

PCB – den farlige nykommeren i overvann

Av Marianne Brænden og Sveinn T. Thorolfsson

Marianne Brænden er masterstudent ved Institutt for Vann- og Miljøteknikk, NTNU. Sveinn T. Thorolfsson, Institutt for Vann- og Miljøteknikk, NTNU er hennes veileder.

Summary

"PCB – the dangerous newcomer in stormwater." Polychlorinated biphenyls (PCBs) are considered one of the world's most severe environmental problems due to their toxicity and resistant to degradation, hence bioaccumulating in the environment. Many harbors and fjords in Norway are heavily polluted with PCBs, leaking from local sources, such as building materials and paints, dumping of snow, leachate and spreading by surface water from contaminated soil or impermeable surfaces. Over thirty fjords have worrying high PCB levels, resulting in dietary restrictions.

The most in depth studies of PCB in Norway have been performed in Bergen. The marine sediment in Bergen is heavily polluted by PCBs. Studies conducted in recent years show that the spread of PCB in Norway is no longer, as previously assumed, mainly spread by long-range air current transport, but also by stormwater. Stormwater from heavy rainfall drag along old PCB-containing paint from houses and the out-dated CSO (combi-

ned sewage system) in Bergen and the under-sized sand traps are flooded more than 30 % of the time, leaking PCB directly to the marine environment. Urbanization and climate change will further increase water levels and lead to emissions of PCBs and distribution of surface water in a bigger extend. Sand traps and part of the surface water sent to wastewater treatment plants have been the only form of treatment of surface water in Bergen. Neither treats the stormwater for PCBs sufficiently. PCBs bind easiest to small particles because of large surface area, and sand traps is not particularly suitable for sedimentation of small particles due to high water velocity and vorticity of fine materials. By using local, more sustainable blue-green solutions treatment of stormwater and removal of PCBs may probably be achieved. Several of these SUDS-solutions (Sustainable Urban Drainage Systems) have shown very good particle cleaning efficiency. Research on the removal of PCBs in surface water is necessary.

Sammendrag

Polyklorerte bifenyler (PCB) regnes som et av verdens største miljøproblemer da de er svært giftige, bioakkumulerende og motstandsdyktige mot nedbrytning. Mange havner og fjorder i Norge er sterkt forurenset av PCB. PCB lekker fra lokale kilder som bygningsmaterialer og maling, bunnstoffer fra skip, dumping av snø, sigevann og spres med overvann fra forurenset jordsmonn eller over tette flater. Over tretti fjorder har bekymringsverdige høye PCB-nivåer, som har ført til kostholdsrestriksjoner.

De grundigste studiene om PCB har blitt utført i Bergen. Det marine sedimentet i Bergen er sterkt forurenset av PCB. Studier utført de siste årene viser at spredningen av PCB i Norge ikke lenger i hovedsak skjer ved langtransport av vindstrømmer, som tidligere antatt, men med overvannet (Jartun et al., 2005; Alston, 2011). PCB har derfor blitt en nykommer for VA-bransjen. Det virker som det er generelt lite kunnskap om miljøgiften PCB i VA-miljøet, og denne artikkelen er ment som et kort innblikk i PCB-problematikken i Norge.

For den delen av overvann som ikke sendes til avløpsrenseanlegg, har sandfang vært eneste form for rensing av overvann i Bergen. Verken avløpsrensing eller sandfangene i Bergen renser overvannet tilstrekkelig for PCB. PCB binder seg lettest til små partikler på grunn av

stor overflatevolum, og sandfang egner seg i liten grad for sedimentasjon av små partikler som følge av høy vannføring og oppvirvling av finstoff. Ved å benytte lokale, mer bærekraftige blågrønne løsninger kan bedre rensing av overvann og PCB trolig oppnås. Flere av disse LOD-løsningene har vist særdeles god partikkelrenseeffekt. Forskning på fjerning av PCB i overvann er nødvendig.

Introduksjon

Motivasjonen for å skrive denne artikkelen er å sette nytt fokus på miljøgiften PCB, da studier de siste årene viser at spredningen av PCB i Norge ikke lenger i hovedsak skjer ved langtransport av vindstrømmer, som tidligere antatt, men med overvannet (Jartun et al., 2005; Alston, 2011). PCB har derfor blitt en nykommer for VA-bransjen. Det virker som det er generelt lite kunnskap om miljøgiften PCB i VA-miljøet, og denne artikkelen er ment som et kort innblikk i PCB-problematikken i Norge.

