

Tungmetaller fra sanitæravløp til renseanlegg i Trondheim

Av Kyrre Halvorsen

Kyrre Halvorsen er sivilingeniør og prosjektleder på kommunalteknikk i Trondheim kommune.

Sammendrag:

Slammet fra renseanleggene i Trondheim brukes i hovedsak til jordforbedring. Før bruk analyseres slammet blant annet med hensyn til tungmetaller, og i noe tilfeller er enkelte verdier over grenseverdiene som er satt for slik bruk, og dette slammet må deponeres. Derfor følger vi med på hvor mye tungmetaller som kommer til renseanleggene, og vi arbeider med å ha oversikt over mulige kilder for å holde tilførselen så lav som mulig. Avløpsvannet som kommer til renseanleggene i Trondheim er 1/3 spillvann og 2/3 fremmedvann, og det er interessant å vite hvor mye av tungmetallene som kommer fra spillvann og hvor mye som kommer fra fremmedvann. Analyser av avløpsvann inn til renseanleggene i Trondheim, og fra prøver tatt på ledningsnett viser at det er sammenheng mellom innhold av fosfor og innhold av sink og tungmetaller. Denne sammenhengen kan være resultat av at både spillvann og andre kilder for tungmetaller i fremmedvann fortynnes av rent vann. Det kan også bety at spillvann er en betydelig kilde til sink og tungmetaller i avløpsvannet. Sammenligning med resultatene fra prøvetaking gjort av Gryaab i Gøteborg i to boligområder i 1989 og 2006 til 2007 styrker antagelsen om at avløpsvann fra boligområder er en betydelig kilde til sink og tungmetaller i avløpsvannet også i Trondheim. Sanitæravløpsvann over året bidrar anslagsvis med rundt 60 %

av mengden sink til Høvringen renseanlegg og 70 % av sink til Ladehammeren renseanlegg i Trondheim.

Innledning

I Trondheim er tilførsel til avløp av tungmetaller fra store punktkilder redusert både som følge av strengere krav til utslipp fra virksomheter, og som følge av at forurensende virksomheter har lagt ned. Forurenset grunn er også skiftet ut i forbindelse med utbyggingsprosjekter. Det betyr at diffuse kilder og små punktutslipp nå betyr relativt mer.

Trondheimsområdet er spesielt ved at leira innholder noe tungmetaller som tilføres renseanleggene via fremmedvann. Tilførselen av nikkel og krom er betydelig med i størrelse 60 % og 40 %, og bidraget fra leire kan vi beregne ut fra innhold av aluminium i avløpsvannet. Når vi tar bort slike lokale forhold, ser det ut til at globalisering av forbruksvaner og konstruksjonsmaterialer gjør at sammensetningen av avløpsvannet fra husholdninger i byer er ganske lik i utviklede land omkring i verden.

Husholdninger regnes å være hovedkilden til sink og bly til renseanleggene, og vannforsyningssystemet regnes å være en viktig kilde til kobber (Houhou et al 2015, Cantinho et al 2016). Resultatene fra prøvetaking gjort av Gryaab i Gøteborg i to boligområder i 1989 og 2006 til

2007 kan tyde på at avløpsvann fra boligområder er en betydelig kilde til sink og tungmetaller (Gryaab 2008). Beregningene er gjort for begge renseanleggene i Trondheim, Høvringen renseanlegg, HØ, 147.000 pe og Ladehammeren renseanlegg, LA, med 73.000 pe. Gryaab har til sammenligning 828.000 pe. Tilførsel av tungmetaller fra sanitærvløpsvann kan eierne av avløpsanlegg i liten grad påvirke direkte. Det er derfor ønskelig å kunne anslå hvor stor denne andelen er.

Metode

Det er tatt 6 ukeblandprøver inn til Ladehammeren renseanlegg og 10 ukeblandprøver til Høvringen renseanlegg i 2017. Prøveperioden er 5 døgn. Prøvene er tatt med en stasjonær, automatisk prøvetaker type ASP-Station 2000, peristaltikk pump RPS24 proporsjonalt med vannføring i samsvar med akkreditert metode. Mengden rensed og totalt tilført avløpsvann måles automatisk og mengdene for prøveperioden er notert. Prøvene er analysert på Analysesenteret i Trondheim.

