

Naturlige avsetninger som rensedium.

Hvilke mekanismer gjør at tilstrekkelig oppholdstid i umettet sone utgjør 2 hygieniske barrierer?

Av Sylvi Gaut

Sylvi Gaut er forsker ved Norges geologiske undersøkelse

Innlegg på fagtreff i Norsk vannforening 10. november 2008

Sammendrag

Grunnvannet kan bli utsatt for ulike typer forurensning, det være seg kjemiske eller biologiske og forurensningskildene er mange. Akviferens sårbarhet er viktig for beskyttelsen av grunnvannet. Kartlegging av sårbarheten, det vil si den naturlige beskyttelsen, og potensielle forurensningskilder er derfor en viktig del av forundersøkelsene ved etablering og klausulering av nye grunnvannsbrønner og vannverk. De geologiske forholdene er bestemmende for akviferens sårbarhet. Spesielt viktig er mektigheten og sammensetningen av umettet sone i løsmassene da mesteparten av renseprosessene foregår i denne sonen. Tilgangen på

oksygen er stor og strømnings-hastigheten er mindre enn i mettet sone. Mange prosesser virker inn på forurensningene. Diffusjon og dispersjon fører til spredning, mens sorpsjon, nedbrytning og desimering er prosesser som hindrer, forsinker og fjerner forurensningene før de når grunnvannsspeilet. I tillegg er det helt nødvendig at brønnområdet og influensområdet beskyttes ved klausulering og arealrestriksjoner for å hindre forurensning og dermed kunne oppnå 2 uavhengige hygieniske barrierer.

Innledning

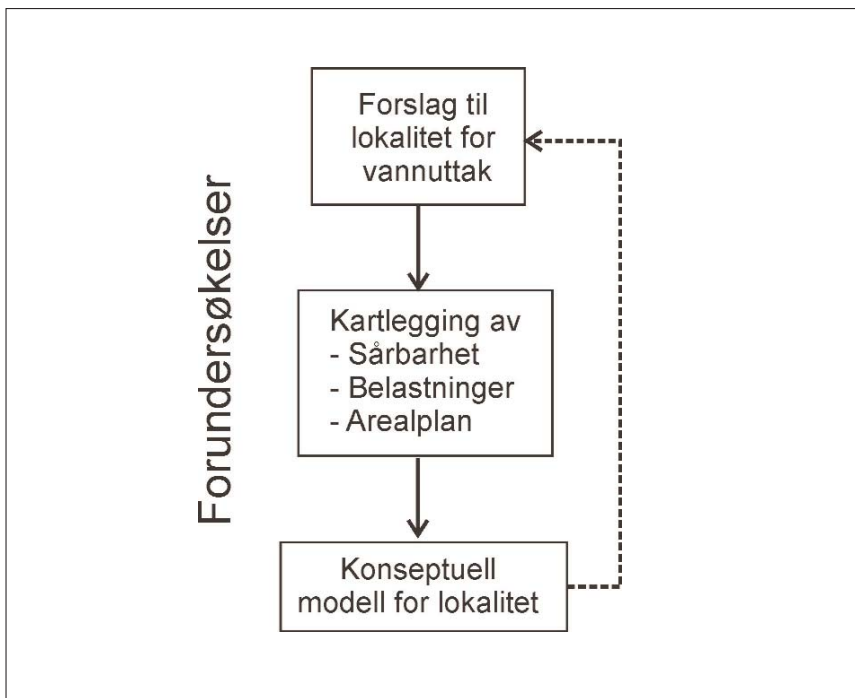
Grunnvannet er godt beskyttet fra naturens side, men nettopp derfor og fordi det er en skjult ressurs, er det lett å glemme at det, på lik linje med overflatevann, må beskyttes mot

forurensninger. Påvirkningen på grunnvannet fra potensielle forureningskilder vil være avhengig av arealbruken og omfanget av belastningen. En drikkevannskilde kan bli utsatt for både kjemisk og mikrobiologisk forurensning i form av både punktkilder og diffuse utslipp.

Eksempler på særlig alvorlige forurensende stoffer i grunnvann er mineralolje, kloakk, sprøytemidler, kunstgjødselstoffer og industrikjemikalier.