Polyklorerte bifenyler (PCB) er en gruppe antropogene forbindelser som er svært giftige, persistente og bioakkumulerende (BEST, 2001). PCB grupperes som en POP (Persistent Organic Pollutants) og regnes dermed som en av verdens giftigste kjemikalier (UNCE, 1998). PCB ble utviklet på 20-tallet i USA og brukt i en rekke produkter inntil bruken av PCB ble forbudt ved lov i Norge i 1980 (NOU, 2010). Til tross for forbudet, er PCB fortsatt et globalt forurensningsproblem som stadig akkumuleres i næringskjeden (Ulbrich & Stahlmann, 2004; Rice, 1995). Egenskapene som

gjorde PCB ideell for industrien er, paradoksalt nok, de samme som gjør PCB motstandsdyktig mot nedbrytning og grunnen til de toksiske effektene i miljøet (Schantz, 1996). Resultatet er at dyr og mennesker vil bli eksponert for PCB i flere generasjoner fremover.

Kjemiske egenskaper

PCB er klare, viskøse væsker med en oljeliknende konsistens med klar til svak gulaktig farge og uten lukt eller smak (Faroon & Olson, 2000). Strukturelt er PCB-molekylet karakterisert av to fenylringer (bifenyl), med et varierende antall kloratomer (polyklorete) (Faroon & Olson, 2000). Antall og plassering av kloratomene gir en total av 209 mulige strukturer, såkalte kongenerer (Smith & Gangolli, 2002). Kommersielt finnes kongenerne hovedsakelig i blandinger (Ruus et al, 2009). PCB som har lekket ut i naturen stammer i hovedsak fra disse kommersielt produserte blandingene, men persistensen av kongenerne varierer, med de høyere klorete PCB-kongenerne som de minst vannløselige (Giesy et al., 1998), og de mest biologisk stabile (Roegge et al., 2000).

PCB binder seg i stor grad til partikler. Ofte antas det at de høyeste PCB-konsentrasjonene vil være adsorbent på de fineste partiklene, da de fleste forurensninger binder seg lettere til små partikler på grunn av stort overflatevolum (Marsalek, 2011). Litteratur om fordelingen av PCB på ulike kornstørrelser er svært begrenset. De få studiene som har blitt gjort har gitt ulike resultat. Jartun et al. (2005) fant at de høyeste PCB-kon-

sentrasjonene, hvor antatt kilde var maling og bygningsmaterialer, forekom på relativt grove kornstørrelser ($> 250 \mu\text{m}$). Schorer (1997) fant ingen korrelasjon mellom PCB-konsentrasjoner og partikkelstørrelse, men korrelasjon med organisk materiale i sedimentet.

PCB er tungt oppløselig i vann og lipofile, og konsentreres derfor i organismers fettvev (Faroon & Olson, 2000). PCB vil vandre gjennom næringskjeden, da kjemikaliet lagres i fettvev og byttedyrenes konsentrasjon av PCB vil da oppkonsentreres i rovdycet, såkalt biomagnifikasjon (Faroon et al., 2003). Rovdyrenes lange levetid kombinert med inntak av animalsk fett kan gi svært store oppkonsentrasjoner av PCB. Over 90 % av eksponeringen for PCB skjer gjennom kosten (Faroon & Olson, 2000), og forurenset fisk er den viktigste kilden (Klif, 2010). Eksponering for PCB kan også skje gjennom vann, inhalering og via huden (Faroon & Olson, 2000). Det meste av PCB vi utsettes for er imidlertid i så lave doser at menneskekroppen er i stand til å bryte det ned (Faroon et al., 2003).

Toksitet

PCB kan føre til helseskader hos mennesker og dyr som svekkelse av immun- og nervesystem, forplantningsevne og stoffskifte. PCB øker også risikoen for å utvikle kreft, spesielt tykktarmskreft. Denne typen kreft er den nest mest dødelige krefttypen i industrialiserte land og den tredje vanligste krefttypen hos mennesker (Faroon et al., 2003). PCB er lipofile og lagres i fettvev, så det er høyere

nivåer av PCB i melk enn i blod (Rice, 1997). Morsmelk er en utskillelsesvei for moren, men samtidig en eksponeringsrute for barnet (Inoue et al., 2006). Dette kan føre til en rekke spedbarnskader og økt fare for å utvikle lærevansker, nedsatt utviklingsevne og hjerneutvikling og ADHD (NOU, 2010; Faroon et al., 2003).

Kilder til PCB

PCB har blant annet blitt brukt i elektrisk utstyr som transformatorer og kondensatorer, og i bygningsmaterialer som maling, mørteltilsetning, i isolerglasslim og fugemasse (NOU, 2010).

