

Rv. 300 Ringveg Nord Tønsberg- avrenning fra veg og tunnel i anleggsfasen

Overvåking av vannkvalitet og
biologi i Vellebekken og
Presterødkilen 2004 - 2008.
Sluttrapport.



y. mar jul nov mar jul nov mar jul nov
 4 05 05 05 06 06 06 07 07 07

Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 2218 51 00
Telefax (47) 55 23 24 95

NIVA Midt-Norge

Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Rv. 300 Ringveg Nord Tønsberg- avrenning fra veg og tunnel i anleggsfasen. Overvåkning av vannkvalitet og biologi i Vellebekken og Presterødkilen 2004 - 2008. Sluttrapport	Løpenr. (for bestilling) 5767-2009	Dato 01.03.2009
	Prosjektnr. Udemnr. O-24255	Sider Pris 25
Forfatter(e) Torleif Bækken og Brage Rygg	Fagområde Integrert vannforvaltning	Distribusjon Fri
	Geografisk område Vestfold	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statens vegvesen, Tønsberg. Kjelle prosjektkontor	Oppdragsreferanse
---	-------------------

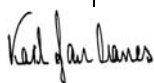
Sammendrag

I forbindelse med vegbygging langs Vellebekken (Tønsbergpakken) er det gravet i, lagt press på og flyttet på masser fra et gammelt avfallsdeponi med muligheter for avrenning/utlekking av miljøgifter. Eventuell avrenning vil gå til Vellebekken og videre til Ramsar-naturresevatet Presterødkilen. Forurensningsmyndigheten satte derfor strenge krav til utslipp og overvåkning av resipientene. Overvåkingen startet november 2004 med registrering av referansesituasjonen. Anleggsarbeidene ved Vellebekken kom i gang sommeren 2005. Anleggsarbeidene ble avsluttet høsten 2007. Det var deretter en etterkontroll av situasjonen over ca ett år. Siste prøve ble tatt 1. oktober 2008. Overvåkingen har tatt for seg vannkjemiske forhold og sedimenter i Vellebekken, samt bunndyrsfunn og akkumulering i sediment og blåskjell i Presterødkilen. Analysevariablene har vært pH, turbiditet, konduktivitet, ammonium, utvalgte tungmetaller fordelt på partikkelfraksjoner og på løst form, kvikksølv, olje, BETEX, PAH, PCB samt et utvalg av andre klororganiske forbindelser. Under hele perioden ble det påvist tilførsler av metaller og organiske forurensninger fra de gamle fyllingene eller fra utslipp i dette området. For noen stoffer har hovedkildene vært i områder lengre oppe i vassdraget. Konsentrasjonsnivåene har stort sett vært moderat høye, men variable. For kobber og kvikksølv ble det tidvis påvist høye konsentrasjoner, men uten at dette kunne knyttes til anleggsvirksomheten. Det kan ikke utelukkes at anleggsvirksomheten har bidratt til forurensning av Vellebekken og Presterødkilen, enten ved direkte avrenning fra anlegget, indirekte ved graving eller andre endringer i deponiet. Forurensningsnivået i bekken kunne imidlertid i liten grad kobles mot registrerte hendelser ved anlegget (mulig unntak 2.august 2006). De tiltakene som ble gjennomført av entreprenøren for å hindre forurensning av bekken synes å ha hatt god virkning. Uten tiltakene er det sannsynlig at både Vellebekken og Presterødkilen ville ha blitt utsatt for et langt større forurensningspress.

Fire norske emneord 1. Anleggsarbeid 2. Overvåkning 3. Vannkvalitet 4. Biologi	Fire engelske emneord 1. Road construction work 2. Monitoring 3. Water quality 4. Biology
--	---



Torleif Bækken
Prosjektleder



Karl Jan Aanes
Forskningsleder



Jarle Nygard
Fag- og markedsdirektør

ISBN 978-82-577-5502-7

Rv. 300 Ringveg Nord Tønsberg- avrenning fra veg og tunnel i anleggsfasen

Overvåkning av vannkvalitet og biologi i Vellebekken
og Presterødkilen 2004 - 2008. Sluttrapport

Forord

I forbindelse med utbygging av ny hovedvei i Tønsberg (Tønsbergpakken) ble det satt krav til skjerming av det nærliggende vannmiljøet. Ikke minst var dette begrunnet i nærheten til gamle deponier med forurensede masser og sårbare resipienter. Dette medførte krav om overvåkning og dokumentasjon av forurensningssituasjonen samt iverksettelse av nødvendige tiltak for å minimere forurensningstilførsler. Ved byggingen av veianlegget langs Vellebekken, har de mest utsatte resipientene vært denne bekken og naturreservatet Presterødkilen.

Anleggsarbeidene for hele veianlegget har også berørt områdene på andre siden av Tønsberg, ved Kjelle (Homannsbekken og Ilene). Det har vært en egne overvåkning av dette området (Bækken et al 2007).

Overvåkningen startet i november 2004 og ble avsluttet i oktober 2008. Prosjektleder i Statens vegvesen for utbyggingen har vært Arvid Veseth. Saksbehandler for dette miljøprosjektet i Statens vegvesen har vært Elsebeth A. Bakke. Entreprenør har vært MESTA. Vannprøvene ble inntil 2008 tatt av personell fra statens vegvesen. I 2008 ble vannprøvene tatt av Eirin Pettersen og Tomas A. Blakseth, sediment fra Vellebekken ble tatt av Erik Bjerknes og Stein Johansen, sediment og bunndyrprøver fra Presterødkilen ble tatt av Jarle Håvardstun og Einar Kleiven, alle fra NIVA. Alle kjemiske analyser er utført av NIVAs laboratorium. Brage Rygg har bearbeidet og rapportert bunndyrmaterialet. Undertegnede har vært NIVAs prosjektleder.

Oslo, 04.06.2009

Seniorforsker Torleif Bækken

Innhold

Sammendrag	6
1. Innledning	9
2. Metoder	10
2.1 Vannprøver	10
2.2 Sedimenter	11
2.2.1 Vellebekken	11
2.2.2 Presterødkilen	11
2.3 Biologisk akkumulering	11
2.4 Bunndyrsamfunn	12
3. Vellebekken	12
3.1 Vannkjemisk overvåking 2004-2008	12
3.1.1 pH, konduktivitet, partikler og ammonium	12
3.1.2 Metaller	13
3.1.3 Organiske miljøgifter	18
3.2 Sedimentkjemi	20
4. Presterødkilen	21
4.1 Sediment	21
4.2 Blåskjell	22
4.3 Bunndyrsamfunn	23
5. Referanser	25

Sammendrag

Bakgrunn

I forbindelse med vegbygging langs Vellebekken er det gravet i, lagt press på og flyttet på masser fra et gammelt avfallsdeponi. Det har derfor foreligget muligheter for avrenning/utlekking av miljøgifter fra deponimassene til bekken. Utover dette vil den normale anleggsaktiviteten også medføre en viss fare for avrenning av forurensninger til bekken. Eventuell avrenning vil gå til Vellebekken og videre til Presterødkilen. Presterødkilen er et Ramsar naturreservat. Det ble derfor satt strenge krav til utslipp og overvåkning av resipientene. Entreprenøren hadde satt i verk tiltak for begrense avrenning av forurensninger fra anlegget til resipientene.

Overvåkingen startet november 2004 med registrering av referansesituasjonen. Anleggsarbeidene ved Vellebekken kom i gang sommeren 2005. Anleggsarbeidene ble avsluttet høsten 2007. Det var deretter en etterkontroll av situasjonen over ca ett år. Siste prøve ble tatt 1. oktober 2008.

Vellebekken

pH verdiene var moderat høye, og ganske stabile gjennom hele undersøkelsesperioden, og lå stort sett mellom ca 7 og 8. Det var tilførsel av surere vann i den nedre delen av bekken, mest sannsynlig fra det gamle deponiet.

Turbiditeten (partikkelkonsentrasjonen) i vannet har tidvis vært høy. Det ble observert store variasjoner, særlig de siste to årene, men konsentrasjonene har vært nokså like på alle stasjonene. Selv om anleggsvirksomheten i perioder kan ha bidradd med partikkelavrenning, har den største delen av partikkelkonsentrasjonen kommet med avrenning fra de store jordbruksarealene og fra erosjon i elveleiet.

Forhøyede konsentrasjoner av ammonium (NH_4) ble observert særlig i 2006. En konsentrasjonstopp på 4200 $\mu\text{gN/l}$ ble da observert samtidig med høye konsentrasjoner av bl.a. PAH og olje. Det har derfor vært et utslipp denne dagen og sannsynligvis i en periode forut. Det ble, i følge vegvesen og entrepenør, ikke registrert noen utslippshendelser ved anlegget denne perioden. Utslippets sammensetning av kjemiske variable vil passe med avrenning fra anlegg og strengstein, men vi kan ikke utelukke at forurensningen har vært forårsaket av andre uregistrerte hendelser som for eksempel overløp fra kommunal pumpestasjon. I perioder med høy ammoniumkonsentrasjon har alltid ammoniakkandelen (NH_3) av ammonium vært godt under giftig konsentrasjon. I 2007 var konsentrasjonene av ammonium forholdsvis lave.