Det er i Drikkevannsforskriften (Helse- og omsorgsdepartementet 2001) krav om minst to uavhengige hygieniske barrierer mot mikro-orga-

nismer og andre forurensninger. Normalt skal minst én barriere bestå av desinfisering eller annen vannbehandling som fjerner, uskadeliggjør eller dreper smittestoffer. For godt beskyttet grunnvann, er det likevel mulig å knytte begge barrierene opp mot drikkevannskilden. Man benytter seg da av de naturlige renseprosessene som finner sted i grunnen kombinert med vannets oppholdstid i bakken før det når grunnvannsbrønnen. I tillegg er det nødvendig med arealrestriksjoner i blant annet brønnenes influensområde, for å hindre forurensningstilførsel.



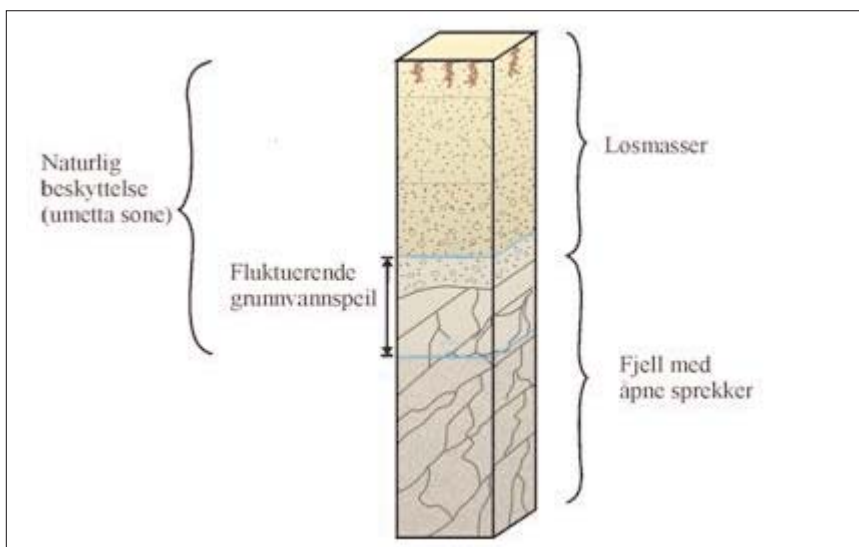
Figur 1. Figuren viser hva som bør inngå i forundersøkelsene ved nyetablering av brønner og grunnvannsverk med tanke på fremtidig klausulering.

Akviferens sårbarhet

Akviferens sårbarhet, det vil si graden av naturlig beskyttelse, er viktig med tanke på forurensningsfare og beskyttelse av grunnvannet. Kartlegging av sårbarhet er derfor en nødvendig del av forundersøkelsene ved etablering av nye brønner og grunnvannsverk med tanke på fremtidig klausulering (Figur 1). For hver av lokalitetene som vurderes, må man gjennom sammenstilling av eksisterende data vurdere akviferens sårbarhet, hvilke belastninger som finnes på området, hvilke arealkonflikter som kan oppstå og hvilke arealplaner som foreligger for området.

De geologiske forholdene er bestemmende for akviferens sårbarhet. Tilbakeholdelse av for eksem-

pel mikroorganismer og nedbrytning av forurensende stoffer skjer hovedsakelig i løsmasser og da i umettet sone der porerommene består av luft og vann. Dette gjør at det er god tilgang på oksygen og væsketransporten eller strømnings-hastigheten er generelt lav (Figur 2). Mektigheten av umettet sone vil variere avhengig av nedbørmengde og årstid. Dette fører til en bedre rensing i tørre perioder da umettet sone er størst. Renseeffekten er liten når vannet er kommet ned under grunnvannsspeilet eller strømmer i sprekker i fjellet. Forurensning vil kunne holdes tilbake i mer småskala sprekker, men vil ofte spyles ut ved neste store regnskyld (Malard et al. 1994).



Figur 2. Snitt gjennom løsmasser og ned i fjell. Øverst er umettet sone som gir god beskyttelse mot forurensning. Den umettede sonen vil variere i mektighet ettersom grunnvannsspeilet fluktuerer (beveger seg opp og ned) (Eckholdt & Snilsberg 1992).