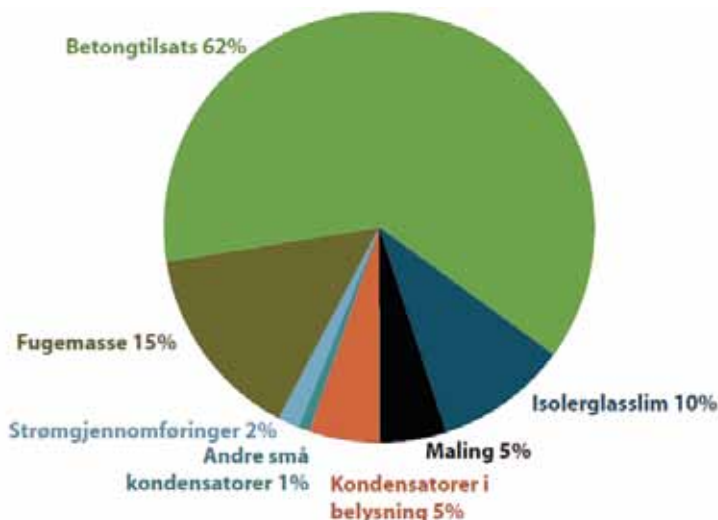
Beregnet totalmengde PCB i Norge var i 1980 på 1307 tonn, og gjenværende mengde på ca. 150 tonn PCB i produkter og bygninger ved utgangen av 2008 (Klif, 2009). I jordsmonn og sedimenter anslås det at det finnes omtrent 70 tonn PCB, hvorav det lekker ut 20 kg PCB per år (Klif, 2009).

PCB i Bergen

Norge er spesielt utsatt for PCB på grunn av den tidligere utstrakte bruken i produkter, industri og skipsverft, samt vår nordlige beliggenhet (NOU, 2010). De lette, lavklorerte PCB-kongenerne kondenserer i varmt klima i andre land, og transporteres med vindstrømmer, før de avsettes i kjølig klima (Klif, 2010). Nesten hver by og fjord i Norge har forhøyede verdier av PCB-konsentrasjoner i jordsmonn og marine sedimenter (SFT, 2007; Jartun et al., 2005).

Forurensede sedimenter

I Bergen er de marine sedimentene sterkt forurensede av PCB (Kryvi et al., 2005), tilsvarende tiltaksklasse IV og V (Tabell 1). Figur 2 og 3 viser tilstanden til de marine sedimenter i to områder av Bergen havn basert på konsentrasjonen av PCB (tilpasset fra Kryvi et al., 2005; Jartun, 2008). Fargene representerer de forskjel-



Figur 1. Gjenværende PCB i bygg og anlegg ved utgangen av 2008 (Klif, 2009).

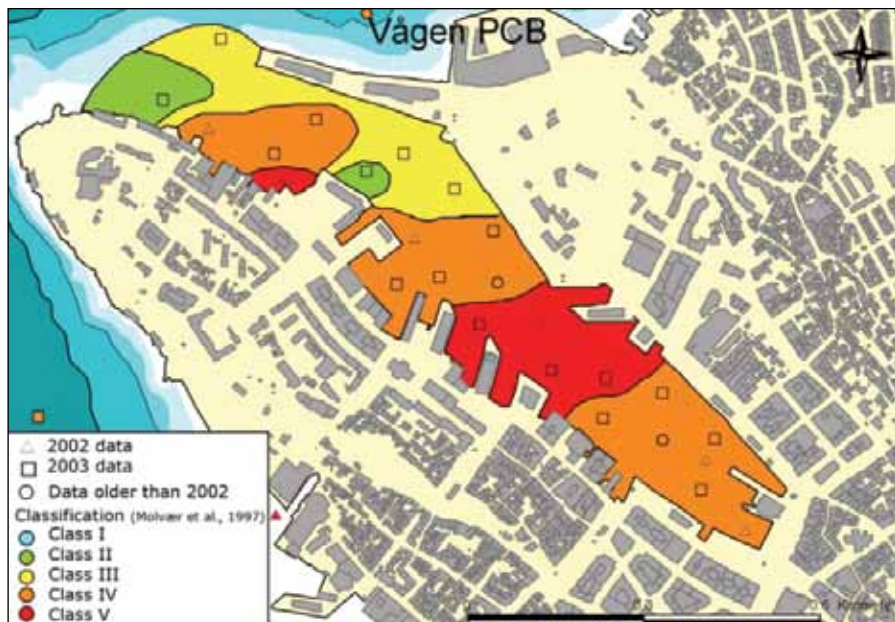
lige tilstandsklassene av forurensning presentert i tabell 1 (SFT, 2007).