Mengde sink i kg pr. døgn er beregnet for hver prøve ut fra konsentrasjon og total vannmengde inn til anleggene og plottet mot vannføring i prøveperioden. Tilførsel av sink i tørrvær er hentet fra sammenhengen mellom mengde sink og vannføring, det vil si midlere konsentrasjon av sink i tilført fremmedvann er beregnet i regnearket som regresjonslinje.

For å vurdere hvor mye sink og tungmetaller som kommer fra sanitærvann, er det ønskelig å ha analyser av fosfor fra de samme prøvene som er analysert på metaller. Derfor er det etterbestilt analysetall for fosfor fra de prøvene som det er analysert metaller i. Omslutningen på disse prøvene er gjort ved 170 grader celsius i mikrobølgeovn, mens omslutningen ved fosforanalyser normalt gjøres i autoklav ved 120 grader.

For å vurdere brukbarheten på disse dataene, er mengde fosfor pr. dag beregnet ut fra tall fra ukeblandprøvene og plottet mot mengder inn til renseanleggene, sammen med tilsvarende tall fra de akkrediterte døgnblandprøvene. Det er lagt inn trendlinjer for døgnblandprøvene og R^2 er beregnet i regnearket.

Det er tatt 26 døgnblandprøver på hvert renseanlegg. Disse prøvene er tatt med samme prøvetaker og analysert på Analysesenteret i Trondheim.

Forholdet mellom sink og fosfor i husholdningsavløp er beregnet ut fra tallene fra Gryaab. Så er forventet mengde sink fra husholdninger til Høvringen og Ladehammeren beregnet ved å multiplisere mengde fosfor Høvringen og til Ladehammeren med forholdstallet fra Gryaab. Denne mengden er sammenlignet med mengden sink som kommer til anleggene ved tørrværsavrenning, det vil si med minimal overflateavrenning og minimal grunnvannsinnlekking. Prosentandelen av sink som antas å komme fra husholdninger er beregnet for begge anleggene.

Innhold av tungmetaller som prosent av sink, såkalt fingeravtrykk, for sanitærvløpsvann fra Gøteborg er beregnet og sammenlignet med tilsvarende for avløpsvannet til de to renseanleggene i Trondheim.

Som ledd i kartlegging av kilder til tungmetaller til avløp ble det i 2017 tatt 6 prøver i hver av 6 delfelt i Høvringen rensedistrikt i perioden 1. mai til 5. juli. Prøvene er tatt med 2 ukers mellomrom og i hovedsak som tidsproporsjonale prøver. Prøvetakerne var av type Sigma SD 900 og Isco 3700 Compact Portabel sampler. Vannføringsmålere var av type NIVUS PCM4. I noen tilfeller var det problemer med prøvetakingen, og da ble det i stedet tatt stikkprøver.

Det var i utgangspunktet ikke bestilt analyse av fosfor på disse prøvene, så tallene for fosfor er etterbestilt fra analysen av metaller. Innhold av sink i disse prøvene er satt opp mot etterbestilte analyser av fosfor.

Med sanitærvløp menes i denne sammenheng avløp fra kjøkken, bad og toalett. Vi regner at 0,8 av tilførselen av fosfor skjer der folk bor. Det øvrige fordeles på arbeidsplasser, skoler og barnehager. I tillegg kommer institusjoner og overnattingssteder. Det er usikkert om fosfor og tungmetaller fordeler seg på samme mellom boligområder og andre områder. Denne artikkelen er ment å sannsynliggjøre at sanitærvløpsvann bidrar med en betydelig andel av tungmetaller

til renseanlegg. Dersom oppfølging av analyser av avløpsvann fra boligområder, styrker antagelsen om at sanitærvløpsvann har et vesentlig bidrag, vil det være naturlig å gå mer i detalj.

Mengde sink ved ulik vannføring

Siden 2/3 av avløpsvannet til Høvringen og til Ladehammeren er fremmedvann, varierer konsentrasjonen av metaller både på grunn av fortykning og på grunn av sedimentering og utspyling. Det virker rimelig å anta at ved lav vannføring er det lite tilførsel fra trafikkområder og tak. Det vil likevel være noen mulige kilder som ikke er sanitærvann, for eksempel bilvasking og bedrifter. Figur 1 viser beregnede mengden sink pr. dag plottet mot verdiene mot vannføring pr. dag for 2017.