Årlige gjennomsnittkonsentrasjoner for totalinnholdet av tungmetallene lå for krom (Cr), nikkel (Ni), bly (Pb) og sink (Zn) oftest i området for moderat forurenset vann sett i forhold til SFTs vannkvalitets-kriterier for ferskvann. Konsentrasjonen av kadmium lå ofte i området for markert forurenset vann, mens konsentrasjonene av kobber ofte var i området for sterkt forurenset vann. Kobber hadde en tendens til økende konsentrasjoner gjennom hele overvåkningsperioden. Partikkelfraksjoneringen viste at metallene i ulik grad var bundet til partikler. Jern og bly hadde en betydelig andel bundet til partikler. Den fraksjonen regnes stort sett å være utilgjengelig for biologisk opptak. Fraksjonen med labile frie metallioner ble registrert for alle metaller. Andelene var stort sett små, og størst for kadmium og sink. Den resterende delen var bundet til organiske molekyler (humus). Konsentrasjonene av total og løste metaller viste økte tilførsler i nedre del av Vellebekken, fra området med gammelt deponi/anleggsvirksomhet. I dette området ble det også registrert avløpsrør langs bekkanten som potensielt kan ha gitt utslipp av metaller. Tilførsler fra disse kildene kommer i tillegg til de som måtte komme pga anleggsarbeidene. Observerte årlige variasjoner i konsentrasjoner kunne ikke knyttes til anleggsvirksomheten.

I løpet av overvåkingen økte konsentrasjonene av kvikksølv fra moderat forurenset til meget sterkt forurenset vann. To meget høye konsentrasjoner ble registrert 8. november 2007 med 114 ng/l og 44 ng/l på henholdsvis referansestasjon og nederste stasjon. Vi kan ikke utelukke at det lekker kvikksølv fra det gamle deponiet, det er imidlertid klart at det er betydelige tilførsler fra områder oppstrøms anleggsarbeidene

Konsentrasjonene av PAH viste de fleste årene en tydelig avrenning fra deponiområdet. I 2005 var imidlertid avrenningen liten og det var ingen forskjell mellom stasjonene. Et utslipp 2. august 2006, eller en periode forut, medførte høyt gjennomsnitt i dette året. Dette falt sammen med en høy konsentrasjon av ammonium. Disse tilførslene kan meget vel ha samme kilde (se over). Det ble registrert en videre økning av PAH langs deponiet i 2008. PAH er typisk for forurensning fra vei (trafikk og veidekke). Avrenning fra veien kan være med å forklare økningen etter avslutningen av anleggsarbeidet.

Det var tydelig avrenning av PCB fra det gamle deponiområdet til Vellebekken. Det var seshongvariasjon med høyest konsentrasjoner i sommerhalvåret. PCB er et forbudt stoff, og vil først og fremst være å finne i deponier eller grunn der PCB holdige oljer tidligere har vært i bruk.

For heksaklorbenzen (HCB) var det bare små forskjeller mellom stasjonene. Målingene av DDT kan tyde på at det kommer DDT fra områdene oppstrøms anlegget, og at det er en viss lekkasje av DDT fra den nedre delen av det gamle deponiet.

Under en periode med mye anleggsaktivitet i nedre del av Vellebekken ble det målt konsentrasjoner av stoffer i den såkalte BTEX gruppen (benzen, toluen, etylbenzen, xylene) i vannprøver. Konsentrasjonene var lave, og de ble aldri målt over deteksjonsgrensene.

Konsentrasjonene av olje (C10-C40) var generelt lave, oftest under deteksjonsgrensene. Bare i 2006 var det høyere konsentrasjoner i deponiområdet enn på referansestasjonen. Forholdsvis høye konsentrasjoner ble målt 2. august 2006. Dette er samme tidspunkt som for funn av høy ammoniumkonsentrasjon og høy PAH konsentrasjon. Det er sannsynlig at stoffene kommer fra samme kilde.

Generelt var sedimentet i Vellebekken lite/ubetydelig forurenset sett i forhold SFT klassifikasjonssystem for sedimenter. Enkelte prøver var moderat forurenset av enkelte stoffer.

Presterødkilen

De aller fleste metaller i sedimentet i Presterødkilen hadde konsentrasjoner innenfor det som betegnes som lite eller ubetydelig forurenset i henhold til SFTs klassifiseringssystem. For kadmium, kvikksølv og sink var enkelte prøver også moderat forurenset. Selv om de fleste metallene var i samme forurensningsklassene før og etter anleggsperioden, ble det observert en økning i konsentrasjoner. Det indikerer at tilførsler har medført akkumulering i sedimentet. En kilde er da de gamle deponiene. Andre kilder kan sannsynligvis også påvirke disse sedimentene, slik som båttrafikken til og fra Tønsberg havn og den generelle avrenningen fra Tønsberg sentrum.

For organiske forurensninger var det også små endringer i sedimentet fra 2004 til 2007. Der det ble observert endringer var det lavere konsentrasjoner etter anleggsslutt enn før.

Konsentrasjonsnivåene av tungmetaller og organiske miljøgifter i blåskjell var stort sett innenfor det som anses å være lite eller ubetydelig forurensning både før og etter anleggsperioden. Unntaket var konsentrasjonen av PAH som hadde økt til moderat forurensning i 2007. Også for de øvrige stoffene var en økning i konsentrasjonene fra 2004 til 2007, uten at det medførte endret forurensningsklasse.

Blåskjellene ble tatt samme sted som sedimentprøvene. Og som for sedimentet, er det sannsynligvis også andre kilder som vil kunne påvirke opptak i blåskjell, slik som forurensninger fra båttrafikken og den generelle avrenningen fra gatene i Tønsberg sentrum.

Bunndyrsamfunnet var ikke vesentlig forskjellig i 2007 sett i forhold til 2004. Det ble riktig nok påvist en forurensningsindikator i forholdsvis høyt antall. Det er imidlertid vanskelig å knytte dette funnet til anleggsvirksomheten ved Vellebekken.

Konklusjon

Under hele perioden fra 2004 til 2007 ble det påvist tilførsler av metaller og organiske forurensninger fra de gamle fyllingene ved Vellebekken, eller fra utslipp i dette området. For noen stoffer har hovedkildene vært i områder lengre oppe i vassdraget.

Konsentrasjonsnivåene har stort sett vært moderat høye, men variable. For enkelte metaller som kobber og kvikksølv ble det tidvis påvist høye konsentrasjoner, men uten at dette kunne knyttes til anleggsvirksomheten.

Det kan ikke utelukkes at anleggsvirksomheten har bidratt til forurensning av Vellebekken og Presterødkilen, enten ved direkte avrenning fra anlegget, indirekte ved graving eller andre endringer i deponiet. Forurensningsnivået i bekken kunne imidlertid i liten grad kobles mot registrerte hendelser ved anlegget (mulig unntak 2.august 2006). De tiltakene som ble gjennomført av entreprenøren for å hindre forurensning av bekken synes å ha hatt god virkning. Uten tiltakene er det sannsynlig at både Vellebekken og Presterødkilen ville ha blitt utsatt for et langt større forurensningspress.

1. Innledning

I forbindelse med vegbygging langs Vellebekken er det gravet i, lagt press på og flyttet på masser fra et gammelt avfallsdeponi. Det har derfor foreligget muligheter for avrenning/utlekking av miljøgifter fra deponimassene til bekken. Utover dette vil den normale anleggsaktiviteten også medføre en viss fare for avrenning av forurensninger til bekken. Eventuell avrenning vil gå til Vellebekken og videre til Presterødkilen. Presterødkilen er et Ramsar naturreservat. Miljøvernmyndighetene hadde derfor satt strenge krav til utslipp og overvåkning av resipientene. Det ble satt i verk tiltak for å begrense avrenning av forurensninger fra anlegget til resipientene.

Før Vellebekken når anleggsområdet har den gått gjennom et flatt landbrukslandskap. Deler av bekken går gjennom områder med tettbebyggelse. Det er en middels stor bekk med stor variasjon i vannføringen. Den nederste delen av bekken går gjennom områder av leire, og erosjon i elveleiet vil naturlig medføre høye konsentrasjoner av partikler. I tillegg vil det i nedbørsperioder være betydelig erosjon og avrenning fra landbruksarealer.

Overvåkingen startet november 2004 med registrering av referansesituasjonen. Anleggsarbeidene ved Vellebekken kom i gang sommeren 2005. Anleggsarbeidene ble avsluttet høsten 2007. Det var deretter en etterkontroll av situasjonen over ca ett år. Overvåkingen ble avsluttet i oktober 2008.

Det ble lagt opp til en jevnlig overvåkning av forurensningssituasjonen i anleggsperioden med muligheter for å gå inn med nye tiltak under veis. I tillegg til det gamle deponiet ble det også registrert andre potensielle kilder til forurensning av Vellebekken som utslipp fra kommunal pumpestasjon, avrenning fra landbruk, graving i forurensede masser (kommunen) og gamle overvannsrør.

Før anleggsarbeidene startet ble det gjort undersøkelser av hva slags miljøgifter som kunne påtreffes i det gamle deponiet (Norconsult). Med disse miljøgiftene som utgangspunkt ble overvåkingen basert på måling av et utvalg av tungmetaller, organiske miljøgifter og ammonium samt av støttevariablene pH, partikler og konduktivitet i vannfase. Det ble også målt på et utvalg miljøgifter i sedimentet i Vellebekken før anleggsarbeidet startet. I Presterødkilen ble det utført en analyse av miljøgifter i sedimentet før og etter anleggsvirksomheten. Her ble det i tillegg utført en før-etter analyse på miljøgifter i blåskjell samt en analyse av bløtbunnsfaunaen. Disse analysene vil i stor grad også fange opp virkningen av eventuell avrenning fra selve anleggsarbeidene og deponiet samt avrenning fra de andre kildene nevnt over.