Konsentrasjoner av PCB innenfor det

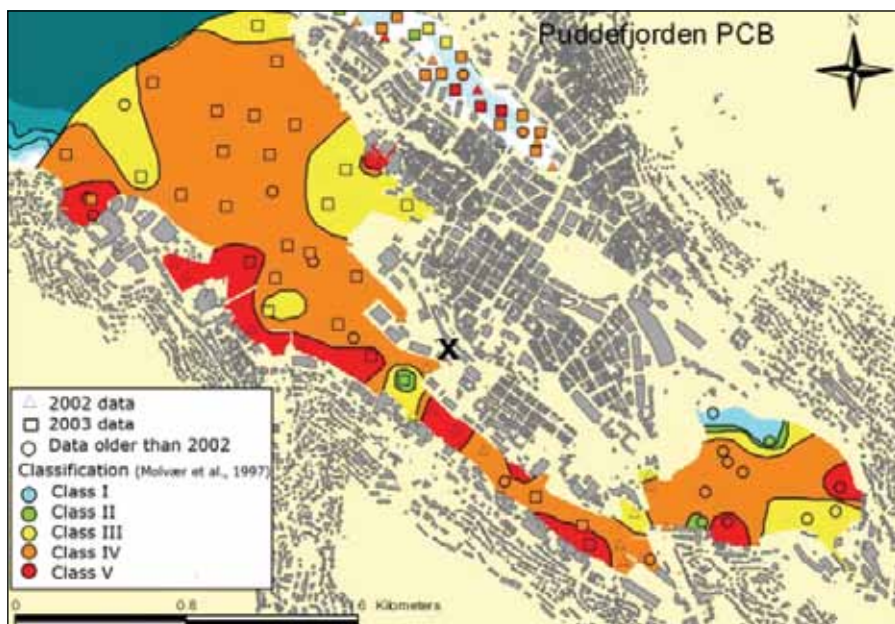
oransje og røde området forventes å gi omfattende skadevirkninger, også ved korttidseksposering (SFT, 2007).

		Environmental classification				
		I	II	III	IV	V
Parameters	Units	Insignificantly polluted	Moderately polluted	Markedly polluted	Strongly polluted	Very strongly polluted
Arsenic (As)	(mg/kg)	<20	20 - 80	80 - 400	400 - 1000	>1000
Cadmium (Cd)	(mg/kg)	<0,25	0,25 - 1	1 - 5	5 - 10	>10
Chromium (Cr)	(mg/kg)	<70	70 - 300	300 - 1500	1500 - 5000	>5000
Copper (Cu)	(mg/kg)	<35	35 - 150	150 - 700	700 - 1500	>1500
Mercury (Hg)	(mg/kg)	<0,15	0,15 - 0,6	0,6 - 3	3 - 5	>5
Nickel (Ni)	(mg/kg)	<30	30 - 130	130 - 600	600 - 1500	>1500
Lead (Pb)	(mg/kg)	<30	30 - 120	120 - 600	600 - 1500	>1500
Zink (Zn)	(mg/kg)	<150	150 - 700	700 - 3000	3000 - 10000	>10000
PCB ₇	(µg/kg)	<5	5 - 25	25 - 100	100 - 300	>300
PAH ₁₆	(µg/kg)*	<300	300 - 2000	2000 - 6000	6000 - 20000	>20000
B(a)P	(µg/kg)	<10	10-50	50-200	200-500	>500
TBT	(µg/kg)	<1	1 - 5	5 - 20	20 - 100	>100

Tabell 1. Miljøklassifisering av norske marine sedimenter basert på innholdet av utvalgte forurensninger (Molvær et al., 1997; Jartun, 2008).



Figur 2. Tilstand av de marine sedimenter på grunn av PCB i Vågen, Bergen havn (Kryvi et al., 2005).



Figur 3. Tilstand av de marine sedimenter på grunn av PCB i Pudderfjorden, Bergen havn (Kryvi et al., 2005).

Nåværende viktigste kilder

Det har blitt påvist PCB i over 90 % av sandfangene i bykjernen i Bergen (Jartun et al., 2005; Alston, 2011). Kildene til PCB må være vanlige og med stor utbredelse i bymiljøet (Jartun et al., 2005). De nåværende aktive landkildene er sannsynligvis maling og murpuss (Andersson et al., 2002; Andersson et al., 2004; Jartun et al., 2009), samt forurenset jordsmonn (Ottesen & Volden, 1999; Andersson et al., 2004).

Malingen som, i seg selv, inneholder 5 % av gjenværende PCB i eksisterende bygningsmasser (Klif, 2009), utgjør ikke alene et stort forurensningsvolum. Store overflateareal og at de ytre veggene eksponeres for kontinuerlig forvitring og ekstremvær, spesielt i områder med kraftig

nedbør og vekslende temperatur, gjør at gammel, avflakende maling er hovedkilde til utlekking av PCB i Bergen (Jartun et al., 2008). Ved rehabilitering og riving av bygninger og sandblåsing kan PCB som er bundet i partikulær form til malingsflakene, frigjøres (Jartun & Volden, 2007), og føre til ytterligere forurensning av det marine sediment. Et eksempel der maling kan være hovedkilde til lokale utslipp av PCB, er Pudderfjordsbroen i Bergen, som har vært dekket med PCBholdig maling inntil den ble sandblåst på midten av 80-tallet. Bidraget til omgivelsene fra denne strukturen alene kan i verste fall ha vært så mye som 1000 kg PCB (Jartun et al., 2008). Konsentrasjoner langt innenfor tilstandsklasse V har blitt påvist under broen over 25 år senere

