda parametrarna z_{com} och $z_{0,2}$. Dessa parametrar förväntas på ett bra sätt att representera medelnedträngning respektive maximal nedträngning av en vattenlöslig förorening som sprids på markytan.



Figur 1. Exempel på koncentrationsfördelningen över djupet simulerat med HYDRUS-1D. I figuren visas även z_{com} och $z_{0,2}$.

3 Resultat

Olika statistiska parametrar beskrivande regndynamiken hos de uppmätta och simulerade indataserierna finns presenterade i Tabell 2–4. Notera att den presenterade statistiken endast gäller för perioden 1 mars och 5000 h framåt, dvs. samma period som användes för simuleringarna av föroreningstransport. För både det nutida

(1996–2010) och framtida (2035–2049, 2085–2099) perioder hade ECHAM5 de högsta regnvolymer. Om man tittar på perioden 1996–2010 så ser man att ECHAM5 modellen ger väldigt höga regnvolymer och låga maxintensiteter jämfört med observerade data. ERA modellen ger bättre överensstämmelse med uppmätta data även om totala volymen är något för hög och maxintensiteterna något för låga. Man får dock tänka på att både ECHAM5 och ERA modellerna ger areell nederbörd och att de därför egentligen inte direkt skall jämföras med den uppmätta punktnederbörden. För framtida perioder ger ECHAM5 en ganska oförändrad nederbördsvolym. Regnintensiteter verkar först öka 2035–2049 för att sedan minska något till 2085–2099. Den våta fraktionen ökar däremot samtidigt som längsta torrperiod minskar. Modellen förutsäger alltså ett regnklimat som är mer jämnt fördelat över tiden med fler nederbördsevent och kortare torrperioder mellan dessa. I viss mån följer framtida DC data samma mönster, med en största ökning av totalvolymen 2035–2049. Den maximala intensiteten ökar dock och torrperiodernas längd är de samma.

Persson och Saifadeen (2013) presenterade en studie där olika parametrar beskrivande nederbördsvariabilitet korrelerades till transporthastighet. Resultaten visade att z_{com} var signifikant positivt korrelerad mot parametrar som t.ex. standardavvikelse, antal 30 min perioder med $P > 5$ mm och nederbörd per regnevent med volym över 10 mm. Däremot var korrelationerna låga för den maximala regnintensiteten och torrperiodernas längd. Tittar vi på de framtida nederbördsserierna i tabell 3 och 4 ser vi att parametrar med hög korrelation är betydligt lägre för EHAM5 än för DC. Detta innebär att även om ECHAM5 modellen skulle ge korrekta nederbördsvolymer är det inte säkert att man erhåller korrekta värden på z_{com} .

Tabell 2. Nederbördsstatistik för perioden 1996–2010, notera att ERA bara täcker åren 1996–2009.

Parameter	Enhet	OBS			ECHAM5			ERA		
		min	max	medel	min	max	medel	min	max	medel
P	mm	248	574	362	362	755	545	370	583	446
Standardavvikelse		0,199	0,371	0,272	0,147	0,286	0,203	0,123	0,305	0,196
Max P/30 min	mm	6,2	18,9	11,7	2,0	14,8	5,2	2,7	16,5	6,3
Tyngdpunkt	days	94	161	121	104	159	126	102	140	121
Våt fraktion	%	4,6	7,9	5,9	8,9	16,4	12,6	8,4	12,8	10,5
Antal 30 min perioder $P > 3$ mm		6	34	13,5	0	15	4,8	0	21	6,5
Antal 30 min perioder $P > 5$ mm		2	10	5	0	4	0,7	0	9	2,1
Antal regnevent (>0.5 mm)		73	131	96,5	124	192	165	94	175	136
Antal regnevent (>10 mm)		0	14	7,8	2	15	7	0	9	4,2
P /event (>0.5 mm)	mm	2,6	4,6	3,5	2,1	3,6	2,7	1,8	3,3	2,5
P /event (>10 mm)	mm	0	26,2	16,3	11,1	25,3	16,9	0	35,6	18,2
Maximal torrperiod	h	221	876	409	172	452	278	173	492	314

Tabell 3. Nederbördsstatistik för perioden 2035–2049.

Parameter	Enhet	ECHAM5			DC		
		min	max	medel	min	max	medel
P	mm	342	716	555	258	596	386
Standardavvikelse		0,142	0,276	0,211	0,204	0,387	0,285
Max P/30 min	mm	3,0	13,5	6,6	6,7	19,7	12,5
Tyngdpunkt	days	102	147	126	88	161	110
Våt fraktion	%	8,7	15,9	12,9	4,5	7,6	5,9
Antal 30 min perioder P > 3 mm		1	17	6,5	8	34	15,2
Antal 30 min perioder P > 5 mm		0	7	1,5	2	11	5,7
Antal regnevent (>0.5mm)		125	212	167	78	140	106,1
Antal regnevent (>10mm)		2	10	7	1	12	7,3
P/event (>0.5 mm)	mm	2,0	3,2	2,7	2,6	4,3	3,3
P/event (>10 mm)	mm	13,3	22,6	13,6	10,4	29,6	17,6
Maximal torrperiod	h	128	464	255	221	876	409

Tabell 4. Nederbördsstatistik för perioden 2085–2099.

