

Tungmetall i kommunale avfallsdeponi: Mobilitet og miljøtilgjengelighet. Presentasjon av en doktorgradsavhandling

Av Joar Karsten Øygard

Joar Karsten Øygard er knyttet til Institutt for plante- og miljøvitenskap,
Universitet for miljø og biovitenskap

Innlegg på seminar i Vannforeningen 28. mars 2007

Innledning

Tungmetall i sigevann fra avfallsdeponi for kommunalt avfall blir ofte trukket fram som et betydelig miljøproblem blant lekmenn og forskere uten direkte innsikt i avfallsdeponering. Forskningsmiljøet innen avfallsdeponering har i de fleste tilfeller flyttet fokus bort fra metallforurensing som et vesentlig miljøproblem, og heller fokusert på andre problemstillinger. Grunnen til dette er at en rekke prosesser forbundet med tungemetaller i avfallsdeponi, som felling sulfider og karbonater i deponiene,

samt adsorpsjon på organisk materiale i avfallsmassene (Øygard et al., 2004; Christensen et al., 2001), fører til en betydelig retensjon av tungmetaller i deponiene og dermed lave nivå av disse metallene i sigevannet. Tabell 1 viser konsentrasjonen av noen av tungmetallene i sigevann som har blitt rapportert i litteraturen for Norge og internasjonalt. Som det kan sees er konsentrasjonen av tungmetall i sigevannet ifra norske avfallsdeponi i snitt lavere enn det som er tillatt maksimal konsentrasjon i drikkevannsforskriften.

Grunnstoff	Konsentrasjon internasjonalt (µg/L) ¹⁾	Konsentrasjon i Norge (µg/L) ²⁾	Grenseverdier for drikkevann (µg/L) ³⁾
Arsen	10 – 1000	19	10
Kadmium	0,1 – 400	1,5	5
Krom	20 – 1500	38	50
Kobber	5 – 10000	17	2000
Bly	1 – 5000	13	10
Kvikksølv	0,05 – 160	1,5	1
Nikkel	15 – 13000	31	20
Sink	30 – 1000000	270	-

¹⁾ Christensen et al., 2001

²⁾ Haarstad et al., 2003

³⁾ Drikkevannsforskriften, 2001

Tabell 1. Konsentrasjoner av utvalgte tungmetall i sigevann rapportert i litteraturen for Norge og internasjonalt. Grenseverdiene for drikkevann i EU er også tatt med som en sammenligning.

Tungmetall i avfall

Husholdningsavfall generelt har et noe høyt tungmetallnivå. Konsentrasjonsnivåene i avfallet har blant annet blitt beregnet i en undersøkelse utført i Norge i 1996, og i Danmark i 2004 (Tabell 2). Utifra disse undersøkelsene kan det sees at husholdningsavfall har et høyt nivå av spesielt kadmium, bly, kvikksølv og sink. Et avfallsdeponi som mottar 50.000 tonn avfall per år, vil utifra den norske undersøkelsen motta 75 kg Hg, 270 kg Cd, 54 tonn sink og 22,5 tonn bly årlig. Når vi vet at utlekket av metallene er lavt, og det er deponert relativt store mengder tungmetall via avfallet, så er det viktig å avklare hva som skjer og som vil kunne skje med metallet i avfallet.

Dette var bakgrunnen for utformingen av doktorgradsstudiet som omhandlet mobiliteten og biotilgjenge-

ligheten til metall i avfallsdeponi. Målet med doktorgraden var som følger:

- Beregne massebalansen av tungmetall ved avfallsdeponi, slik at mengden av metall kan forutsies i gamle deponi.
 - Utført på både avfallsdeponi for husholdningsavfall og deponi som mottar en stor andel bunnaske ifra forbrenning.
- Undersøke den kjemiske formen til tungmetallene i sigevann.
 - Foreligger metallene fritt tilgjengelig, eller forekommer de som andre former?
- Undersøke hvilken kjemisk form metallene foreligger som i partikler i sigevannet.
 - Prøvetaking av sigevannssedimenter som eksempel på partikulært materiale i sigevann.