(Kryvi et al., 2005). Et annet eksempel er en skole i Bergen med PCB-holdig maling, som alene kan lekke over 19 kg PCB til omgivelsene. Noen av malingsprøvene hadde verdier opp til 3390 mg/kg (Jartun et al., 2008). Denne verdien må ses i sammenheng med at verdier $> 1,9$ mg/kg klassifiseres som tilstandsklasse V, altså meget sterkt forurensset (Molvær et al., 1997). Det har også blitt funnet høye konsentrasjoner av PCB i torsk og blåskjell i Sørfjorden, der forurensningskil- den viste seg å være fjerning av gammel maling fra fasaden på en nedlagt strøm- stasjon (Ruus et al., 2006). Gjenbruk av PCB-holdige produkter kan også være viktige lokale kilder, med til dels svært høye PCB-konsentrasjoner i for eksem- pel lekematter av gummigranulat (Otte- sen, 2011).

Spredning av PCB med overvann

Sandfangsundersøkelser viser at miljø- gifter blir spredt over tette flater (Jartun et al., 2005; Alston, 2011), med de høy- este konsentrasjonene av PCB nærmest sjøkanten, der topografien flater ut (Als- ton, 2011). Det har ikke blitt funnet PCB i nedbør (Jartun & Volden, 2007) eller luft (Aas et al., 2006), som tidligere har vært de antatte viktigste sprednings- veiene for PCB (Klif, 2009). De høye konsentrasjonene av PCB i marine sedi- menter og jordsmonn (Kryvi et al., 2005; Molvær et al., 1997; Jartun et al., 2005) samt studier som viser at konsentrasjonene øker langs de naturlige flomveiene (Alston, 2011), gjør det naturlig å trekke konclu- sjonen at PCB spres med overvann.

Et overvannssystem er dimensjonert for visse vannmengder. Når vannmeng- dene overstiger denne kapasiteten går systemet i overløp og slipper overvann direkte ut i resipientene (Lindholm 2004). Overvannssystemet i Bergen oversvøm- mes 30 % av tiden (Jartun et al., 2008). Urbanisering og økt andel tette flater og klimaendringer fører til ytterligere og hyppigere oversvømmelser av over- vannssystemer (Thorolfsson, 2010). Ned- bør drar med seg PCB-holdig maling i overvann over tette flater (Jartun et al., 2008), og de underdimensjonerte over- vannsystemene og sandfangene i Bergen, fører til direkte utlekking av PCB fra landkilder til det marine sediment.

Fra grått til blågrønt

Renseeffekten for PCB i avløpsrensean- legg er liten. I den grad PCB renses i et renseanlegg, er som en tilleggseffekt ved at partikler med adsorbert PCB fjernes (Lindholm, 2004). Det har i flere tiår vært stor fokus på fjerning av fosfor og nitrogen, mens tungmetaller og miljø- gifter transporteres i stor grad rett gjen- nom avløpsrenseanlegget (Lofrano & Brown, 2010). Ved lokal overvannsdis- ponering, LOD, håndteres og behandles vannet lokalt. Slike løsninger har i stor grad vist høy tilbakeholdelse av partikler og høy rensegrad av partikulært materiale (Davis et al., 2009), og da PCB i stor grad er partikulært bundet, kan LOD være en mulig rensemetode for PCB i overvann.

Klimaendringer fører til økt nedbør- mengde og mer intense nedbørsperioder, som igjen fører til høyere flomtopper og så mye som 50 % økt overvannsmengde

(Lindholm, 2004). Urbanisering og gjen-tetting av flater kan føre til en ytterligere økning av overvannsmengde og assosiert forurensning (Thorolfsson, 2010). Konvensjonell håndtering av overvann har vist seg verken å være særlig bærekraftig, eller tilpasset norsk klima, og hvert år registreres det betydelig mengder over-løpputsipp, urbane flommer, oversvøm-melser, erosjon, senkning av grunn-vannstand og spredning av forurensning. For å imøtekomme dagens og fremtidens utfordringer har man i stadig større grad begynt å ta i bruk metoder for over-vannshåndtering der vannet håndteres og behandles lokalt. Med en slik håndte-ring vil vannet forbli i området og man ivaretar, i større grad, det naturlige hydro-logiske kretsløpet – man beveger seg fra grått til blågrønt.

Masteroppgaven

Masteroppgaven utføres ved Institutt for Vann- og Miljøteknikk, NTNU, høsten 2011.