Parameter	Enhet	ECHAM5			DC		
		min	max	medel	min	max	medel
P	mm	407	645	535	254	607	378
Standardavvikelse		0,148	0,229	0,194	0,212	0,405	0,295
Max P/30 min	mm	3,1	9,5	5,6	7,1	21,2	13,1
Tyngdpunkt	days	94	142	120	94	162	122
Våt fraktion	%	10,4	15,7	13,0	4,1	7,1	5,5
Antal 30 min perioder P > 3 mm		1	10	4,2	7	40	15,9
Antal 30 min perioder P > 5 mm		0	3	1,1	2	12	6,3
Antal regnevent (>0.5mm)		138	223	174	73	133	100
Antal regnevent (>10mm)		4	10	6,5	0	12	7,3
P/event (>0.5 mm)	mm	2,0	2,7	2,4	2,6	4,5	3,5
P/event (>10 mm)	mm	12,7	20,3	15,9	0	29,4	16,9
Maximal torrperiod	h	130	326	229	221	876	409

I tabell 5 finns medel, minimum och maximum av z_{com} för de olika jordtyperna och nederbördsindata presenterade. Man kan se att med ECHAM5 erhålls väldigt stora värden på z_{com} för perioden 1996–2010 i jämförelse med uppmätta data. Detta beror förstås på de mycket högre nederbördsvolymerna. Med indata från ERA blir z_{com} väldigt lika jämfört med värdena som fås med uppmätta indata. För Löddeköpinge underskattas z_{com} något medan det omvända gäller för Odarslöv. Detta trots att totala nederbördsvolymen för ERA var 23 % högre än de uppmätta data. Uppenbarligen gör de lägre maximala nederbördsintensiteterna och den högre våta fraktionen hos ERA att nedträngningsdjupet inte blir lika stort i förhållande till nederbördsvolymen för den sandiga jorden i Löddeköpinge medan det istället ger upphov till en djupare nedträngning i den mer finkor-

Tabell 5. Medel, max och mindjupet för masscentrum av föroreningsfronten, z_{com} för olika nederbördsindata och orter.

	OBS	ERA	E5	E5	DC	E5	DC
	1996–2010	1996–2010	1996–2010	2035–2049	2035–2049	2085–2099	2085–2099
Löddeköpinge							
mean	0,62	0,61	0,93	0,87	0,67	0,80	0,63
min	0,18	0,31	0,24	0,30	0,18	0,27	0,17
max	1,29	1,14	1,59	1,34	1,22	1,02	1,23
Odarslöv							
mean	0,31	0,34	0,54	0,49	0,33	0,41	0,32
min	0,15	0,19	0,18	0,18	0,17	0,22	0,16
max	0,66	0,64	0,96	0,71	0,64	0,57	0,66

niga jorden i Odarslöv. Dessa resultat stämmer väl överens med resultaten i Persson och Saifadeen (2013), som också fann att mängden korta intensiva regn var högre korrelerade till z_{com} i sandjordar i jämförelse med finkornigare jordar.

Med indata från ECHAM5 förutspås en minskning i z_{com} under det innevarande seklet. Detta torde främst bero på den ökande avdunstningen då nederbördsvolymer inte ändras så mycket. Med indata från DC metoden ökar z_{com} under perioden 2035–2049 för att sedan minska, dock till nivåer högre än dagens. Det är lite svårt att förklara de relativt stora skillnaderna, men en förklaring kan fås om regnstatistiken i tabell 2 och 4 studeras mer ingående. Om man jämför perioderna 1996–2010 och 2085–2099 för ECHAM5 ökar 5 av de tolv listade parametrarna medan 7 minskar, jämför man uppmätta data med DC från perioden 2085–2099 så ökar åtta, två är oförändrade och två minskar. I Persson och Saifadeen (2013) visas att samtliga tolv parametrar är positivt korrelerade till z_{com} .

Medel, minimum och maximum av $z_{0,2}$ för de olika jordtyperna och nederbördsindata presenteras i tabell 6. I stort sett samma mönster som för z_{com} kan också finnas hos $z_{0,2}$ för Löddeköpinge. För Odarslöv kommer dock de djupaste värdena på $z_{0,2}$ för ECHAM5 under perioden 2085–2099, inte under 2035–2049.