Metall	Norge, 1996 ¹⁾ (Fossum & Sørsum)	Danmark, 2004 ²⁾
Kvikksølv	1.5	0.6
Sink	1090	1020
Krom	21.2	41.8
Kadmium	5.4	6.9
Bly	450	370
Nikkel	-	25.7
Arsen	-	13.6
Jern	8840	-

¹⁾ Fossum & Sørsum, 1996.

²⁾ Rieber et al., 2005

Tabell 2. Tungmetallnivå i husholdningsavfall beregnet i en undersøkelse i Norge i 1996 og i Danmark i 2004. I begge undersøkelsene var tungmetallnivå beregnet utifra massebalansestudier ved avfallsforbrenningsanlegg.

Massebalansestudiet

Vi ønsket å beregne massebalansen til metall i avfallsdeponi, og gjorde dette ved å bestemme tungmetallmengden som forlot deponiet via sigevannet på månedsbasis igjennom et år, samt massen som ble lagt på deponi via den målte mottatte avfallsmengden og den beregnede metallkonsentrasjonen i avfallet utført av Fossum og Sørsum (1996). Utifra dette kunne den prosentvise andelen av tungmetall beregnes. Massebalansestudiet ble gjort både for avfallsdeponi for husholdningsavfall og for et deponi som mottok en vesentlig andel bunnaske ifra et kommunalt forbrenningsanlegg (Øygard et al., 2004; Øygard et al., 2005). Som kan sees av tabell 3, ble betydelige mengder metall lagt på deponi igjennom året. Mengde metall som ble beregnet lagt på deponi var selvsagt avhengig av massen av avfall som de forskjellige deponiene i under-

søkelsen mottok per år. Siden bunnasken har et forholdsvis høyt nivå av Cr, Cu, Pb og Zn, er det spesielt disse metallene som det ble deponert relativt mye av ved deponiet som mottok bunnaske. For alle de undersøkte deponiene var likevel den prosentvise andelen av de fleste metall som lakk ut ifra deponiet via sigevannet iløp av et år svært lavt. Bortsett ifra krom og spesielt jern, som hadde en forholdsvis høy grad av utlekk, ble de andre metallene i undersøkelsen i høy grad bundet i deponiet og var lite mobile.

Den høye graden av utlekk av jern har med den høye løselighet i den reduserte formen Fe(II), som vil forekomme inne i avfallsdeponiene på grunn av mikrobiologiske prosesser. Den høye retensjonen av tungmetallene er som en følge av binding til organiske materiale i avfallsmassene, og utfelling som tungtløselige sulfider eller karbonater.

Den høye retensjonene av tungmetallene er positivt på kort sikt, da metallene i liten grad vil lekke ut ifra deponiene og forurense lokalmiljøet, men kan være et problem på lang sikt da det vil forekomme en opphoping av tungmetaller i avfallsdeponi, med

potensielle fremtidige miljøproblemer som resultat. Ved endrede kjemiske betingelser i et gammelt avfallsdeponi om 50-100 år, kan dette føre til en høyere grad av utlekk av metallene og dermed miljøproblemer.

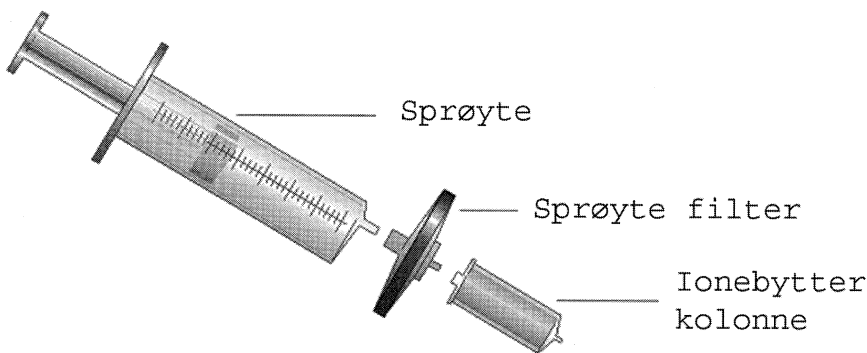
Metall	Avfall lagt på deponiet	I deponert avfall per år (kg)	I sigevannet per år (kg)	% utlekk
Kadmium	Husholdningsavfall Bunnaske	16-150 200	0,006-0,04 0,048	0,014 – 0,056 0,024
Bly	Husholdningsavfall Bunnaske	1300-13000 57000	0,08 – 1,2 0,72	0,002 – 0,010 0,01
Kvikksølv	Husholdningsavfall Bunnaske	4,5 – 43 17	0,0005 – 0,0052 0,010	0,004 – 0,016 0,06
Krom	Husholdningsavfall Bunnaske	63-600 3500	0,38 – 5,0 19	0,60 – 1,0 0,55
Kobber	Husholdningsavfall Bunnaske	- 64000	- 11	- 0,017
Sink	Husholdningsavfall Bunnaske	- 165000	- 2,2	- 0,001
Nikkel	Husholdningsavfall Bunnaske	- 2500	- 2,5	- 0,10
Jern	Husholdningsavfall Bunnaske	26000-250000 -	4700 - 5100 -	1,9 – 18 -