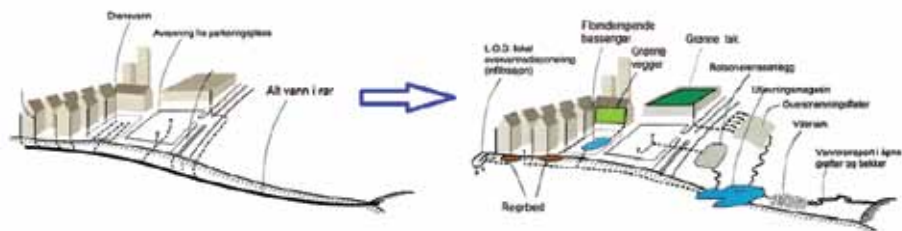
Den er gitt tittelen *Removal of PCBs, Particulates and Suspended solids from Stormwater using Bioretention* (Fjerning av PCB, Partikulært materiale og Sus-pendert stoff fra Overvann ved bruk av

Regnbed). Veileder er Sveinn T. Tho-rolfsson og Kim A. Paus, IVM, NTNU.

Bakgrunn

Partikulært bundet PCB spres med over-vann og kan på grunn av underdimen-sjonerte overvannsystemer og sandfang føres direkte ut i resipienter. Lokal over-vannshåndtering kan, avhengig av valgt metode, dimensjonering og klima, ha god renseeffekt for partikulært materiale, herunder PCB (Jartun et al., 2008; Tho-rolfsson, 2010; Davis et al., 2009). Et regnbed er en LOD-løsning og er et kon-struert vegetativt bed som separerer par-tikler, næringsstoffer, organiske miljø-gifter og tungmetaller fra overvannet gjennom prosesser som sedimentasjon, filtrasjon, sorpsjon og biologisk opptak.

Ca. 80 % av forurensningene fra over-vann i urbane områder foreligger i parti-kulær form (Krumgalz et al., 1992). For at rensing av overvann skal være tilstrek-kelig må overvannsrenseløsningen ha høy renseeffekt for partikler. På grunn av begrensede studier antas det at forurens-ninger og PCB i overvann lettere binder seg til små partikler på grunn av stort overflatevolum (Marsalek, 2011). Kunn-skap om hvilke partikkelstørrelser som



Figur 4. Fra grått (rørsystemer) til blågrønt (lokal overvannshåndtering, LOD) Kilde: Norsk Vann, rapport 162/2008 (Lindholm et al., 2008); omarbeidet av Paus (2011).

holdes tilbake og hvilke som blir videreført, enten gjennom overløp eller gjennom filtrering, er viktig for å bedømme regnbedets evne til å fjerne partikler, og dermed også mikroforurensninger som PCB.

Metode

Bestemmer kornfordeling, eller partikkelstørrelsedistribusjon (PSD), basert på laserdiffraksjon. Suspendert materiale, TSS (total suspendert stoff) er finstoff med diameter $< 250\mu\text{m}$ og holdes svevende av strømninger og turbulens i vann. I laboratoriet blir TSS bestemt ved nøyaktig veiing av vakuumfiltrerte vannprøver før og etter tørking.

Problemstilling

Hovedmålet med masteroppgaven er å studere regnbedets partikkelrensegrad, også i forhold til partikkelstørrelsefordeling (PSD). Ut i fra resultatene og litteratur om PCB, skal jeg evaluere i hvilken grad regnbed er en egnet metode til å kontrollere spredning av PCB i overvann. Et annet mål med masteroppgaven er å bidra til å spre kunnskap om, og sette nytt fokus på PCB-problematikken i Norge.

Foredrag

Foredrag om PCB og bakgrunn for masteroppgaven har blitt presentert på seminarer som "New solutions to stormwater systems", "Urbanhydrologi", "Grønne muligheter 3" og i hovedfagskurset TVM4126 – Water and Wastewater advanced course.

Poster

Presentasjon av poster på fagmøte for "Grønne muligheter 3" i regi av NAML (*Norske Anleggsgartnere – Miljø og Landskapsentreprenører*) 25.10.2011 i Oslo, og på fagmøte i "Urbanhydrologi" 29.09.2011. Den ble belønnet med NHR-pris for beste studentposterpresentasjon.

Oppgaven leveres i desember 2011.

Konklusjon

Norge har et PCB-problem, med forhøyede konsentrasjoner i de fleste byer og havner. Dialog med enkelte kommuner samsvarer ikke alltid med fagrapporter og dialog med fagpersoner angående forurensning, spesielt i forhold til PCB. Det kan virke som at kommunene viker unna PCB-problematikken. Dette kan være fordi det ikke finnes gode løsninger for hvordan man kan fjerne kildene, rydde opp forurenset jordsmonn og marint sediment, eller stoppe utlekking av PCB og spredning med overvann. Det finnes få, eller ingen, studier om lokale kilder og spredning av PCB i de fleste norske byer og fjorder i Norge.