Gjennom hele perioden er det laget halvårlige datarapporter (notater) med gjennomgang av situasjonen de siste 6 månedene. Det er i tillegg laget egne notater over referansesituasjonen for sedimentet i Vellebekken (NIVA-Notat, april 2005), et tilfelle av fiskedød i Vellebekken (NIVA-Notat, oktober 2005) og om kvikksølvforurensningen i Vellebekken (NIVA-Notat, 7. februar 2007).

Utslippskonsentrasjoner fra et mobilt renseanlegg for vann fra en byggegrøp i forurenset grunn er omtalt i notat av Norconsult 11. januar 2006.

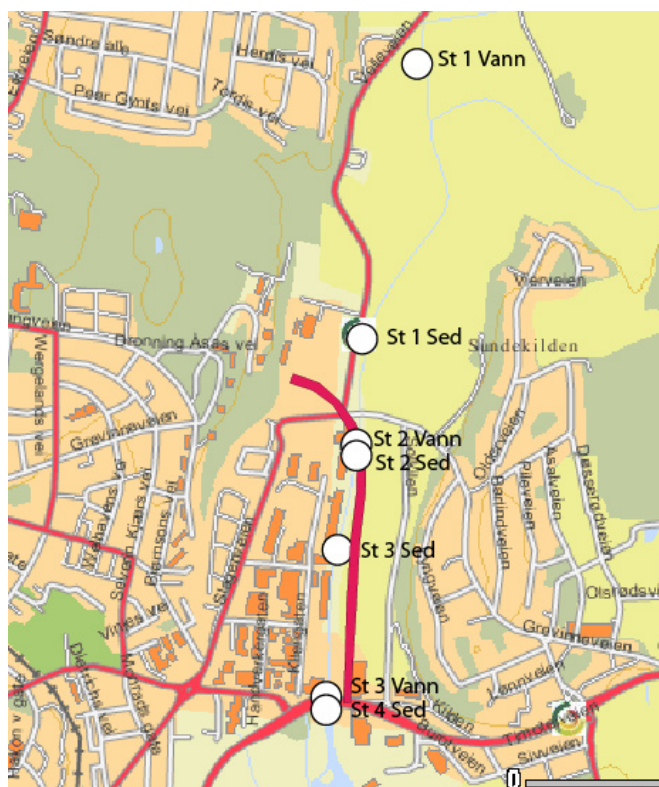
2. Metoder

2.1 Vannprøver

I Vellebekken ble det tatt vannprøver fra 3 stasjoner. Stasjon 1 er øverst i bekken og fungerer som referansestasjon (**Figur 1**). Prøvene ble fram til 2008 tatt av personell fra Statens vegvesen etter forutgående opplæring. I 2008 ble prøvene tatt av personell fra NIVA.

Tre fraksjoner av tungmetaller ble tatt ved stikkprøver og ved fraksjonering i felten med SPE metodikk. Metoden gir løst/labil, humusbundet og partikkelbundet fraksjon. Ved passive prøvetakere, såkalte DGT, ble det målt gjennomsnittlige konsentrasjoner over perioder på 4-6 uker av løste tungmetaller. Vannprøver for analyse av kvikksølv ble tatt som stikkprøver i egne spesialflasker. Parallellt med DGT ble passive prøvetakere også anvendt for å måle innholdet av organiske miljøgifter. Målemetoden kalles SPMD, og måler den gjennomsnittlige konsentrasjonen av organiske miljøgifter over en periode på 4-6 uker.

Prøvetakingen startet senhøsten 2004 (noe avhengig av variabel) og avsluttet 1. oktober 2008. I foreliggende sluttrapport er det beregnet gjennomsnittsverdier for hvert år. Det er valgt å begynne hvert år med oktoberprøven. For eksempel blir ”2006” således fra og med oktoberprøvene 2005 til og med septemberprøven 2006. Fordi prøvetakingen startet senere i 2004 har ”2005” noen færre prøver enn de etterfølgende årene.



Figur 1. Stasjonskart for vannprøver og sedimentprøver i Vellebekken. Ny veistrekning er antydnet langs østre bredden.

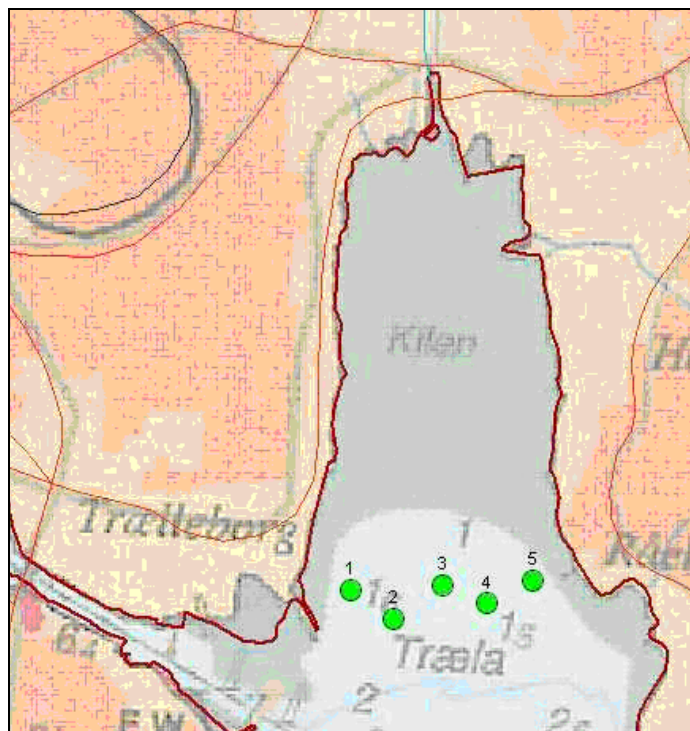
2.2 Sedimenter

2.2.1 Vellebekken

11. april 2005 ble det tatt ut sedimentkjerner på fire steder i Vellebekken (**Figur 1**). Hensikten var å ha et referansesediment i tilfeller av uhellsutslipp til bekken. Det ble tatt ut fra toppskiktet (0-5 cm) og nede i kjernene (15-20 cm). Prøvene ble analysert på de forbindelsene som tidligere ble ansett viktige å vite noe om i dette området, og som ble analyserte i forbindelse med sedimentprøver etter uhellsutslippet til Kortebekken i desember 2004 (Bækken & Tjomsland 2005, Bækken). Kortebekken renner ut i Homansbekken og videre til naturreservatet Ilene. Det har foregått en egne overvåkning av Homansbekken og Ilene

2.2.2 Presterødkilen

Overflatesediment fra 5 stasjoner fordelt tvers over Presterødkilen på 1-1.5 m dyp ble analysert på tungmetaller og organiske miljøgifter (**Figur 2**). Det ble tatt prøver 1. desember 2004 og 30.11.2007, henholdsvis før og etter anleggsperioden.



Figur 2. Prøvetakingsstasjoner 1-5 for sediment og bløtbunnsfauna i Presterødkilen. Blåskjell for analyse av miljøgifter er hentet fra st 1, st 3 og st 5.

2.3 Biologisk akkumulering

Blåskjell ble tatt fra de samme stasjonene i Presterødkilen som sedimenter og bløtbunnsfaunaen (**Figur 2**). Bløtdelene ble analysert på de samme tungmetallene og organiske miljøgiftene som i sedimentet. Det ble tatt prøver 1. desember 2004 og 30.11.2007, henholdsvis før og etter anleggsperioden.

2.4 Bunndyrsamfunn

Bunndyrprøver ble tatt fra stasjonene 1-5 i Presterødkilen. Det ble tatt prøver 1. desember 2004 og 30.11.2007, henholdsvis før og etter anleggsperioden. Prøvene til faunaanalyse ble tatt med en 250 cm² Van Veen grabb. Fire hugg fra hver stasjon ble samlet til en blandprøve. Materiale ble siktet gjennom en 1 mm sikt. Ved laboratorieopparbeidingen ble dyrene sortert fra siktematerialet, identifisert og antallet notert.

Ut fra registreringene ble det beregnet artsmangfold ved indeksen H' (Shannon & Weaver 1963) og Hurlberts indeks ES(100) (Hurlbert 1971) der dette var mulig ut fra artstellingene. Andelen forurensningsømfintlige arter i faunasamfunnet ble beregnet ved indeksen ISI (Indicator Species Index, Rygg 2002). Resultatene er vurdert etter SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (SFT 1997) og intern NIVA-klassifisering for ISI (Rygg 2002).