Tabell 3. Beregning av massebalansen til metall i gjennom et år ved fire avfallsdeponi for kommunalt avfall.

Spesiering av metaller i sigevann

Mange vannlevende organismer er svært følsomme for tungmetallforurensing, og på bakgrunn av dette kan selv lave konsentrasjoner i sigevann påvirke organismene i vannet som sigevannet blir sluppet ut i. Er dette egentlig et problem knyttet til utslipp av sigevann til en resipient med vannlevende organismer? Siden metaller vil ha en varierende giftighet avhengig av hvilke fysisk-kjemisk form metallene foreligger som i sige-

vannet (eller et vandig miljø generelt), må en bestemmelse av de kjemiske formene til metall i sigevann bestemmes (en såkalt spesiering må utføres) før en toksisitetsvurdering kan gjøres. Metallnivået i sigevann blir vanligvis bestemt etter en syreoppslutning, noe som gir oss totalinnholdet av metallet i sigevannet, men sider lite om den kjemiske/fysiske formen til metallet. For å bestemme formen til metallene må de skilles i sigevannet avhengig av form før analysen starter.



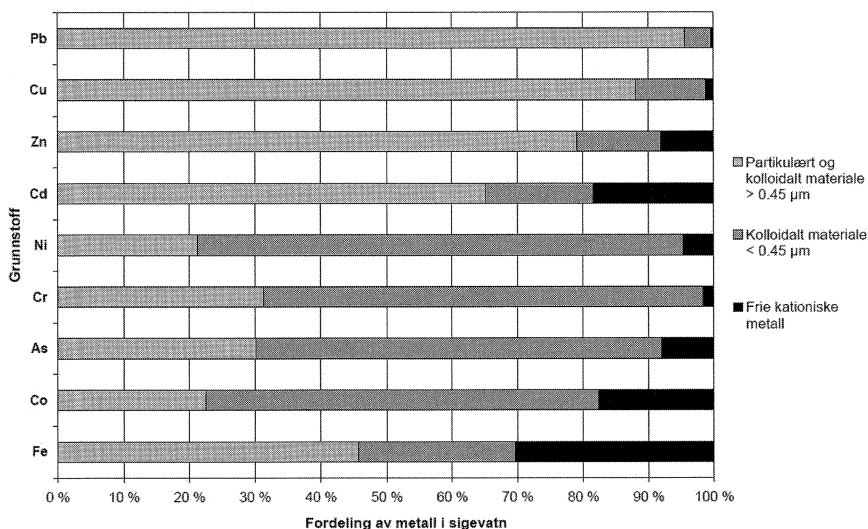
Figur 1. Utstyr for fraksjonering av metaller i væskeprøver i felt.

I dette arbeidet ble en metode for spesiering av metall i vann utarbeidet av NIVA ble benyttet (Fig. 1). I denne metoden ble sigevannet enten analysert ubehandlet (kun syre konserveret), etter filtrering igjennom et $0.45\ \mu\text{m}$ filter, eller etter et $0.45\ \mu\text{m}$ filter og en ionebytter kolonne. Ved å utføre denne behandlingen på prøvene rett etter prøvetaking, kunne totalinnholdet av metall, metall som var bundet til partikler (totalinnholdet av metall – metallene bestemt etter filtrering) og frie ioniske metall (metallene i prøven etter filtrering – metallene i prøven etter filtrering og ionebytting) (Øygard et al., 2007a).