Viktigheten av løsmassedekket ved sårbarhetskartlegging relatert til grunnvannsbeskyttelse ble påpekt av Verba & Zaporozec (1994). Sedi-mentenes kornstørrelse og pore-størrelse er viktige faktorer når det gjelder transport av vann og mikroorganismer i jord (Gerba & Keswick 1981, Robertson & Edberg 1997). Finkornige jordarter som leire og silt renses best. De trange porekanalene øker filtreringen og stadige sammenstøt mellom forureningspartiklene og mineral-kornene øker adsorpsjonsmulig-hetene. Tilgangen på fuktighet og organisk materiale fører til at mikroorganismene fester seg på mineraloverflaten. Økt organisk innhold fører til økt adsorpsjon av forurensning, men for stort organisk innhold kan virke negativt på vannkvaliteten da nedbrytning av det organiske stoffet forbruker oksygen. Mange mikroorganismer og forureningsstoffer har positivt ladete overflater. De vil derfor lett feste seg til leirpartikler som har negativt ladete overflater.

Jordarter med stort leirinnhold gir god beskyttelse av akviferen, men man skal være oppmerksom på at det kan oppstå tørkesprekker i svært tørre perioder. Dersom disse sprekkene går ned mot grunnvannsspeilet, kan akviferen derfor likevel bli forurenset. Andre former for kanalstrømning og foretrukne strømningsveier skjer i rotkanaler forårsaket av planterøtter.

Godt sortert sand danner gode akviferer, men er mindre egnet til å holde tilbake forurensning. For grunnvannsbeskyttelse er det derfor bedre med mer usortert materiale der små partikler fylles mellom de store slik at porerommene blir trangest mulig og strømningshastigheten lav. Grunnvannets strømningshastighet er ikke bare avhengig av kornstørrelsen men også gradienten (helningen) slik det er vist i tabell 1. I tabellen er strømningshastigheter for løsmasser med ulike kornstørrelser og typisk hydraulisk ledningsevne ved forskjellig effektiv porøsitet (n_e) og ved to ulike gradienter (i) beregnet. Tabellen viser at vann i fingrus beveger seg 60 m per døgn (m/d) når

Fraksjon	Hydraulisk ledningsevne (m/d)	n_e	Strømnings-hastighet (m/d) $i = 0,003$	Strømnings-hastighet (m/d) $i = 0,01$
Fin grus	6000	0,3	60	200
Grovsand	600	0,25	7,2	24
Mellomsand	60	0,20	0,9	3
Finsand	6	0,12	0,15	0,5

Tabell 1. Strømningshastigheter for løsmasser med ulike kornstørrelser og typisk hydraulisk ledningsevne ved forskjellig effektiv porøsitet (n_e) og ved to ulike gradienter (i) (Eckholdt & Snilsberg 1992). m/d = meter per døgn.

gradienten på grunnvannspeilet er 0,003. Økes gradienten til 0,01, beveger vannet seg 200 m/d. I mellomsand derimot vil bevegelsen ved laveste gradient være bare 0,9 m/d og ved høyeste gradient 3 m/d.

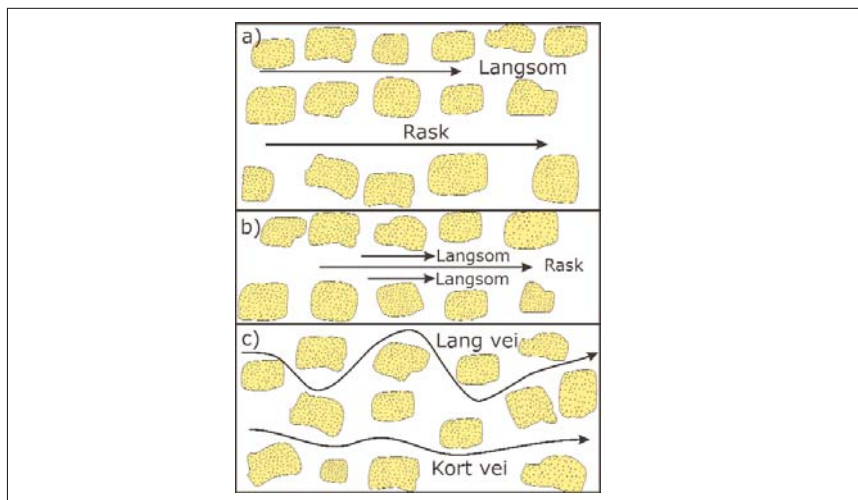
Naturlige prosesser og resemekanismer

Denne artikkelen tar i utgangspunktet for seg prosesser og mekanismer som beskytter grunnvannet mot forurensning. Det er likevel viktig å kjenne til spredningsmekanismene og de er derfor beskrevet først i avsnittet. Avsnittet som helhet, er delt i fire deler: 1) Prosesser som fører til spredning av forurensning, 2) prosesser som hindrer forurensning, 3) nedbrytning og 4) desimering.