3. Vellebekken

3.1 Vannkjemisk overvåkning 2004-2008

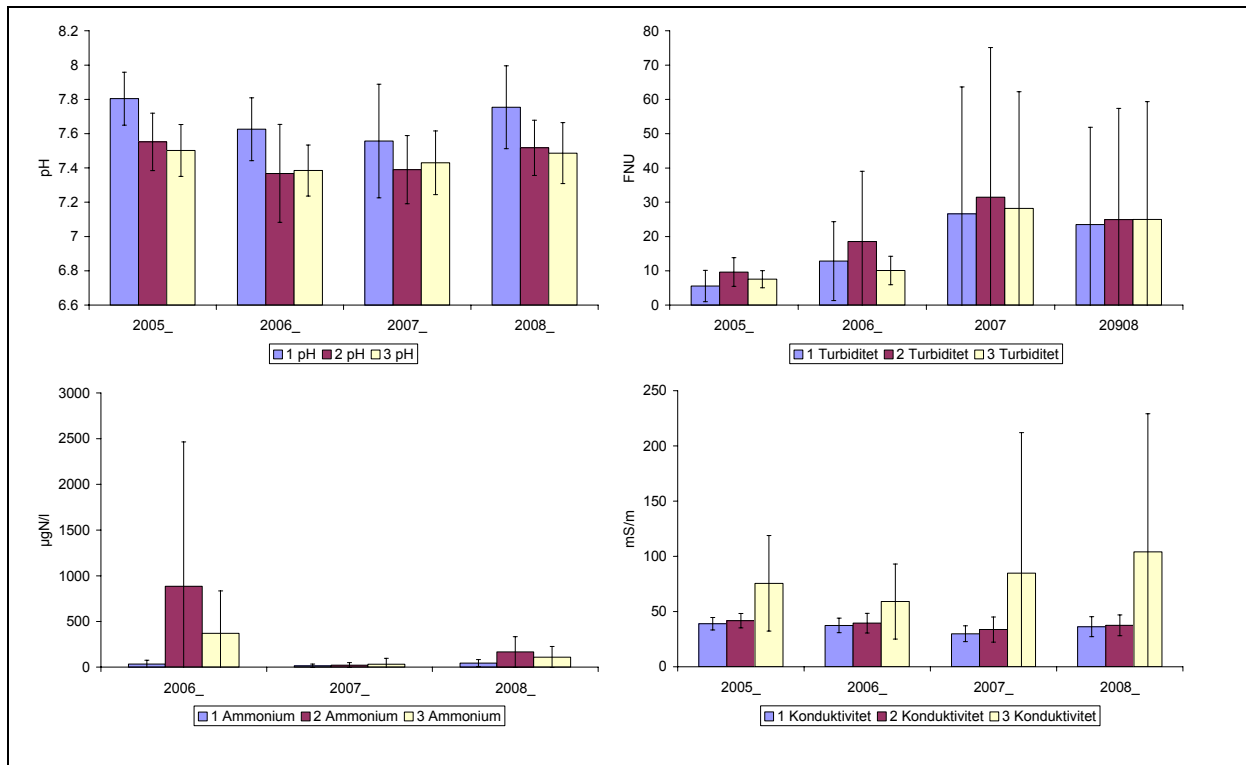
3.1.1 pH, konduktivitet, partikler og ammonium

pH verdiene var moderat høye, og ganske stabile gjennom hele undersøkelsesperioden, og lå stort sett mellom ca 7 og 8 (**Figur 3**). Det har gjennomgående vært høyere pH ved st 1 enn lengre nedstrøms. Det viser at det er tilførsler av surere vann i den nedre delen av bekken, mest sannsynlig fra det gamle deponiet.

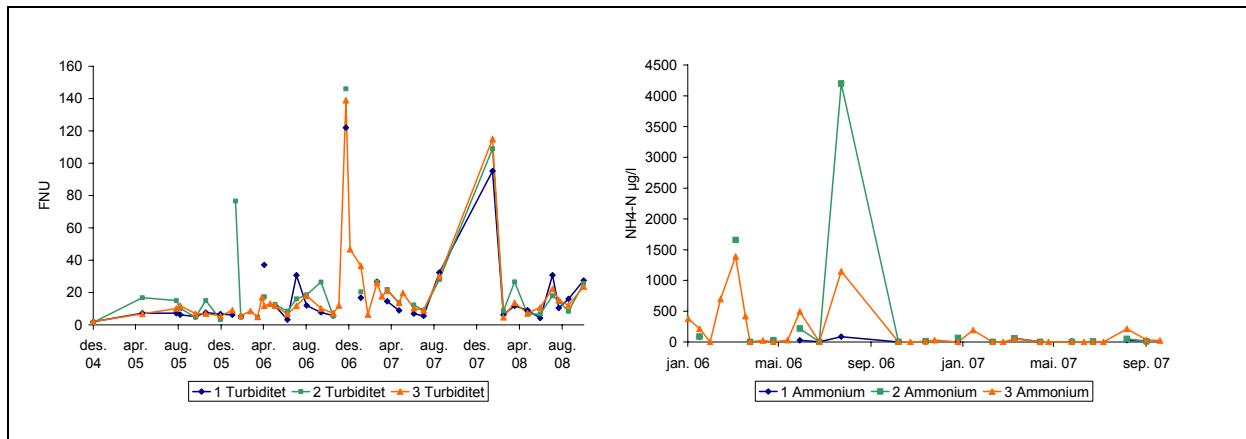
Konduktiviteten har vært moderat høy med verdier stort sett mellom ca 25 mS/m og 50 mS/m. Enkelte høye konsentrasjonstopper ble imidlertid registrert på nederste stasjon (st 3). Dersom prøvene er tatt ved høy flo kan høy konduktivitet skyldes innslag av saltvann.

Turbiditeten (partikkelkonsentrasjonen) i vannet har tidvis vært høy. Det var vesentlig høyere gjennomsnittskonsentrasjoner i 2007 og 2008 enn de foregående årene. Det ble observert store variasjoner, særlig de siste to årene (**Figur 4**). Konsentrasjonene har vært nokså like på alle stasjonene, inkludert referansestasjonen. Selv om anleggsvirksomheten i perioder kan ha bidradd med partikkelavrenning vil avrenning fra de store jordbruksarealene under regnvær medføre betydelig partikkeltransport. Ved høy vannføring vil det også være erosjon i elveleiet som vil gi økt partikkeltransport.

Forhøyede konsentrasjoner av ammonium (NH₄) ble observert særlig i 2006. Konsentrasjonene varierte mye, fra under deteksjonsgrensen til 4200 µg/l (**Figur 4**). Maksimumkonsentrasjonene ble observert 2. august 2006. Det ble da samtidig registrert høye konsentrasjoner av bl.a. PAH og olje. Dette itlskrives utslipp denne dagen og sannsynligvis en periode forut. Høye konsentrasjoner ble stort sett bare observert på St 2 og St 3. Det ble, i følge vegvesen og entrepenør, ikke registrert noen utslippshendelser ved anlegget denne perioden. Utslippets sammensetning av kjemiske variable vil passe med avrenning fra anlegg og strengstein, men vi kan ikke utelukke at forurensningen har vært forårsaket av andre hendelser som for eksempel overløp fra kommunal pumpestasjon. I periodene med de høyeste konsentrasjonene av ammonium ble det fra temperatur og pH anslått at ammoniakkandelen (NH₃) av ammonium var godt under giftig konsentrasjon. I 2007 var konsentrasjonene av ammonium i Vellebekken forholdsvis lave.



Figur 3. pH, konduktivitet, turbiditet og ammonium (NH₄-N) ved tre stasjoner i Vellebekken målt som stikkprøver i 2007. St 1 er referansestasjon oppstrøms anlegget.



Figur 4. Konsentrasjoner av partikler (turbiditet) og ammonium (NH₄-N) i Vellebekken i hele perioden fra høsten 2004 til høsten 2008.

3.1.2 Metaller

Årlige gjennomsnittkonsentrasjoner for tungmetallene krom (Cr), nikkel (Ni), bly (Pb) og sink (Zn) lå oftest i området for moderat forurenset vann sett i forhold til SFTs kriterier for ferskvann (Andersen m. fl. 1997) (Figur 5). For kadmium var den gjennomsnittlige konsentrasjonen relativt sett noe høyere, og lå ofte i området for markert forurenset vann. Konsentrasjonene av kobber lå ofte i området for sterkt forurenset vann, og det har vært en tendens til økende konsentrasjoner gjennom hele

