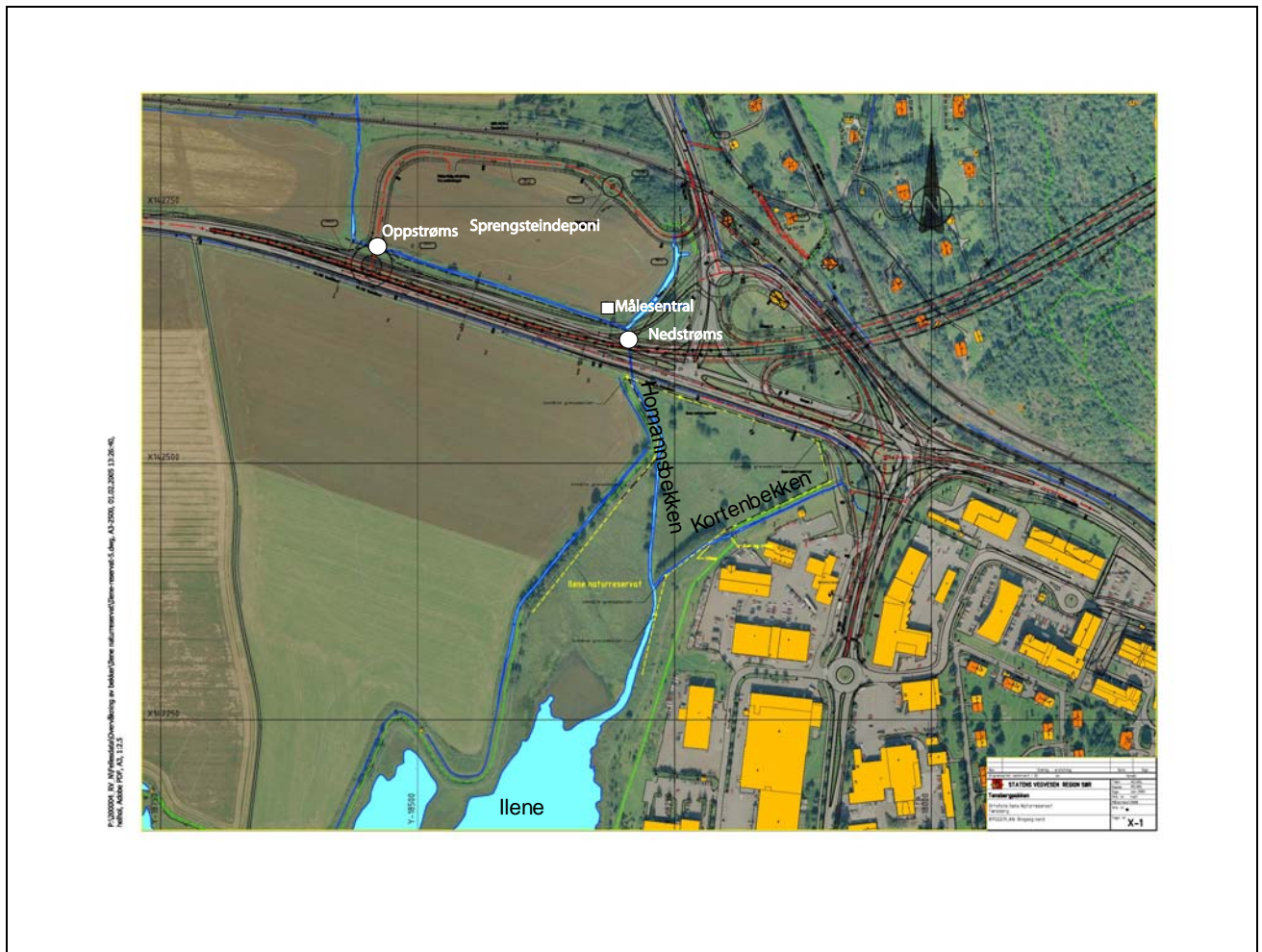




RAPPORT LNR 5471-2007

Rv. 311 Ringveg Nord Tønsberg- avrenning fra veg og tunnel i anleggs- fasen

Overvåkning av vannkvalitet og
biologi i Homannsbekken og Ilene
2004 - 2006. Sluttrapport



Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 18 51 00
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Rv. 311 Ringveg Nord Tønsberg- avrenning fra veg og tunnel i anleggsfasen. Overvåkning av vannkvalitet og biologi i Homannsbekken og Ilene. Sluttrapport.	Løpenr. (for bestilling) 5471-2007	Dato 01.08.2007
	Prosjektnr. Undernr. 24256	Sider Pris 31
Forfatter(e) Torleif Bækken, Brage Rygg og Arne Veidel	Fagområde Integrert vannforvaltning	Distribusjon
	Geografisk område Vestfold	Trykket NIVA
Oppdragsgiver(e) Statens vegvesen, Tønsberg. Kjelle prosjektkontor		Oppdragsreferanse

Sammendrag : Anleggsarbeiderne ved Kjelle i Tønsberg, som omfatter utkjøring og mellomlagring av sprengstein fra tunnelarbeidet og byggearbeider på ny vei, medfører et forurensningspotensiale i forhold til nærliggende resipienter. Anleggsarbeidene har foregått i nærheten av Homannsbekken som munner ut i naturreservatet Ilene. Det er satt strenge krav til overvåkning og dokumentasjon av forurensningstilstanden under anleggsarbeidene. Utover overvåkingen rapporteres det her to hendelser med relevans for forurensningssituasjonen i Homannsbekken og Ilene: 1) Utslipp av tunnelvann til Kortebekken og 2) test av forurensningspotensialet i avrenningsvann fra sprengstein i forfylling på Kjelle. Det har tidvis kommet avrenningsvann med høye konsentrasjoner av ammonium og høy pH fra mellomlageret av sprengstein fra tunneldrivingen. Det ble dannet giftig ammoniakk i oppsamlingsbassenget. Tiltaket som ble satt i verk med automatisk syredosering har vært vellykket, og medført lave, og stort sett ikke giftige, konsentrasjoner av ammoniakk.

Det ble utført en utvaskingstest av sprengstein i veifylling for å vurdere forurensningspotensialet. Vaskevannet etter steinprøvene hadde pH omkring 11 og giftige konsentrasjoner av ammoniakk. Andre forurensninger hadde stort sett lave konsentrasjoner. Det ble anlagt et basseng med forsuret vann ved foten av fyllingen.

Ved et utilsiktet utslipp av tunnelvann i desember 2004, ble Kortebekken nedslammet av forurenset sediment. Det opprinnelige sedimentet var meget forurenset. Tunnel slam og gammelt sediment ble byttet med rene masser. Utslipet hadde ikke medført vesentlige skader i Ilene reservatet, men beregninger viste giftige konsentrasjoner av ammoniakk ved utløpet av Homannsbekken mens utslippet pågikk.

Endringer i faunasammensetningen i Ilene fra 2004 til 2006 i kan i liten grad forklares med forurensningstilførsler, men skyldes trolig endrede saltkonsentrasjoner.

Fire norske emneord

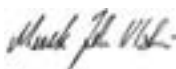
1. Anleggsarbeid
2. Overvåkning
3. Vannkvalitet
4. Biologi

Fire engelske emneord

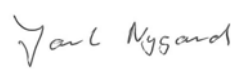
1. Road construction work
2. Monitoring
3. Water quality
4. Biology



Torleif Bækken
Prosjektleder



Merete J. Ulstein
Forskningsleder



Jarle Nygaard
Fag- og markedsdirektør

ISBN 978-82-577-5206-4

Rv. 311 Ringveg Nord Tønsberg- avrenning fra veg og tunnel i anleggsfasen

Overvåkning av vannkvalitet og biologi i
Homannsbekken og Ilene 2004 - 2006. Sluttrapport