Mengden sink kan beregnes som gjennomsnitt konsentrasjon ganget med total vannføring. Man kan også beregne gjennomsnitt pr. dag i prøveperiodene og gange med 365. En tredje metode er å beregne middel vannføring over 5 dager og multiplisere hver dag med verdien som korrelasjonslinjen gir. De ulike metodene gir lite avvik i forhold til de andre usikkerhetene i beregningen.

Figur 2 kan tolkes som at det er en minste mengde på 2 kg sink pr. dag til Ladehammeren og 4 kg sink pr. dag til Høvringen renseanlegg

ved laveste vannføring. Vannet har en gjennomsnittlig konsentrasjon på 37 og 34 mg Zn/l. I tillegg kommer noen variable utslag, mest til Høvringen.

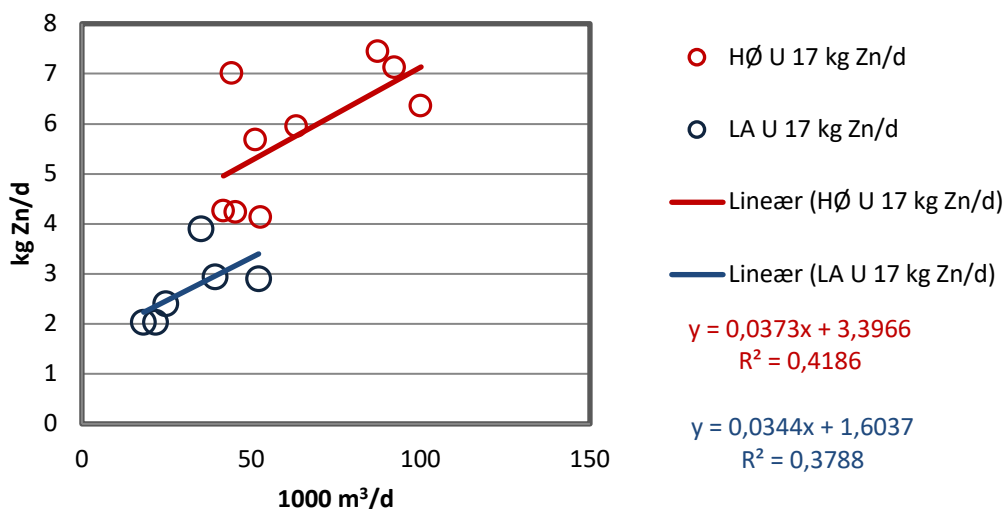
Vurdering av analysetall for fosfor

Fosfor brukes som mål på fortykning av avløpsvannet. Det er ønskelig å sammenligne innhold av metaller med fosfor i hver enkelt prøve, men det tas i utgangspunktet ikke fosforanalyser på de samme prøvene som analyseres for metaller.

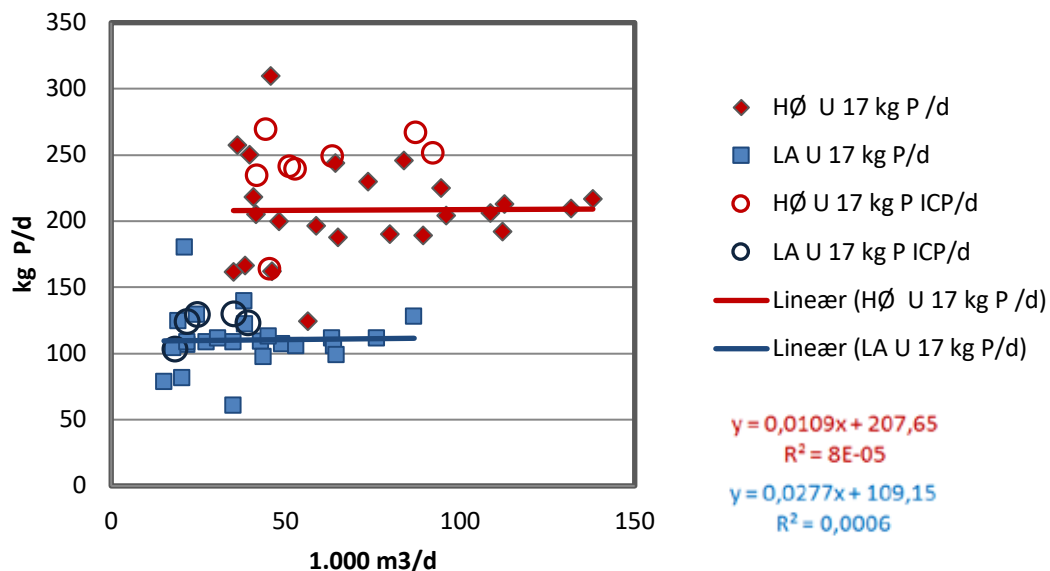
Det er mulig å etterbestille tall for fosfor fra de prøvene som er analysert for metaller med ICP, men behandlingen av prøvene er litt ulik den som brukes ved standard analyse av fosfor. I figur 2 er fosforanalyser fra døgnblandprøver sammenlignet med etterbestilte tall for fosfor fra de prøvene som er tatt for metallanalyse.