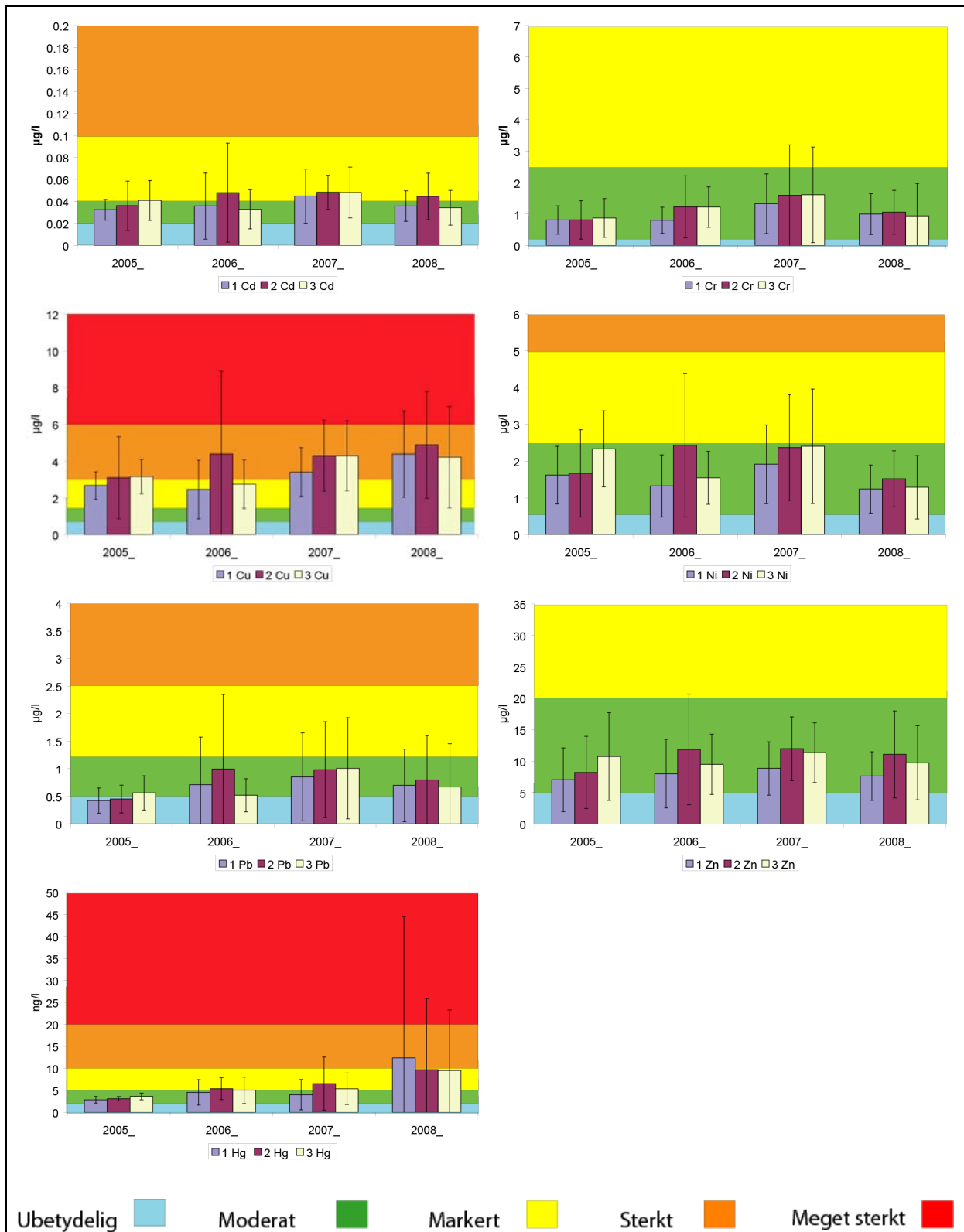
overvåkingsperioden, men med store variasjoner (**Figur 6**). For alle disse metallene var det som regel høyere konsentrasjoner ved st 2 og st3 enn på referansestasjonen, noe som viser at det foregår avrenning av metaller fra deponiområdet. For noen av metallene ble det observert noe økende gjennomsnittskonsentrasjoner i slutten av anleggsperioden og en reduksjon etter anleggsperioden. Som regel var det tilsvarende variasjon på referansestasjonen, slik at denne endring kan knyttes til anleggsvirksomheten.

I starten av overvåkningen var konsentrasjonene av kvikksølv oftest i forurensningsklasse moderat forurenset vann. Etter hvert ble det observert økende konsentrasjoner. De høyeste konsentrasjonene ble observert etter avslutning av anleggsarbeidene. Gjennomsnittskonsentrasjonene tilsvarte da markert og meget sterkt forurenset vann. To meget høye konsentrasjoner ble registrert 8. november 2007 med 114 ng/l og 44 ng/l på henholdsvis St 1 og St 3 (**Figur 6**). Vi kan ikke utelukke at det lekker kvikksølv fra det gamle deponiet, men det er også tilførsler fra områder oppstrøms anleggsarbeidene.

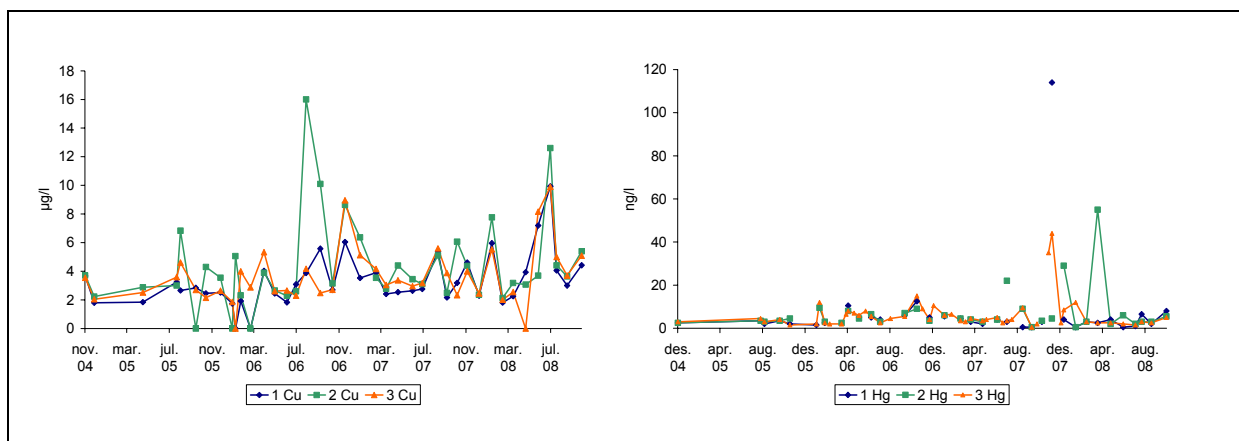
Partikkelfraksjoneringen (SPE) viste at metallene i ulik grad var bundet til partikler (**Figur 7**). Jern og bly hadde en betydelig andel bundet til partikler. Den fraksjonen regnes stort sett utilgjengelig for biologisk opptak. Labile, frie, metallioner ble registrert for alle metaller. Andelen var stort sett små, og størst for kadmium og sink. Det var en høyere andel labile ioner langs deponiområdet enn på referansestasjonen. Dette skyldes etter all sannsynlighet det surere vannet som lekker ut av fyllingen nedover. Denne delen regnes å være lett tilgjengelig for biologisk opptak, og derfor den mest giftige delen. Den resterende delen av metallene var bundet til organiske molekyler (humusbundet). Dette var den klart største fraksjonen for de fleste metallene. Denne fraksjonen kan være biologisk tilgjengelig, men vanligvis er humus med på å binde opp metaller og derved redusere giftigheten til metallene.

Gjennomsnittskonsentrasjonene av løste metallioner (målt med DGT) viste gjennomgående lavere konsentrasjoner på referansestasjonen enn på stasjonene lengre nedstrøms (**Figur 8**). Dette bekrefter resultatene fra stikkprøvene at det er metalltilførsler fra deponiområdet. Det ble imidlertid også registrert avløpsrør langs bekkekanten som potensielt kan gi utslipp av metaller. Tilførsler fra disse kildene kommer i tillegg til de som måtte komme pga anleggsarbeidene.

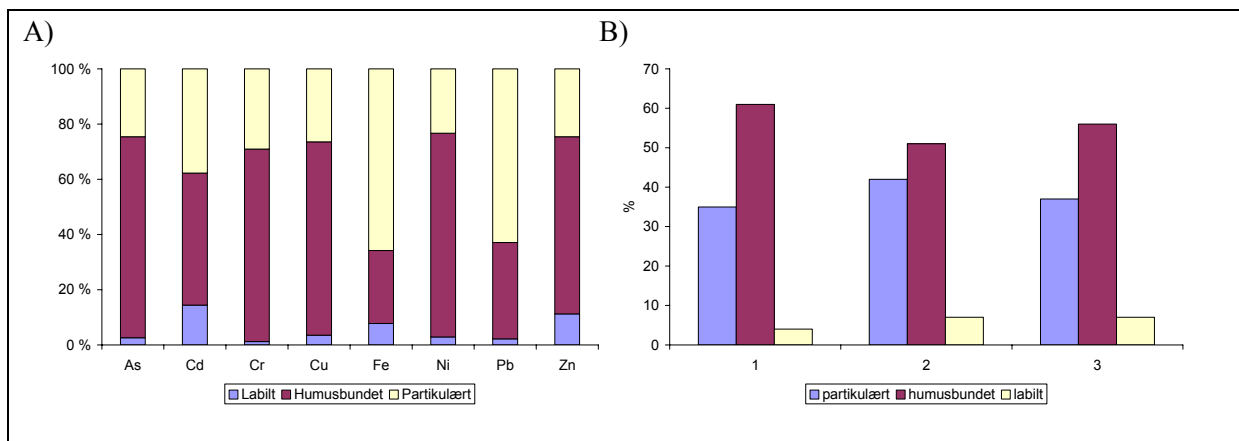
Det var ofte store variasjoner i konsentrasjonene. For de fleste metallene var imidlertid konsentrasjonene lave. Derfor kan små forurensinger av prøvene under prøvetaking og normale analyseusikkerheter ved lave konsentrasjoner gi tilfeldige variasjoner.