I figur 2 er den prosentvise delene av det totale metallinnholdet i de ulike fraksjonene plottet for de undersøkte metallene. Som vist i figuren foreligger både Pb og Cu og delvis også Zn og Cd hovedsaklig som partikulært og kolloidalt materiale $> 0.45\ \mu\text{m}$. Ni og Cr viser derimot en annen fordeling med hoveddelen av metallet foreliggende bundet til kolloidalt materiale $< 0.45\ \mu\text{m}$; dette kan til eksempel være organisk materiale. As og Co skiller seg litt ifra de andre

undersøkte grunnstoffene, siden disse i hovedsak foreligger som anion i sin frie form, og dermed er ikke den benyttede fraksjoneringsteknikken så effektiv. Disse grunnstoffene kan foreligge enten som anion eller bundet til kolloidalt materiale $< 0.45\ \mu\text{m}$, men ca. 30 % vil i snitt foreligge bundet til større kolloider og partikler. Selv om jern ikke blir sett på som et miljøskadelig grunnstoff, er det tatt med som følge av de relativt høye konsentrasjonene som vanligvis blir funnet av dette metallet i sigevann. Hoveddelen av jern foreligger enten som kolloider eller som partiklar $> 0.45\ \mu\text{m}$. Den andelen som foreligg som kation er også vesentlig i en økotoksitetsvurdering for dette metallet, siden konsentrasjonen av metallet vanligvis er høy i sigevann.

Konklusjonen av studiet var at tungmetallene i liten grad foreligger som frie metall (den svarte delen av søylene i figur 2). Tungmetallene foreligger altså i liten grad i den mest økotoksikologiske formen. Dette har stor betydning for vurdering av tungmetall sin toksiske effekt på organismer i resipienten til sigevannet.



Figur 2. Gjennomsnittlig fordeling av metall i sigevannet ifra 8 avfallsdeponi for kommunalt avfall i forhold til den totale mengden av metallene.

Spesiering av metall i partikulære materiale / sigevannssediment

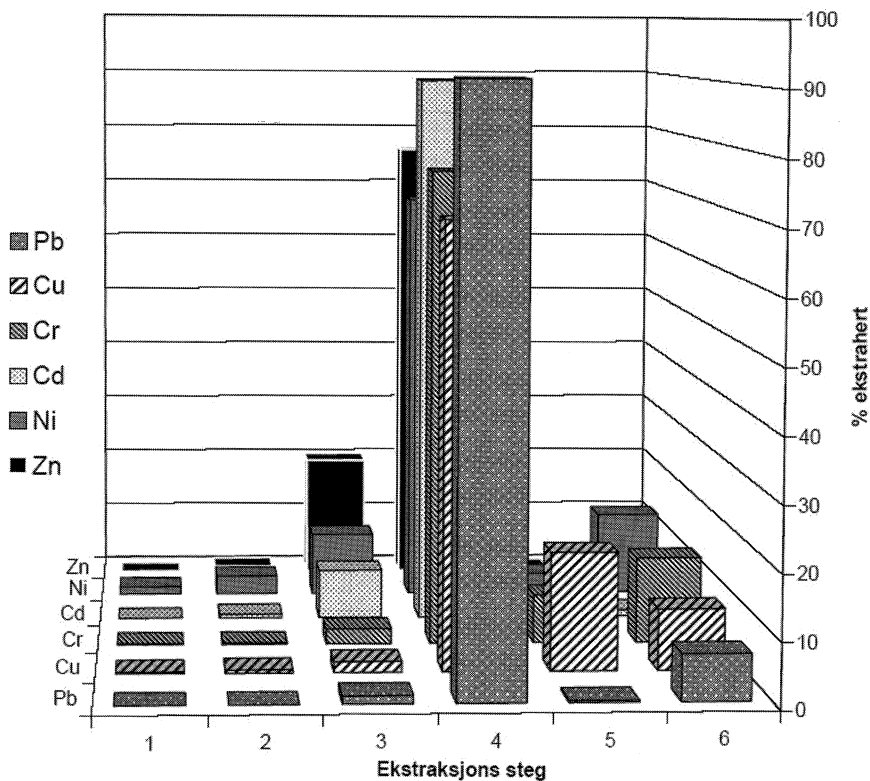
Siden en stor del av metallene i sigevann foreligger som partikler i sigevannet, vil det være viktig å identifisere de kjemiske formene til metallene i disse partiklene (Øygard et al., 2007b). Siden det var vanskelig å sample opp tilstrekkelig av partikulært materiell ifra sigevann til å gjøre spesieringsforsøk på det materialet, og sigevannssedimenter i stor grad vil bestå av partikler sedimentert ut ifra sigevannet, antok vi at undersøkelser av sigevannssedimenter tilsvarte undersøkelser av partikler suspendert i sigevann.