Spredning av forurensning

Spredning av forurensning skjer hovedsakelig ved hjelp av adveksjon og hydrodynamisk dispersjon. Ved adveksjon skjer bevegelsen ved hjelp av vannets hovedstrøm. Det vil si at fremdriften styres av strømnings-hastigheten. Den igjen er avhengig av massenes hydrauliske ledningsevne og grunnvannets gradient som tidligere vist i tabell 1. Adveksjon er viktig for ikke-reaktive, også kalt konservative, stoffer som salt.

Hydrodynamisk dispersjon forårsakes av molekylær diffusjon og mekanisk dispersjon (blanding). Diffusjon forårsakes av konsentrasjonsgradienter og er en svært langsom prosess. Forskjellen i konsentrasjon mellom to områder



Figur 3. Inhomogeniteter i akvifermaterialer fører til spredning (1993). Friksjon mot mineraler fører til raskere strømningshastighet når a) pore størrelsen øker og b) i midten av hver enkelt kanal. c) I tillegg vil spredning oppstå fordi partikler følger strømningsveier med ulik lengde.

fører til transport mellom de to områdene for å skape likevekt, slik at det på sikt oppstår samme konsentrasjon begge plasser.

Mekanisk blanding skyldes inhomogeniteter i akvifermaterialiet som fører til hastighetsforskjeller. Friksjon langs mineralkorn og kanalvegger fører til at strømningshastigheten øker når porestørrelsen/sprekkevidden øker (Figur 3a). Tilsvarende vil hastigheten være størst i midten av hver enkelt kanal (Figur 3b). Spredning skjer også fordi forskjellige partikler beveger seg langs ulike strømningsveier, der noen er lange og noen korte (Figur 3c).

Hindring av forurensning

En forurensning kan holdes tilbake slik at den ikke når grunnvannet. Dette kan blant annet gjøres ved hjelp av filtrering. Enten ved hjelp av mekanisk filtrering fordi åpningene i filteret er så små at forurensningen ikke kommer igjennom eller ved biofiltrering. Ved biofiltrering benyttes mikroorganismer som danner en biofilm eller matte, som hindrer bevegelse av forurensning. Samtidig vil mikroorganismene som har dannet biofilmen, være med på å bryte ned forurensningen. Eksempler på bruk av biofiltrering er langsomsandfilter, kunstig infiltrasjon og elveinfiltrasjon.

Elveinfiltrasjon er vanlig ved mange norske vannverk. Brønnene etableres i løsmassene nær et vassdrag og på den måten kan brønnenes kapasitet økes ved at vann fra elva infiltreres i løsmassene. Gjennom infiltrasjonen vil elvevannet renses og

vannet som pumpes ut av brønnene vil være fritt for blant annet skadelige mikroorganismer. Ved plassering av brønnene må man være spesielt oppmerksom på hva som vil skje i en flomsituasjon. I mange elver vil bunnen og kantene i elveleiet være dekt av finstoff og biofilm. Det er trolig her mye av renseprosessen foregår når elvevannet infiltrerer i grunnen. Ved flom vil elvevannet stige og komme i kontakt med deler av elveleiet som hverken har finstoff eller en etablert biofilm. Derimot vil løsmassene ofte være mye grovere, og vann som infiltrerer i løsmassene vil ikke bli renses på samme måte. I tillegg vil det infiltrerte vannet kunne finne nye og raskere strømningsveier mot brønnene. Det er flere eksempler på vannverk som normalt har svært god vannkvalitet, men som i ekstreme flomsituasjoner opplever at vannet blir forurenset med fekal forurensning.