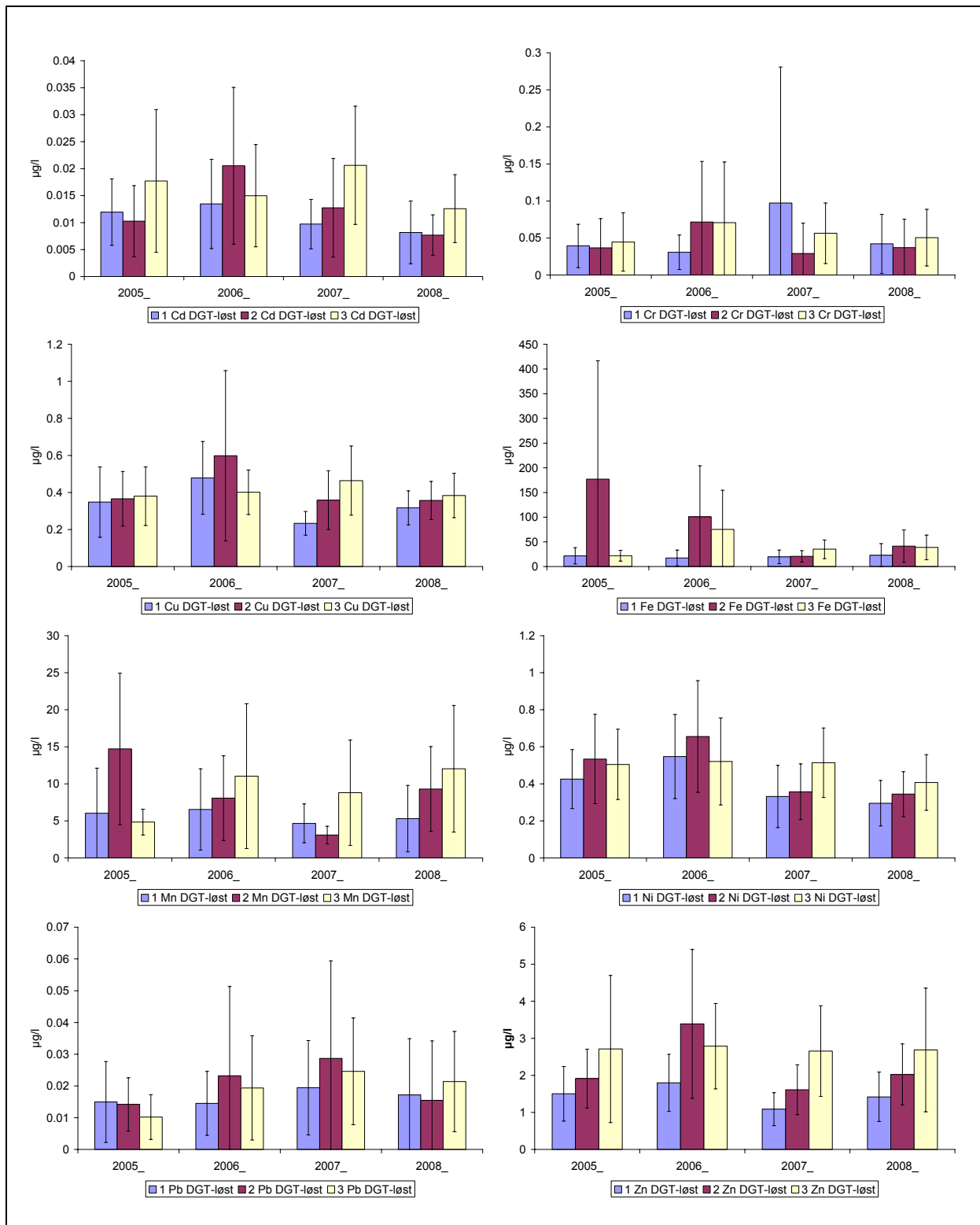
Figur 5. Gjennomsnittlige totalkonsentrasjoner av metaller (ufiltret) ved tre stasjoner i Vellebekken angitt for hvert år. Variasjonen er gitt som +/- ett standardavvik. Sett i forhold til SFTs forurensingsklasser (Andersen et.al. 1997).



Figur 6. Totalkonsentrasjoner av kobber (Cu) og kvikksølv (Hg) i Vellebekken i hele perioden fra høsten 2004 til høsten 2008.



Figur 7. Fordelingen av metaller på ulike typer partikkelfraksjoner i forhold til biotilgjengelighet. Målt ved SPE stikkprøver i hele perioden. A) gjennomsnittlig fordeling for hvert metall på alle tre stasjonene B) gjennomsnittlig fordeling av alle metaller på hver stasjon. Labile ioner er meget biotilgjengelige, humusbundne er mindre tilgjengelige, mens partikkelbundne metaller er lite tilgjengelige.



Figur 8. Gjennomsnittlige konsentrasjoner av løste metaller målt ved DGT på tre stasjoner i Vellebekken for hvert år. Variasjonen er angitt som \pm ett standardavvik.

3.1.3 Organiske miljøgifter

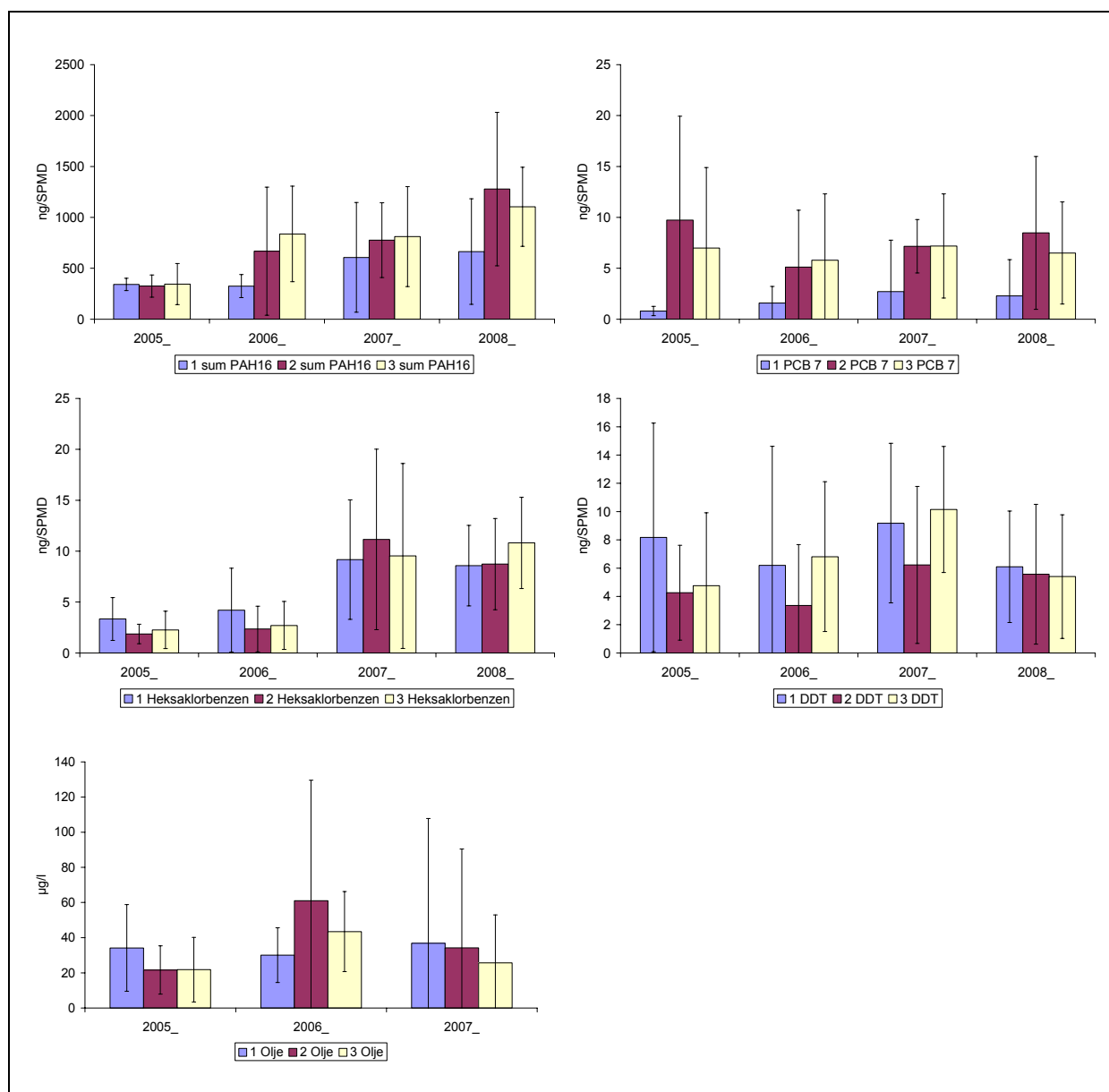
Konsentrasjonene av PAH viste de fleste årene en tydelig avrenning fra st 2 og st 3 i deponiområdet (**Figur 9**). I 2005 var det imidlertid ingen forskjell mellom stasjonene og konsentrasjonene var lave. Økningen i gjennomsnittskonsentrasjonen i 2006 var forårsaket av høye verdier fra augustprøven (4 ukers gjennomsnitt) (**Figur 10**). Dette faller sammen med høy konsentrasjon av ammonium. Disse kan meget vel ha samme kilde, som kan være knyttet til anleggsarbeidene (lekkasje/avrenning fra anleggsmaskiner og sprengstein). Det ble i følge statens vegvesen og entrepenør ikke registrert utslippshendelser denne dagen eller perioden før. Vi kan ikke utelukke utslipp fra andre kilder i deponiområdet (se 3.1.1). Konsentrasjonene i 2007 var som i 2006. I 2008 ble det registrert en videre økning av PAH på st 2 og st 3 (etter anleggsslutt). PAH er typisk for forurensning fra vei (trafikk og veidekke). Begge disse stasjonene ligger nedstrøms det nye veianlegget. Avrenning fra veien kan derfor være med på å forklare økningen etter avslutningen av anleggsarbeidet.