Sigevannssedimenter ifra 8 avfallsdeponi der sedimentene klart kunne sies å ha sedimentert ut ifra sigevannet, ble prøvetatt, og det ble utført sekvensiell ekstraksjoner på sedimentene. I en sekvensiell ekstraksjon vil varierende ekstraksjonsløsninger bli brukt til å lekke ut metaller ifra sedimentene ved de varierende betingelsen som ekstraksjonsmidlene gir. Resultatene ifra de sekvensielle ekstraksjonene som ble utført er vist i figur 3. Resultatene var ganske entydige for de forskjellige metallene, og viste at en stor andel av metallene var bundet til jern oksider. Sigevannssedimentene viste seg for øvrig å ha et svært høyt innhold av jern (7-38 % av sedimentene var jern oksider). Jern oksidene ble løst ut i trinn 4 i den sekvensielle ekstraksjons prosedyren som ble brukt. De tre første trinnene i den sekvensielle ekstraksjonen blir

vannet, ble prøvetatt, og det ble utført sekvensiell ekstraksjoner på sedimentene. I en sekvensiell ekstraksjon vil varierende ekstraksjonsløsninger bli brukt til å lekke ut metaller ifra sedimentene ved de varierende betingelsen som ekstraksjonsmidlene gir. Resultatene ifra de sekvensielle ekstraksjonene som ble utført er vist i figur 3. Resultatene var ganske entydige for de forskjellige metallene, og viste at en stor andel av metallene var bundet til jern oksider. Sigevannssedimentene viste seg for øvrig å ha et svært høyt innhold av jern (7-38 % av sedimentene var jern oksider). Jern oksidene ble løst ut i trinn 4 i den sekvensielle ekstraksjons prosedyren som ble brukt. De tre første trinnene i den sekvensielle ekstraksjonen blir

ofte regnet som biotilgjengelig. Som kan sees på figur 3 er det kun for nikkel, sink og i noen grad kadmium at det ble ekstrahert ut noe av metallene i de tre første ekstraksjonstrinnene. Undersøkelsen viste at tungmetallene i sigevannsedimentene var lite biotilgjengelig. Jernoksider er tungtløselige under aerobe betingel-

ser, og tungmetallene som er absorbert i dette materialet vil dermed ikke løse seg ut med mindre reduserende (anaerobe betingelser) forekommer. Dette indikerer dermed også at metallene som er bundet i partiklene i sigevannet er lite biotilgjengelige, og i liten grad vil gå i løsning etter at sigevannet er sluppet ut i resipienten.



Figur 3. Gjennomsnittlig resultat av sekvensiell ekstraksjoner av sigevannsedimentene ifra 8 avfallsdeponi. Søylen viser prosentvis andel av total innhold av metallet i sedimentene.

Konklusjon på doktorgradsarbeidet

Doktorgradsstudiet viste at der ligger en betydelig mengde tungmetaller i avfallsdeponi som følge av den sterke retensjonene av disse metallene i deponiene. Dette er positivt ettersom det viser at utslippet av tungmetaller generelt er lavt ifra avfallsdeponi, men negativt ettersom dette indikerer potensielle fremtidige problemer knyttet til utlekking av metaller via sigevann.