En viktig prosess for tilbakeholdelse av forurensning er sorpsjon på mineralkorn og sprekkelater. Sorpsjon er et samlebegrep for tre ulike prosesser: 1) adsorpsjon - der et stoff fester seg på en overflate, 2) absorpsjon - der et stoff innsluttes i et fast stoff og 3) ionebytte (Appelo & Postma 2005). Reaktive stoffer inkludert mikroorganismer, utsettes for sorpsjon. Prosessen styres av kjemiske, fysiske og elektrostatiske reaksjoner eller bindinger mellom stoff og jordpartikkel (Drever 1997). Sorpsjon er spesielt viktig i jordarter som inneholder leire, organisk materiale og oksider på grunn av deres ladede overflater og høye

spesifikke overflateareal (Brattli 2009).

Forurensning kan også sedimentere. Denne prosessen er styrt av gravitasjonen og vil gjelde partikler tyngre enn vann.

Nedbrytning

Nedbrytning av forurensning vil være avhengig av temperatur, tid og avstand fra forurensningskilden. Man skiller mellom to typer nedbrytning: 1) abiotisk som foregår uten mikroorganismer og 2) biologisk der mikroorganismer bryter ned forurensningen. Abiotisk nedbrytning foregår enten fotokjemisk eller kjemiske. Fotokjemisk nedbrytning er avhengig av sollys og foregår derfor i overflatevann og på jordoverflaten. Kjemisk nedbrytning omfatter reduksjons- og oksidasjonsreaksjoner og i noen tilfeller substitusjonsreaksjoner. Abiotisk nedbrytninger er lite effektiv og ofte dannes det stoffer som er farligere enn de som brytes ned (Kjeldsen & Christensen 1996).

Biologisk nedbrytning er omsetning av organisk materiale ved hjelp av organismer, blant annet nedbrytning av plantemateriale. Man kjenner til flere typer mikroorganismer som livnærer seg på det vi ser på som forurensninger, for eksempel drivstoffsøl og pesticider. Omsetningen kan skje både med og uten oksygen til stedet, avhengig av typen mikroorganismer. Nedbrytning av BTEX-forbindelser (Benzen, Toluen, Etylbenxen og Xylen) fra drivstoff er blant annet observert under sulfatreduserende (Edwards et al. 1992), metanogene (Wilson et al. 1986) og

jernreduserende forhold (Lovely et al. 1989, 1994).

Desimering

Tarmbakterier som havner ut i naturen, møter ugjestmilde forhold der naturlige jord- og vannbakterier er godt etablert. Disse mikroorganismene vil dermed utkonkurrere nykommerne fordi de vil ha en hurtigere vekst og lengre overlevelsessevne i næringsfattige omgivelser enn for eksempel *E. coli*. som er vant med mye næring og en langt høyere veksttemperatur (LeChevallier & McFeters 1985). I tillegg er det mange bakterier og sopp som produserer bakteriosiner. Dette er stoff som er skadelig for andre bakterier. De sykdomsfremkallende bakteriene vil også kunne bli spist av Ciliater og andre parasitter som beiter på biofilm.

Beskyttelse av drikkevannskilder

Et viktig tiltak for å beskytte drikkevannskilden og som er vesentlig for å oppnå to uavhengige hygieniske barrierer, er klausulering i form av arealrestriksjoner i områdene rundt brønnene. Det er ikke nok at man har god beskyttelse gjennom de prosesser som renser vannet gjennom løsmassene. Man må også hindre tilgangen på forurensning ved å ha forbud mot blant annet beitedyr og sprøyting med pesticider nær brønnene. Når tilgangen på fekal forurensning minsker, vil dette også kunne minske behovet for desinifisering.

Klausulering gjøres ved soneinndelte restriksjoner i brønnens influensområde. For borebrønner i løs-

masser er det vanlig å etablere fire soner basert på hydrogeologiske undersøkelser (Eckholdt & Snilsberg 1992). For borebrønner i fjell brukes det ofte tre soner og det anbefales å kombinere sårbarhetskartlegging og hygienisk vurdering av brønnområdet for å fastsette soneinndelingen. Både for løsmasser og fjell skal sonen nærmest brønnområdet gjerdes inn for å hindre direkte tilgang til brønnene. Det er viktig å merke seg at sonegrensene er basert på ett bestemt vannuttak. Dersom vannuttaket økes, må man derfor gjøre nye beregninger og vurderinger av hvor sonegrensene skal plasseres. Vannverk som har planer om utvidelse, bør derfor ta det med i beregningen når klausuleringen fastsettes første gang.