Av klororganiske forbindelser ble det registrert en tydelig avrenning av PCB7 fra det gamle deponiområdet (**Figur 9**). De årlige gjennomsnittskonsentrasjonene var alltid vesentlig høyere ved st 2 og st 3 enn på referansestasjonen. Det ble observert store variasjoner. Noe av variasjonen syntes å være seshengavhengig ved at høyere konsentrasjoner av PCB ble observert ved st 2 og st 3 i sommerhalvåret (**Figur 10**). PCB er et forbudt stoff, og vil først og fremst være å finne i deponier eller grunn der PCB holdige oljer tidligere har vært i bruk.

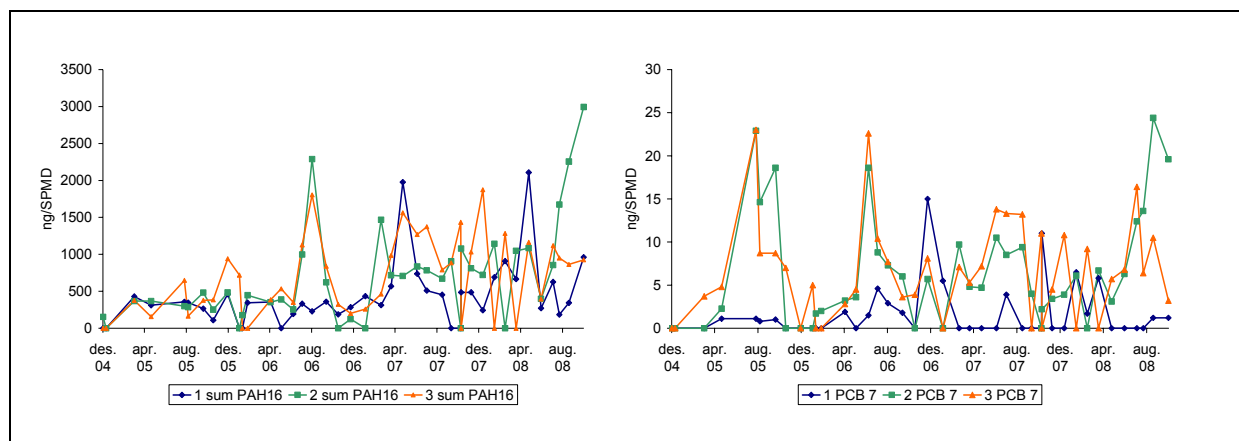
For heksaklorbenzen (HCB) var det bare små forskjeller mellom stasjonene. Det synes altså ikke å være noen større avrenning fra det gamle deponiet eller fra anlegget. Det ble imidlertid registrert en generell økning i 2007 og 2008 i forhold til de foregående årene. Det er uvisst hva som er årsaken. Økningen sammenfaller med økt konsentrasjon av partikler. Det kan være en sammenheng her, men den er langt fra klar. Konsentrasjonene av DDT (summen av DDD og DDE, nedbrytningsprodukter av DDT) var i gjennomsnitt høyere både på referansestasjonen og st 3 enn på st 2. Dette kan tyde på at det kommer DDT fra områdene oppstrøms anlegget, og at det er en viss lekkasje av DDT fra den nedre delen av det gamle deponiet.

Under en periode med mye anleggsaktivitet i nedre del av Vellebekken ble det målt konsentrasjoner av stoffer i den såkalte BTEX gruppen (benzen, toluen, etylbenzen, xylene) i vannprøver. Konsentrasjonene var lave, og ble aldri målt over deteksjonsgrensene.

Konsentrasjonene av olje (C10-C40) var generelt lave og hadde verdier stort sett under deteksjonsgrensene. Bare i 2006 var det høyere konsentrasjoner på st 2 og st 3 enn på referansestasjonen. Utslagsgivene for det høye gjennomsnittet var særlig en prøve med forholdsvis høye konsentrasjoner 2. august 2006. Dette er samme tidspunkt som for høy ammoniumkonsentrasjon og høy PAH konsentrasjon. Det er sannsynlig at stoffene kommer fra samme kilde.



Figur 9. Gjennomsnittlig konsentrasjoner av sum PAH16, PCB7, HCB (heksaklorbenzen) og DDT (sum pp'DDD og pp'DDE) målt med SPMD på tre stasjoner i Vellebekken. Olje er målt i vannprøver. Variasjonen er gitt som +/- ett standardavvik.



Figur 10. Konsentrasjoner av PAH og PCB på tre stasjoner i Vellebekken i hele perioden fra høsten 2004 til høsten 2008.

3.2 Sedimentkjemi

Generelt var sedimentet i Vellebekken lite forurenset sett i forhold til alle analyserte parametere (**Tabell 1**). Enkelte prøver var moderat forurenset av enkelte stoffer: Det var forhøyede konsentrasjoner av krom på alle stasjoner unntatt st 2. Det var noe forhøyede konsentrasjoner ("moderat forurenset") av DDT på st. 2 og st. 4. På st. 4 ble det også registrert noe forhøyede konsentrasjoner av olje, PAH (herav også B(a)P, benzo(a)pyren). For øvrig var sedimentet ubetydelig forurenset vurdert etter SFTs sedimentkvalitetskriterier. Det ble ikke registrert alvorlige utslippshell i anleggperioden. Det ble derfor ikke nødvendig med etterundersøkelse av sedimentet her.

Tabell 1. Tungmetaller i sedimenter fra Vellebekken 11.04.2005. Fargene refererer til SFTs forurensningsklasser (Andersen et.al. 1997).

	II – Moderat		III – Markert		IV - Sterkt		V – Meget sterkt	
I - Ubetydelig	As mg/kg	Cd Mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
St. 1 0-5 cm	2.4	0.1	6.29	5.56	0.009	5.83	6.2	34.6
St. 1 15-20 cm	7.2	<0.06	21.6	9.38	0.016	17.6	7.1	45.2
St. 2 0-5 cm	2.1	0.2	8.15	6.03	0.033	6.68	5.8	39
St. 2 15-20 cm	2.9	0.2	8.46	6	0.022	7.94	6.7	43.7
St. 3 0-5 cm	2	0.08	3.73	2.31	0.009	3.8	4	25.9
St. 3 15-20cm	3.7	0.2	17.6	10.4	0.018	14.7	5.5	38.2
St. 4 0-5 cm	3.3	0.1	10.8	8.78	0.051	9.12	12.3	45.5
St. 4 15-20cm	3.8	0.1	15.7	8.61	0.017	12.9	5.8	34.8

Tabell 2. Utvalg organiske miljøgifter i sediment fra Vellebekken 11.04.2005. PAH forbindelser, hvorav B(a)P er en av de vanlige. Fargene refererer til SFTs forurensningsklasser (se over).

	organisk %	Sum PAH µg/kg t.v.	B(a)P µg/kg t.v.	Olje mg/kg t.v.	PCB 7 µg/kg t.v.	HCB µg/kg t.v.	DDT µg/kg t.v.
St. 1 0-5 cm	1.4	45.8	2	<100	0.23	<0.2	<0.2
St. 1 15-20 cm	3.7	19.5	<1	<100	0	<0.2	<0.2
St. 2 0-5 cm	4.2	89.1	3.2	130	1.54	<0.2	1.2
St. 2 15-20 cm	2	60.1	2.5	<100	0.88	<0.2	0.85
St. 3 0-5 cm	1.3	12	<1	<100	0	<0.2	<0.2
St. 3 15-20cm	8	32	<1	<100	0	<0.2	<0.2
St. 4 0-5 cm	10.3	442.7	32	360	1.9	<0.2	1.42
St. 4 15-20cm	6.8	53.3	1.8	<100	0	<0.2	<0.2

4. Presterødkilen

4.1 Sediment

Prøver fra sedimenter i Presterødkilen etter anleggsslutt i 2007 viste konsentrasjoner stort sett innenfor det normale for tungmetaller (**Tabell 3**). Det ble imidlertid registrert en betydelig prosentvis økt konsentrasjon i alle prøver sammenlignet med prøvene tatt før anleggsstart i 2004, selv om det som regel ikke medførte endring av forurensningsklasse. For de aller fleste stoffene var konsentrasjonene innenfor det som betegnes som forurensningsklasse I (lite eller ubetydelig forurenset) i henhold til SFTs klassifiseringssystem. For kadmium, kvikksølv og sink var enkelte prøver også i klasse II (moderat forurenset). Det indikerer tilførsler som har medført akkumulering i sedimentet. Prøvene fra 2004 og 2007 er tatt på samme lokaliteter ved bruk av GPS. Selv om det naturlig vil være variasjoner mellom prøver, er det meget mulig at endringene fra 2004 til 2007 skyldes nye tilførsler til sedimentet. En kilde er da utlekking fra de gamle deponiene. Andre kilder kan sannsynligvis også kunne påvirke disse sedimentene, slik som båttrafikken til og fra Tønsberg havn og den generell avrenningen fra Tønsberg sentrum.