Metallene som lekker ut ifra deponiene som ble undersøkt ble funnet å foreligge i liten grad i den frie ioniske formen til metallene, men i høy grad enten som partikulært materiale eller som kolloidalt bundet materiale. Dette viser at metallene ikke foreligger i den mest økotoksiske formen, men heller enten som den minst biotilgjengelig og økotoksiske formen (for Pb, Cu, Zn og Cd) eller som den intermediert biotilgjengelig eller økotoksiske formen (for Ni og Cr).

For å undersøke biotilgjengeligheten til tungmetallene bundet i det partikulære materialet ble en sekvensiell ekstraksjon utført. Disse ekstraksjonene viste at hovedmengden av tungmetallene i sigevannssediment, og dermed sannsynligvis i partikulært materiale i sigevannet, var budet til jern oksider som sigevannet ifra de 8 undersøkte deponiene hadde et høyt innhold av. Det var kun en liten andel sink, nikkel og kadmium som ble ekstrahert i de tre første trinnene og som dermed regnes som biotilgjengelige.

Tungmetaller i sigevann ble utifra studiet vist å ha en lavere biotilgjengelighet og dermed økotoksisk effekt enn det som ville være tilfelle dersom metallene forelå som frie metaller. Metallene i sigevannet har mest sannsynlig ikke noen akutt økotoksikologisk effekt, og må omdannes til andre kjemiske former i resipienten dersom de skal være direkte toksiske.

Referanser

Christensen, T.H., Kjeldsen, P., Bjerg, P.L., Jensen, D.L., Christensen, J.B., Baun, A., Albrechtsen, H.-J., Heron, G., 2001. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Applied Geochemistry*, 16, 659-718.

Fossum M, Sørsum L., 1997. The heavy metal mass-balances from the waste incineration at the Heimdal MSW Incinerator plant. SINTEF Energy (1997): Report Nr. STF84 A96429.

Haarstad, K., Mæhlum, T., Hartnik, T., Turtumøygard, S. 2003. Sammen-setning av sigevann fra avfallsdeponier for kommunalt avfall i Norge. *Vann*. 38(3), 286-300.

Riber, C., Fredriksen, G.S., Christensen, T.H., 2005. Heavy metal content of combustible municipal solid waste in Denmark. *Waste Management & Research*, 23, 126-132.

Øygard, J.K., Måge, A., Gjengedal, E., 2004. Estimation of the mass-balance of selected metals in four sanitary landfills in Western Norway, with emphasis on the heavy metal content of the deposited waste and the leachate, *Water Res.* 38 (12), 2851-2858.

Øygard, JK. Gjengedal, E. Måge, A. 2005. Mass-balance estimation of heavy metal and selected anions at a landfill receiving MSWI bottom ash and mixed construction wastes. *J. Haz. Mater.* A123, 70-75.

Øygard, J.K., Gjengedal, E., Røyset, O., 2007a. Size charge fractionation of metals in municipal solid waste landfill leachate. *Water Res.* 41, 47-54.

Øygard, J.K., Gjengedal, E., Mobbs, H., 2007b. Trace element exposure in the environment from MSW landfill leachate sediments measured by a sequential extraction technique. *J. Haz. Mater.* Submitted.

Bioforsk Jord og miljø arbeider med anvendt miljøforskning, rådgivning og utredning. Vårt mål er å bidra til en god forvaltning av jord, avfall, vann og landskap. En stor del av vår virksomhet er rettet mot kommuner og private.



Bioforsk Jord og miljø

Naturbasert renseteknologi for avløp og avrenning fra veier og landbruk

Uttesting og dokumentasjon av ny renseteknologi

Modellering av mindre avløp og avrenning i nedbørfelt

Grunnvann

Kompostering og utnyttelse av organisk avfall og slam

Forurenset jord og sedimenter

Utslipp fra deponier; miljørisikovurderinger og miljøovervåkning

Prøvetaking og miljøanalyser

Etablering og restaurering av våtmarker med økt biologisk mangfold

Informasjon, veiledere, kurs og foredrag

Internett: www.bioforsk.no/jordmiljo

Informasjon om mindre avløp: www.avlop.no

Tlf sentralbord: 03 246 - Faks: 63 00 94 10 - E-post: jord@bioforsk.no