PCBs toksiske effekter er veldokumentert, men litteratur om hvordan PCB brytes ned og hvordan man kan fjerne og destruere PCB fra overvann, jordsmonn og marine sedimenter, er begrenset. Avløpsrensaneanlegg renser PCB fra overvann i liten grad. Ved å benytte en lokal og mer bærekraftig løsning kan bedrensing av overvann og PCB trolig oppnås. Regnbed vil sannsynligvis fjerne PCB, da forbindelsene er partikulært bundet, og partikler med adsorbert PCB vil sedimentere i de stillestående vann-

massene i regnbedet for så å fanges opp i porevolumet i jordsmonnet ved infiltrasjon og biologisk filtrering. Noe PCB, spesielt de lavklorerte PCB-forbindelsene vil trolig brytes ned ved aerob og anaerob biologisk nedbrytning i jordsmonnet. Gjennom å studere partikkelrensegraden i forskningsregnbedet på Risvollan i Trondheim, vil erfaringsgrunnlaget styrkes og designkriterier for regnbed kan videreutvikles. Ut i fra resultatene og litteratur om PCB skal jeg evaluere i hvilken grad regnbed er en egnet metode for å kontrollere spredning og fjerning av PCB i overvann. Det er for øvrig nødvendig å merke seg at noen PCB kongenerer i overvann langsomt degraderes og vil akkumuleres, og at overvannsløsningen i seg selv kan utgjøre en punktforurensing av PCB. Dette krever flere studier.

Det er viktig at VA-miljøet fokuserer på PCB og samarbeider med geologer, kommuner og andre for å nå målet om å stoppe utlekking av PCB til miljøet innen 2020. Forskning på fjerning av PCB i overvann er nødvendig.

Litteratur

Aas, W., Solberg, S., Berg, T., Mano, S. and Yttri, K.E., 2006. Overvaking av langtransportert forurenset luft og nedbor. Atmosfærisk tilførsel 2005 (*Monitoring of long-range transported air pollutants, Annual report for 2005*). Norwegian Air Research Institute, NILU OR 36/2006, Kjeller.

Alston, J.F. 2011. *Identification of PCB-Sources and Evaluation of the Risk of Spreading in*

Puddefjorden, Bergen. Masteroppgave, NTNU, Trondheim

Andersson, M., Volden, T., Haugland, T., og Ottesen, R.T., 2002. PCB i yttervegger i hus fra Bergen og i uteområdene rundt bygningene. NGU-rapport 2002.012.

Andersson, M., Ottesen, R.T., and Volden, T., 2004. Building materials as a source of PCB pollution in Bergen, Norway. *Science of the Total Environment* 325, pages: 139-144.

BEST, Board on Environmental Studies and Toxicology. 2001. *A Risk Management Strategy for PCB-Contaminated Sediments*. National Academy Press, Washington, D.C.

Davis, A. P., Hunt, W. F., Traver, R. G. and Clar, M. (2009). Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs. *Journal of Environmental Engineering*, 135 (3), 109-117.

Faroon, O., Olson, J., 2000, Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls (PCBs), Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services.

Faroon, O., Keith, L.S., Smith-Simon, C., and De Rosa, C.T., 2003. Polychlorinated Biphenyls: Human Health Aspects. Concise International Chemical Assessment Document 55, World Health Organization, Genève.

Giesy, J. P. & Kannan, K. (1998). Dioxin-like and non-dioxin-like toxic effects of

polychlorinated biphenyls (PCBs): Implications for risk assessment. *Critical Reviews in Toxicology*, 28, 511-569.

Inoue, K., Harada, K., Takenaka, K., Uehara, S., Kono, M., Shimizu, T., Takasuga, T., Senthilkumar, K., Yamashita, F., & Koizumi, A. (2006). Levels and concentration ratios of polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in serum and breast milk in Japanese mothers. *Environmental Health Perspectives*, 114, 1179-1185.

Jartun, M., Volden, T. og Ottesen, R.T., 2005. PCB-innhold i sandfangsmasser i Bergen – foreløpige resultater. VANN 1/05: 29 – 34

Jartun, M. og Volden, T., 2007. PCB i nedbør fra Bergensområdet. NGU-report 2007.074

Jartun, M., 2008. *Active sources and dispersion mechanisms of pollutants, especially polychlorinated biphenyls (PCBs), in the urban environment*. Ph.D, NTNU, Trondheim, Norway

Jartun, M., Ottesen, R.T., Steinnes, E., og Volden, T. 2008. *Runoff of particle bound pollutants from urban impervious surfaces studied by analysis of sediments from stormwater traps*. *Sci. Total Environ.* 396: 147 - 163

Jartun, M., Ottesen, R.T., Steinnes, E., and Volden, T., 2009. Painted Surfaces – Important sources of polychlorinated biphenyls (PCBs) contamination to the

urbane and marine environment. *Environmental Pollution* 157, pages: 295-302.