For organiske forurensninger var det bare små endringer i sedimentet fra 2004 til 2007 (**Tabell 4**). Der det ble registrert forskjeller, var det lavere konsentrasjoner i 2007. Konsentrasjonene av PAH og av B(a)P var stort sett lave og medførte ubetydelig eller moderat forurenset sediment. Konsentrasjonene av PCB tilsvarte ubetydelig forurenset sediment. For HCB var det også lave konsentrasjoner. For DDT (summen av nedbrytningsproduktene DDE og DDD) ble det observert forhøyede konsentrasjoner i 2004, men ikke i 2007.

Tabell 3. Konsentrasjoner av utvalgte tungmetaller i sediment fra Presterødkilen i 2004 og 2007, før og etter anleggsperioden. Farger angir forurensningsgrad i henhold til SFT kriterier (Andersen et.al. 1997).

			I - Ubetydelig	II – Moderat	III – Markert	IV - Sterkt	V – Meget sterkt
						2004	2007
Organisk stoff	TGT	%				9.1	6.4
Arsen	As	µg/g				2.4	5.6
Kadmium	Cd	µg/g				0.2	0.6
Krom	Cr	µg/g				10.0	26.4
Kobber	Cu	µg/g				8.5	24.7
Kvikksølv	Hg	µg/g				0.037	0.143
Nikkel	Ni	µg/g				7.6	19.3
Bly	Pb	µg/g				5.6	15.7
Tinn	Sn	µg/g				0.9	4.0
Sink	Zn	µg/g				44.5	115.4

Tabell 4. Konsentrasjoner av utvalgte organiske miljøgifter i sediment fra Presterødkilen i 2004 og 2007, før og etter anleggsperioden. Farger angir forurensningsgrad i henhold til SFT kriterier (Andersen et.al. 1997).

			2004	2007
Polyklorerte bifenyler	PCB 7	µg/kg t.v.	1.4	0.6
Heksaklorbenzen	HCB	µg/kg t.v.	0.4	<0.3
DDT	DDT	µg/kg t.v.	2.1	0.8
Polycykliske aromatiske hydrokarboner	PAH 16	µg/kg t.v.	288.4	244.9
Benzo (a) pyren	BAP	µg/kg t.v.	16.5	13.4

4.2 Blåskjell

Konsentrasjonsnivåene av tungmetaller og organiske miljøgifter i blåskjell var stort sett innenfor det som anses å være lite eller ubetydelig forurensning (Forurensningsklasse I i henhold til SFT) både før anleggsstart i 2004 og etter anleggsslutt i 2007. Unntaket fra dette var konsentrasjonen av PAH som hadde økt fra liten/ubetydelig forurensning i 2004 til moderat forurensning i 2007. Også for de øvrige stoffene var en økning i konsentrasjonene fra 2004 til 2007, uten at det medførte endret forurensningsklasse. Prøvene fra 2004 og 2007 ble tatt på samme lokaliteter, med lokalisering ved bruk av GPS. Det er derfor sannsynlig at endringene i konsentrasjoner skyldes økte konsentrasjoner i miljøet og ikke endret prøvested. I hvor stor grad akkumuleringen skyldes anleggsvirksomheten er vanskelig å fastslå.

Under hele perioden fra 2004 til 2007 har det imidlertid vært påvist tilførsler av metaller og organiske forurensninger fra de gamle fyllingene, eller fra utslipp i dette området (for eksempel 2.august 2006). For enkelte stoffer har det vært tilførsler også fra områder lengre oppe i vassdraget. Det har imidlertid ikke vært rapportert spesielle hendelser som kunne forklare disse konsentrasjonstoppene.

For enkelte av de organiske miljøgiftene, særlig PAH, ble det registrert en økende avrenning til Vellebekken også etter anleggsslutt. Dette kan delvis forklares med avrenning fra veiområdet. Avrenningen har ikke påvirket blåskjellene. PAH er en meget vanlig og typisk forurensning fra vei og trafikk.

Blåskjellene er tatt samme sted som sedimentprøvene. Og som for sedimentet, er det sannsynligvis også andre kilder som vil kunne påvirke opptak i blåskjell, slik som forurensninger fra båttrafikken og den generelle avrenningen fra Tønsberg sentrum. Det kan selvsagt ikke utelukkes at anleggsvirksomheten har bidratt til forurensninger, ved direkte avrenning fra anlegget og indirekte ved graving eller andre endringer i deponiforholdene. Uansett har det ikke medført store konsentrasjonsøkninger verken i vannfase, sediment eller i en økt akkumulering i blåskjell.

Tabell 5. Konsentrasjoner av utvalgte tungmetaller i bløtdeler av blåskjell fra Presterødkilen i 2004 og 2007, før og etter anleggsperioden. Farger angir forurensningsgrad i henhold til SFT kriterier (Andersen et.al. 1997).

			2004	2007
Arsen	As	µg/g	0.59	0.97
Kadmium	Cd	µg/g	0.08	0.13
Krom	Cr	µg/g	0.27	0.93
Kobber	Cu	µg/g	0.60	0.87
Kvikksølv	Hg	µg/g	0.01	0.02
Nikkel	Ni	µg/g	0.24	0.52
Bly	Pb	µg/g	0.13	0.29
Tinn	Sn	µg/g	0.05	0.04
Zink	Zn	µg/g	9.12	15.13

Tabell 6. Konsentrasjoner av utvalgte organiske miljøgifter i bløtdeler av blåskjell fra Presterødkilen i 2004 og 2007, før og etter anleggsperioden. Farger angir forurensningsgrad i henhold til SFT kriterier (Andersen et.al. 1997).

			2004	2007
Polyklorerte bifenyl	PCB 7	µg/kg v.v.	0.7	2.7
Heksaklorbenzen	HCB	µg/kg v.v.	<0.05	0.04
DDT	DDT	µg/kg v.v.	0.2	0.9
Polycykliske aromatiske hydrokarboner	PAH 16	µg/kg v.v.	6.9	20.5
Benzo (a) pyren	BAP-B	µg/kg v.v.	<0.05	<0.05

4.3 Bunndyrsamfunn

Bløtbunnsfauna er dyrene som lever på og i sedimentet på sand-, silt- og leirbunn. Undersøkelse av bløtbunnsfauna er en vanlig og standardisert metode til å vurdere virkninger av forurensing.

Faunatilstanden kan i følge vurderingssystemet klassifiseres som mindre god (klasse III) eller dårlig (klasse IV) (Tabell 7). Det grunne dypet og ferskvannspåvirkningen, ved siden av forurensninger, kan ha bidratt til de lave indeksverdiene. Det er vanlig at ISI-indeksen er lavere på grunne lokaliteter, også uten forurensningsbelastning. Det er derfor sannsynlig at ISI-indeksen her har klassifisert tilstanden noe for strengt, og at den kan settes til klasse III i stedet for klasse IV. Som konklusjon kan forurensningstilstanden på ca 1 m dyp i indre Presterødkilen betraktes som mindre god (klasse III).

Bunndyrsamfunnet var ikke vesentlig forskjellig i 2007 sett i forhold til 2004. Det ble riktig nok påvist en forurensningsindikator (*Polydora sp*) i forholdsvis høyt antall. Det er imidlertid vanskelig å knytte dette funnet til anleggsvirksomheten ved Vellebekken.

5. Referanser

- Andersen, J.R., Bratli, J.L., Fjeld, E., Faafeng, B., Grande, M., Hem, L., Holtan, H., Krogh, T., Lund, V., Rosland, D., Rosseland, B.O., og Aanes, K.J. 1997: Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. - SFT-veiledning 97:04, TA-1468/1997.
- Bækken, T., Rygg, B. og Veidel, A. 2007. Rv. 311 Ringveg Nord Tønsberg- avrenning fra veg og tunnel i anleggsfasen. Overvåkning av vannkvalitet og biologi i Homannsbekken og Ilene. Sluttrapport. – NIVA Rapport 5471-2007.
- Bækken, T og Tjomsland-2005-Utslipp av tunnelvann til Kortenbekken. Virkninger på sediment og biologi i Kortenbekken, Homannsbekken og Ilene naturreservat-NIVA Rapport 4948-2005
- Bækken, T., 2004: Overvåkningsprogram for Vellebekken, Homannsbekken og Ramsar-områdene utenfor i forbindelse med bygging av ny vegparsell og tunnel i Tønsberg. NIVA-notat 2004.
- Bækken, T., 2005: Forurensninger i sediment fra Vellebekken april 2005.- NIVA-notat April 2005.
- Bækken, T., 2007: Kvikksølv i Vellebekken.- NIVA-notat 07.02.2007.
- Haugen, T. og Bækken, T. 2005: Fiskedød i Vellebekken, Tønsberg oktober 2005. NIVA-notat 8.november 2005.
- Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J., Sørensen, J., 1997, Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. SFT-rapport TA 1467/1997, 36s, ISBN 82-7655-367-2.
- Norconsult-notat 11.01.2006. Vannanalyser. Utslipp fra mobilt renseanlegg. Sammenstilling av resultater fra prøver tatt i perioden 21.09-3.11 2005.
- Rygg, B., 2002. Indicator species index for assessing benthic ecological quality in marine waters of Norway. NIVA, Oslo. Rapport 4548-2002. 32 s.
- Shannon, C.E. og Weaver, W. 1963. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana., 117 s.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no