Resultaten ovan visar något av den stora svårigheten att uppskatta effekter av klimatförändringar på lokal föroreningstransport. Eftersom föroreningstransport är väldigt känslig både för den totala nederbördsvolymen och för hur nederbörden är fördelad över tiden gäller det välja en förväntad framtida nederbördsserie med omsorg. Metoden med DC är att föredra framför modeller som genererar areella nederbördsserier. Även om areella nederbördsserier kan skalas ner till allt mindre och mindre skala missar man i dessa de allra högsta nederbördsintensiteterna och längsta torrperioderna. Idén med DC

är att man utgår från en uppmätt nederbördsserie och behåller vissa statistiska egenskaper samtidigt som man antar att andra egenskaper ska förändras i enlighet med förändringen hos en klimatmodell. Ser vi på den DC metod som använts i denna artikel förväntar vi oss att de maximala nederbördsintensiteterna ska öka under seklet, men att längden på torrperioderna är oförändrade. I ECHAM5 förväntas dock torrperioderna att minska och detta tas inte hänsyn till fullt ut i DC modellen. Detta borde dock inte påverka resultatet så mycket eftersom torrperiodernas längd har en betydligt lägre inverkan på föroreningstransporten jämfört med maxintensiteterna (Persson och Saifadeen, 2013).

Man bör också understryka att den framtida antagna avdunstningen är en mycket osäker parameter bl.a. beroende på klimatmodellens hantering av potentiell avdunstning. I Sverige har studier indikerat öknings i intervallet 10–30 % runt år 2100 (Olsson m.fl., 2010). I vår studie valde vi att göra ett konservativt antagande för att inte underskatta framtida föroreningstransport. Med högre avdunstning hade föroreningstransporten varit lägre. I framtida studier bör simuleringar göras även med högre värden på framtida avdunstning.

4 Slutsatser

Vi studerade hur föroreningstransporten i den omättade zonen påverkas av olika typer av nederbördsdata. Syftet var att undersöka vilken typ av indata som bör användas för att uppskatta risker med föroreningstransport i ett framtida förändrat klimat. Resultaten i denna artikel visar att DC verkar ge mer realistiska värden på föroreningstransport i jämförelse med olika typer av areella data, även om de senare har den högsta rumsliga upplösningen som finns allmänt tillgänglig idag (12.5 km). Utveckling av ännu mer högupplösta modeller (2–4 km) pågår, som kan explicit beskriva konvektiv nederbörd. Förhoppningen är att dessa kommer att kunna reproducera punkt-nederbörd tillräckligt väl för att direkt användas i småskaliga effektstudier som denna, men det kommer att dröja åtskilliga år innan allmänt tillgängliga projektioner är framtagna.

Med nederbördsdata framtaget med DC metoden förutspås djupare föroreningstransport under mitten av innevarande sekel. Mot slutet av seklet kommer föroreningstransporten att återgå till nivåer liknande dagens, om än något djupare. Denna tendens till motsatta trender under seklet är kopplad till utvecklingen av den effektiva nederbörden, där först den ökande nederbörden dominerar fram till mitten av seklet och därefter den ökande avdunstningen. Även om resultaten förefaller totalt sett realistiska måste det understrykas att båda

Tabell 6. Medel, max och mindjupet för koncentrationer högre än 0,2 g/l, $z_{0,2}$, för olika nederbördsindata och orter.

	OBS	ERA	E5	E5	DC	E5	DC
	1996–2010	1996–2010	1996–2010	2035–2049	2035–2049	2085–2099	2085–2099
Löddeköpinge							
mean	1,48	1,53	1,76	1,72	1,56	1,69	1,49
min	0,73	0,93	0,80	1,08	0,85	0,78	0,70
max	2,25	2,15	2,50	2,23	2,23	2,08	2,25
Odarslöv							
mean	0,82	0,90	0,93	0,95	0,81	0,99	0,78
min	0,62	0,85	0,63	0,86	0,63	0,63	0,60
max	1,00	1,05	1,15	1,10	0,95	1,19	0,95

variablerna är osäkra, inklusive deras inbördes storleksordning. Fler klimatprojektioner krävs för att verifiera dessa resultat.

Man bör ha i åtanke att studien presenterad i denna artikel endast avser att undersöka skillnader i föroreningstransport för framtida nederbördsscenario för två orter i sydvästra Skåne. Skillnaderna mellan dagens och framtidens nederbörd just här reflekterar nödvändigtvis inte skillnaderna i övriga delar av Sverige. Därför kommer flera andra områden och andra jordtyper i Sverige att undersökas i framtida forskning.

Tack

Denna studie gjordes inom FORMAS-projektet HYDRO-IMPACTS2. Varma tack till Kean Foster och Lars Gidhagen för hjälp med hanteringen av klimatmodelldata.