For Høvringen forventer vi 235 kg P/d ut fra 147.000 pe og 1,6 gram pr. pe. For Ladehammeren forventer vi 117 kg P/d ut fra 73.000 pe og 1,6 gram pr. pe. Figur 2 viser at de etterbestilte analysene fra ukeblandprøvene, merket ICP, gir noe høyere verdier enn de ordinære analysene. Avviket er størst for Høvringen renseanlegg.

Beregnet mengde fosfor pr. dag varierer naturlig nok mer i døgnblandprøvene. Det er liten sammenheng mellom mengdene fosfor pr dag og vannføringene. Sammenhengen mellom verdiene



Figur 1 : Kg sink pr. dag i ubehandlet avløpsvann, U, i 2017



Figur 2: Kg fosfor pr. dag fra etterbestilte verdier (ICP) og fra akkrediterte analyser i 2017

Tabell 1: Antall kg sink og fosfor pr. dag og beregnet mengde sink fra sanitæravløpsvann fra Høvingen (HØ) og Ladehammeren (LA).

	kg Zn/dag	kg P/dag	kg Zn/dag fra sanitæravløp	% sink fra sanitæravløp
HØ	6,0	208	3,7	61
LA	2,7	110	1,9	71

for fosfor fra analysert sammen med metaller og fosfor analysert etter standarden bør undersøkes nærmere ved anledning. Det synes i alle fall som at analyser av fosfor sammen med metaller kan være nyttig for å undersøke sammenheng mellom innhold av fosfor og innhold av metaller med tanke på bidrag fra sanitæravløp.

Sammenligning av avløp fra Gøteborg og Trondheim

Gryaab i Gøteborg har analysert avløpsvann fra to boligområder i 1989 og 2006 til 2007 (Gryaab 2008). Ved å beregne forholdet mellom metaller og fosfor på disse prøvene og tilsvarende for avløpsvann til rensanleggene, kom de fram til at avløpsvann fra boligområder er en betydelig kilde til sink og tungmetaller.

Vurdering av kilder til tungmetaller i avløp er viktig også i Trondheim siden slammet fra

renseanleggene brukes i landbruket. Derfor er det interessant å teste tilsvarende beregning på de to rensanleggene i Trondheim, Høvingen rensanlegg, HØ, og Ladehammeren rensanlegg, LA, med de forholdstallene som ble funnet i Gøteborg. Kg Zn/dag fra sanitæravløp er beregnet som 0,0176 ganger kg P/dag. Resultatet av beregningen er gjengitt i tabell 1.

Tabell 1 viser hvor mye sink som kommer til rensanleggene i gjennomsnitt pr. dag, og hvor mye av den sinken som er beregnet å komme fra sanitæravløpsvann. Sanitæravløpsvann ser ut til å være en dominerende kilde for sink til rensanleggene med 61 % på Høvingen og 71 % på Ladehammeren. Mengden sink pr. dag fra sanitæravløp stemmer ganske bra med mengden sink som kommer til rensanleggene ved lav vannføring.

I tabell 2 er det først gjengitt de verdiene som man ifølge Gryaab kan forvente i avløp fra

Tabell 2: Verdier fra boligområder i Gryaab sammenlignet med Høvringen (HØ) og Ladehammeren (LA) i 2017