Det er under utarbeidelse en metode for lettere å kunne vurdere hvor vidt en grunnvannskilde utgjør en eller to uavhengige hygieniske barrierer (Gaut In prep). Metoden bygger på det samme kriteriesettet som er utarbeidet for overflatevannskilder (Hem et al. 2008).

Referanser

Appelo, C.A.J. & Postma, D., 2005: *Geochemistry, groundwater and pollution*. 2nd edition, Balkema, 649 s.

Brattli, B., 2009: *Fysisk og kjemisk hydrogeologi*. 3rd edition, Norges teknisk-naturvitenskapelig universitet, 233 s.

Drever, J.I., 1997: *The geochemistry of natural waters. Surface and groundwater environments*. 3rd edition, Prentice-Hall, Inc., 436 s.

Eckholdt, E. & Snilsberg, P., 1992: *Grunnvann. Beskyttelse av drikkevannskilder*. GiN-veileder nr. 7. NGU Skrifter, 105, 24s.

Edwards, E.A., Wills, L.E., Reinhard, M. & Grbic-Galic, D., 1992: *Anaerobic degradation of toluene and xylene by aquifer microorganisms under sulfate-reducing conditions*. *Applied and Environmental Microbiology*, 58, 794-800.

Fetter, C.W., 1993: *Contaminant hydrogeology*. Macmillan Publishing Company, 458 s.

Gaut, S., In prep: *Vurdering av grunnvannskilden som hygienisk barriere*. NGU rapport 2008.060, Norges geologiske undersøkelse.

Gerba, C.P. & Keswick, B.H., 1981: *Survival and transport of enteric viruses and bacteria in groundwater*. In: van Duijvenbooden, W. et al. (eds.). *Quality of Groundwater, Proceedings of an International Symposium, 23-27 March 1981, Noordwijkerhout, The Netherlands*. *Studies in Environmental Science*, Elsevier Scientific Publishing Company, 511-515.

Helse- og omsorgsdepartementet, 2001: *Forskrift 4. desember 2001 nr 1372 om vannforsyning og drikkevann (Drikkevannsforskriften)*. <http://www.lovdata.no/for/sf/ho/ho-20011204-1372.html>

Hem, L., Eikebrokk, B., Røstum, J., Wideborg, M. & Østerhus, S.W.,

- 2008: Vannkilden som hygienisk barriere. Norsk Vann rapport B10-2008, Norsk Vann
- Kjeldsen, P. & Christensen, T.H., 1996: Kemiske stoffers opførsel i jord og grundvand: Bind 1 og 2. Prosjekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen Nr. 20, Miljø- og Energiministeriet Miljøstyrelsen, 512 s.
- LeChevallier, M.W. & McFeters, G.A., 1985: Interactions between heterotrophic plate count bacteria and coliform organisms. *Applied and Environmental Microbiology*, 49(5), 1338-1341.
- Lovely, D.R., Woodward, J.C. & Chapelle, F.H., 1994: Stimulated anoxic biodegradation of aromatic hydrocarbons using Fe(III) ligands. *Nature*, 370, 128-131.
- Lovely, D.R., Baedeker, M., Lonergan, D.J., Cozzarelli, I.M., Phillips, E.J.P. & Siegel, D.I., 1989: Oxidation of aromatic contaminants coupled to microbial iron reduction. *Nature*, 339, 297-300.
- Malard, F., Reygrobelle, J. & Soulié, M., 1994: Transport and retention of fecal bacteria at sewage-polluted fractured rock sites. *J. Environ. Qual.*, 23, 1352-1363.
- Robertson, J.B. & Edberg, S.C., 1997: Natural protection of spring and well drinking water against surface microbial contamination. I. Hydrogeological Parameters. *Critical Reviews in Microbiology*, 23(2), 143-178.
- Verba, J. & Zaporozec, A. (eds.), 1994: Guidebook on mapping groundwater vulnerability. *International Contributions to Hydrogeology*, Vol 6, Heise, 131 s.
- Wilson, B.H., Smith, G.B. & Rees, J.F., 1986: Biotransformations of selected alkylbenzenes and halogenated aliphatic hydrocarbons in methanogenic aquifer material: A microcosm study. *Environmental Science and Technology*, 20(10), 997-1002.