Klif, Klima- og forurensningsdirektora-tet, 2009. *Handlingsplan for reduserte utslipp av PCB i 2009–2012*. Handlingsplan oversendt Miljøverndepartementet 9. juli 2009

Klif, 2010. Prioriterte miljøgifter: Status 2008. Rapport TA-2738.

Krumgalz BS, Fainshtein G, Cohen A. *Grain size effect on anthropogenic trace metal and organic matter distribution in marine sediments*. *Sci Total Environ* 1992;116:15–30.

Kryvi H, Soldal O, Oen A, Kibsgaard A, Uriansrud F, Lindholm O, et al. 2005. *Bergen havn, tiltaksplan fase II*. Norwegian Pollution Control Authority; 2005. 46

Lindholm, O., 2004. *Miljøgifter i overvann fra tette flater*. NIVA-rapport no. 4775 – 2004

Lofrano, G., and Brown, J., 2010. Waste-water management through the ages: A history of mankind. *Science of the Total Environment* 408, pages: 5254-5264.

Marsalek, J. 2011. Personlig kommunikasjon, september 2011.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J., 1997. *Classification of environmental quality in fjords and coastal waters. A guide*. SFT 97:03, TA-1467/1997

- Lindholm, O., S. Endresen, S. Thorlfs-son, S. Sægvog, G. Jakobsen og L. Aaby, 2008. Veiledning i klimatilpasset over-vannshåndtering. Norsk Vann-rapport 162/2008.
- NOU, Norges Offentlige Utredninger. 2010. *Et Norge uten miljøgifter – Hvor-dan utslipp av miljøgifter som utgjør en trussel mot helse eller miljø kan stanses*. Miljødepartementet.
- Ottesen, R. T, Volden, T., Finne, T. E. og Alexander, J. 1999. *Undersøkelse av poly-klorerte bifenyler (PCB) i jorden i skole-gården ved Skjold skole*. NGU-rapport 99.049.
- Ottesen, R.T. 2011. Foredrag på fagseminar om hydrogeology og miljøgeokjemi, NGU, Trondheim. Mandag 14. februar 2011.
- Paus, K. A. (2011). Personlig kommuni-kasjon, 17.juni 2011
- Rice, D. C. (1995). Neurotoxicity of lead, methylmercury, and PCBs in relation to the Great Lakes. *Environmental Health Perspectives*, 103 Suppl 9, 71-87.
- Rice, D. C. (1997). Neurotoxicity Pro-duced by Developmental Exposure to PCBs. *Ment.Retard.Dev.Disabil.Res.Rev.*, 3, 223-229.
- Roegge, C. S., Seo, B. W., Crofton, K. M., & Schantz, S. L. (2000). Gestational-lac-tational exposure to Aroclor 1254 im-pairs radial-arm maze performance in male rats. *Toxicol.Sci.*, 57, 121-130.
- Ruus, A., Aare, I., & Hylland, K. 2009. *Bioakkumulering av sedimentassosiert PCB i torsk. Direkte eksponering og eks-po-nering gjennom næringskjeden*. NIVA-rapport no. 5790-2009.
- Ruus, A., Green, N.W., Maage, A., and Skei, J., 2006. PCB-containing paint and plaster caused extreme PCB-concentra-tions in biota from the Sør fjord (Western Norway)-A case study. *Marine Pollution Bulletin* 52, pages: 100-103.
- Schantz, S. L. (1996). Developmental neurotoxicity of PCBs in humans: what do we know and where do we go from here? *Neurotoxicology and Teratology*, 18, 217-227.
- SFT, Statens Forurensningstilsyn, Klif (2007). *Veileder for klassifisering av mil-jøgifter i vann og sediment*. TA-2229/2007, revidert utgave, Oslo
- Shorer, M. (1997). Pollutant and organic matter content in sediment particle size fractions. *Freshwater Contamination* (Proceedings of Rabat Symposium S4, April-May 1997). IAHS Publ.no. 243, 1997.
- Smith, A. G. & Gangolli, S. D. (2002). Organochlorine chemicals in seafood: occurrence and health concerns. *Food and Chemical Toxicology*, 40, 767-779.
- Thorolfsson, S.T. 2010. Forelesningsno-tater i TVM4127 , VA-systemer, NTNU, Trondheim

Ulbrich, B. & Stahlmann, R. (2004). Developmental toxicity of polychlorinated biphenyls (PCBs): a systematic review of experimental data. *Archives of Toxicology*, 78, 252-268.

UNECE (United Nations Economic Commission for Europe), 1998. Convention on long-range transboundary air pollution. The 1998 Aarhus Protocol on Persistent Organic Pollutants (POPs). (http://www.unece.org/env/lrtap/pops_h1.htm).