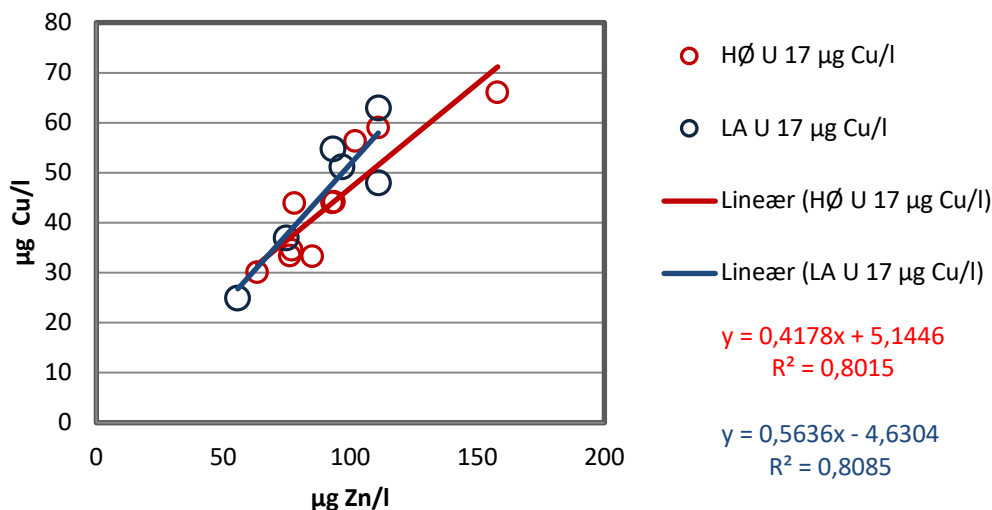
Stoff	Måleenhet	Analyse forsfor	µg Me/mg P	% av sink		
				Gryaab	HØ	LA
P	mg/l	6,05	1,000			
Zn	µg/l	107	17,686	100,000	100,000	100,000
Cu	µg/l	79	13,058	73,832	47,710	51,235
Pb	µg/l	3,9	0,645	3,645	3,620	2,919
Ni	µg/l	3,7	0,612	3,458	6,429	5,455
Cr	µg/l	2,6	0,430	2,430	12,047	12,846
As	µg/l	0,98	0,162	0,916	1,500	1,567
Cd	µg/l	0,114	0,019	0,107	0,150	0,095

boligområder. I neste kolonne er tallene normalisert med hensyn til fosfor. Det er vanlig å karakterisere avløpsvann ved å beregne mengden av øvrige metaller i prosent av mengden sink, et såkalt fingeravtrykk. Det er gjort i de neste kolonnene for sanitærvløpsvann i Gøteborg og for avløpsvann til Høvringen (HØ), og Ladehammeren (LA).

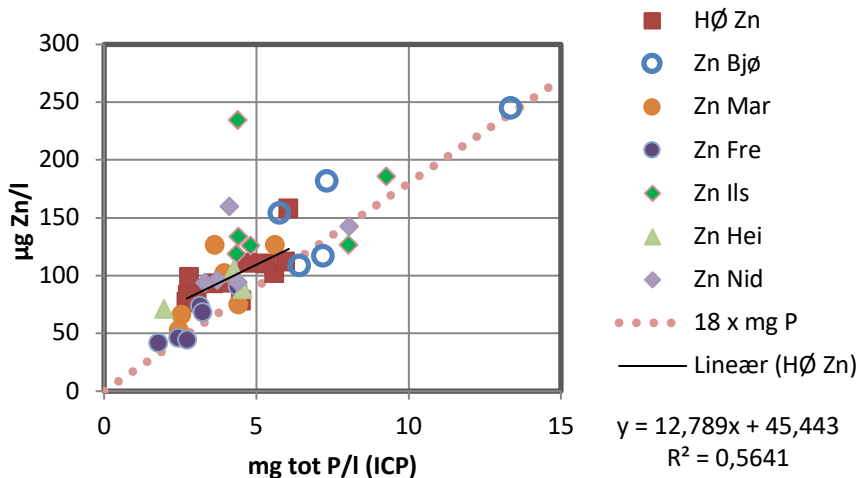
Den venstre kolonnen i tabell 2 (analyse forsfor) er et utdrag av gjennomsnitt av verdier fra sanitærvløpsvann fra to boligområder i Gøteborg. Konsentrasjonen av fosfor er noe lavere enn den skulle være ut fra 1,6 gram fosfor og 140 liter pr. pe, så det er trolig noe fremmedvann i prøvene.

Neste kolonne mot høyre er forholdstallet mellom de ulike metallene (Me) og innhold av fosfor. Disse forholdstallene kan brukes til å anslå bidrag fra sanitærvløp av for eksempel sink når man vet mengden av fosfor. Figur 3 viser forholdet mellom kobber og sink til rensanleggene i 2017.