Referenser

- Arheimer, B., Andréasson, J., Fogelberg, S., Johnsson, H., Pers, C.B., Persson, K. (2005) Climate change impact on water quality: model results from southern Sweden. *AMBIO*, 34, 559–566.
- Gladnyeva, R., Saifadeen, A. (2012) Effects of hysteresis and temporal variability in meteorological input data in modeling of solute transport in unsaturated soil using HYDRUS-1D. *Journal of Water Management and Research*, 68, 285–293.
- Jarvis, N.J. (2007) A review of non-equilibrium water flow and solute transport in soil macropores: principles, controlling factors and consequences for water quality. *Europ. J. Soil Sci.*, 58, 523–546.
- Kjellström, E., Barring, L., Gollvik, S., Hansson, U., Jones, C., Samuelsson, P., Rummukainen, M., Ullerstig, A., Willén, U., Wyser, K., 2005. A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3). *Reports Meteorology and Climatology*, No. 108, SMHI, Norrköping, 54 pp.
- Kjellström, E., Nikulin, G., Hansson, U., Strandberg, G., Ullerstig, A. (2011) 21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations, *Tellus*, 63A:24–40.
- Knapp, A.K., Beier, C., Briske, D.D., Classen, A.T., Luo, Y., Reichstein, M., Smith, M.D., Smith, S.D., Bell, J.E., Fay, P.A., Heisler, J.L., Leavitt, S.W., Sherry, R. Smith, B., Weng, E. (2008) Consequences of more extreme precipitation regimes for terrestrial ecosystems. *Bioscience*, 58, 811–821.
- Kool, J.B., Parker, J.C. (1987) Development and evaluation of closed-form expressions for hysteretic soil hydraulic properties. *Water Resour. Res.*, 23, 105–114.
- Lewan, E. Kreuger, J., Jarvis, N. (2009) Implications of precipitation patterns and antecedent soil water content for leaching of pesticides from arable land. *Agr. Water Man.*, 96, 1633–1640.
- Mohammadi, M.H., Vancloster, M. (2011) Analysis of flow rate dependency of solute transport in an undisturbed inceptisol. *Vadoze Zone J.*, 10, 394–402.
- Nikulin, G., Kjellström, E., Hansson, U., Strandberg, G., Ullerstig, A. (2011) Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations, *Tellus*, 63A:41–55.
- Olsson, J., Foster, K. (2013) Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige, SMHI Climatology No 6, SMHI, 601 76 Norrköping, 21 pp.
- Olsson, J., Dahné, J., German, J., Westergren, B., von Scherling, M., Kjellson, L., Ohls, F., Olsson, A. (2010) En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavlopssystem, SMHI Climatology No 3, SMHI, 601 76 Norrköping, 42 pp.
- Olsson, J., Gidhagen, L., Gamerith, V., Gruber, G., Hoppe, H., Kutschera, P. (2012) Downscaling of short-term precipitation from Regional Climate Models for sustainable urban planning, *Sustainability*, 4, 866–887.
- Olsson, J., Yang, W., Bosshard, T. (2013) Climate model precipitation in hydrological impact studies: limitations and possibilities, *Journal of Water Management and Research (VATTEN)*, 69, 221–230 (detta nummer).
- Persson, M., Saifadeen, A. (2013) Effects of hysteresis, rainfall dynamics, and temporal resolution of rainfall input data in solute transport modelling. *Hydrological Sciences Journal*, submitted.
- Radcliffe, D.E., Šimůnek, J. (2010) *Soil physics with HYDRUS modeling and applications*. CRC press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Roeckner, E., Bäuml, G., Bonaventura, L., Brokopf, R., Esch, M., Giorgetta, M., Hagemann, S., Kirchner, I., Kornblueh, L., Manzini, E., Rhodin, A., Schlese, U., Schulzweida, U. and Tompkins, A. (2003) The atmospheric general circulation model ECHAM5. PART I: Model description. Technical Report, Max Planck Institute for Meteorology, MPI-Report 349.
- Sharma, M.L., Taniguchi, M. (1991) Movement of a non-reactive solute tracer during steady and intermittent leaching. *J. Hydrol.*, 128, 323–334.
- Uppala, S. M., Kållberg, P. W., Simmons, A. J., Andrae, U., Bechtold, V. D. C., Fiorino, M., Gibson, J. K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G. A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R. P., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M. A., Beljaars, A. C. M., Berg, L. V. D., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., Hólm, E., Hoskins, B. J., Isaksen, I., Janssen, P. A. E. M., Jenne, R., McNally, A. P., Mahfouf, J.-F., Morcrette, J.-J., Rayner, N. A., Saunders, R. W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K. E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P., Woollen, J. (2005) The ERA-40 re-analysis. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 131: 2961–3012.