Det er forholdsvis mindre kobber i Trondheim enn i sanitærvløpsvann i Gøteborg. Det kan tyde på ekstra tilførsel av kobber for forholdsvis mindre enn ekstra tilførsel av sink i Trondheim. I Trondheim kommer ca. 60 % av nikkel og 40 % av krom i avløpsvannet fra leire. Mengden og dermed prosenten varierer med hvor mye leire som er i avløpsvannet. Det kan vi



Figur 3: µg kobber pr. dag og µg sink pr. dag i ubehandlet avløpsvann, U, I 2017



Figur 4: $\mu\text{g Zn/l}$ mot mg P/l etterbestilt (ICP) i prøver fra Høvringen og fra seks delfelt i Høvringen rensedistrikt

beregne ut fra innhold av aluminium (Halvorsen 2015).

Om vi justerer for tilførsel fra leire, ser det ut til at resterende nikkel i stor grad kommer fra sanitæravløp. Det er noe ekstra nikkel til Høvringen. For krom er det fortsatt mye som ikke kommer fra leire eller sanitærvann. Vi arbeider med å lokalisere kilder til metaller i avløpsvann blant annet ved at vi tar prøver i delfelt.

Resultater fra Høvringen og 6 delfelt 2017

I 2017 ble det tatt prøver i seks delfelt inn til Høvringen. Disse 6 delfeltene utgjør omtrent halve tilførselen til Høvringen rensanlegg. I utgangspunktet var det ikke analysert på fosfor i disse prøvene. Figur 4 viser at det er et visst minimum av sink i forhold til fosfor i alle delfeltene. Forholdstallet til denne skranken er 18 mens forholdstallet for sanitæravløpsvann i Gøteborg var 17,7. Det tas forbehold om ulik analysemetode for fosfor. Verdiene for hver prøve kan forstås slik at verdien under den stiplede linja er bidraget fra sanitæravløpsvann, mens den delen som ligger over den stiplede linja er ekstra tilførsel av sink.

1,6 gram fosfor og 160 liter vann gir en konsentrasjon på 10 mg P/l. Ut fra disse tallene bidrar en person med 180 mg Zn/d. Dersom en slik prøve fortynnes med rent vann, vil den følge

den stiplede linja i retning origo. Det er gjort noen flere analyser på Høvringen rensanlegg, HØ. Regresjonslinja for disse prøvene har verdien $45 \mu\text{g Zn/l}$ når innholdet av fosfor er null. En måte å tolke dette, er at prøvene fra Høvringen er blandet med vann som i gjennomsnitt har $45 \mu\text{g Zn/l}$. Ut fra sammenstillingen av sink og vannføring figur 2 skulle tallet være $37 \mu\text{g Zn/l}$.

Konklusjoner

- Sanitæravløpsvann ser ut til å bidra vesentlig til sink, kobber, bly, nikkel og kadmium til avløpsanleggene i Trondheim.
- Dette bør undersøkes nærmere blant annet ved å ta prøver av avløpsvann fra boligområder både i Trondheim og fra andre avløpsanlegg.
- Det bør også analyseres både på metaller og på fosfor og andre parametre som kan brukes til å vurdere andelen metaller fra sanitæravløpsvann.

Takk til

Analyselaboratoriet i Trondheim kommune, for raske og nøyaktige analyser og imøtekommenhet ved etterbestilling av resultater.

Kolleger i Trondheim kommune og ved Gryaab for nyttige tilbakemeldinger under arbeidet med artikkelen.

Referanser:

Cantinho P., M. Matos, M. A. Trancoso, M. M. Correia dos Santos 2016. Behaviour and fate of metals in urban wastewater treatment plants: a review. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 13:359–386 DOI 10.1007/s13762-015-0887-x : side 363

Gryaab rapport 2008:6 : DGE Mark och Miljö AB 2008-12-16, Reviderad 2011-05-19 : Provtagning i referensområden 2006/2007, Hushållspillvatten Del 1

Halvorsen, Kyrre 2016. Metaller fra leire i avløpsvann og slam på renseanleggene i Trondheim med spesielt fokus på nikkel og krom. *Vann* nr. 3, 2016

Houhou, J., B.S. Lartiges, E. Montarges-Pelletier, J. Sieliechi, J. Ghanbaja, A. Kohler 2015. Sources, nature, and fate of heavy metal-bearing particles in the sewer system. *Science of the Total Environment* 407; 6052-6062.