Forord

I forbindelse med utbygging av ny hovedvei i Tønsberg (Tønsbergpakken) ble det satt krav til skjerming av det nærliggende vannmiljøet. Dette har medført krav om overvåkning og dokumentasjon av forurensningssituasjonen samt iverksettelse av nødvendige tiltak for å minimere forurensningstilførsler. Ved utbyggingen på Kjelle har de mest utsatte resipientene vært Homannsbekken og naturreservatet Ilene.

Overvåkingen startet i 2005 og ble avsluttet i 2006. Prosjektleder i Statens vegvesen for utbyggingen har vært Arvid Veseth. Saksbehandler for dette miljøprosjektet har vært Elsebeth A. Bakke. Entreprenør har vært MESTA. Arne Veidel, NIVA, har vært ansvarlig for montering og oppfølgingen av målestasjonen, mens undertegnede har vært NIVAs prosjektleder.

Oslo, 01.08.2007

Seniorforsker Torleif Bækken

Innhold

Sammendrag	7
1. Innledning	10
2. Metoder og materiale	11
2.1 Avrenning fra sprengsteindeponi	11
2.2 Test av forurensningspotensiale i avrenningsvann fra sprengstein	12
2.3 Utslipp av tunnelvann til Kortenbekken	13
2.4 Biologiske effekter i Ilene	14
3. Resultater og vurderinger	15
3.1 Avrenning fra sprengsteindeponi	15
3.2 Test av avrenningspotensiale for sprengstein i fylling	19
3.3 Utslipp av tunnelvann til Kortenbekken	21
3.4 Biologiske effekter i Ilene	27
4. Konklusjoner	29
5. Referanser	29
Vedlegg A.	30

Sammendrag

Anleggsarbeiderne ved Kjelle, som har omfattet utkjøring og mellomlagring av sprengstein fra tunnelarbeidet og byggearbeider på ny vei, har medført et forurensningspotensiale i forhold til nærliggende resipienter. Anleggsarbeidene har foregått i nærheten av Homannsbekken som munner ut i naturreservatet Ilene. Ilene er internasjonalt vernet i henhold til ramsarkonvensjonen. Homannsbekken har oppgang av sjøørret. Det er derfor satt strenge krav til overvåkning og dokumentasjon av forurensningstilstanden under anleggsarbeidene.

Den opprinnelige oppgaven i prosjektet har vært overvåkning av Homannsbekken og Ilene på bakgrunn av mellomlagring av tunnelstein. I forbindelse med større anleggsarbeider vil det imidlertid alltid være mulighet for uhell eller at det oppstår andre uforutsette hendelser som må håndteres. Ved anleggsarbeidene på Kjelle har det vært to slike hendelser med relevans for forurensningssituasjonen i Homannsbekken og Ilene: 1) Utslipp av tunnelvann til Kortebekken. 2) Test av forurensningspotensialet i avrenningsvann fra sprengstein i forbelastning til vei på Kjelle.

Avrenning fra sprengsteindeponi.

Overvåkingen det ble lagt opp til, gir mulighet til kontinuerlig å følge med på forurensningstilstanden, og om tiltakene som er satt i verk for å hindre forurensning, faktisk virker. Overvåkingen har vært basert på en kontinuerlig registrering av konsentrasjonene av ammonium (NH_4^+), pH og temperatur. Disse parametrene ble valgt fordi sprengstoffet i stor grad består av ammoniumnitrat (NH_4NO_3), og anvendelse av betong medfører høy pH. Ved slik høy pH går ammonium over til ammoniakk (NH_4^+ går over til NH_3). Søl av uherdet betong og udetonert sprengstoff kan derfor gi giftig ammoniakk (NH_3) i avrenningsvannet. Andelen ammoniakk avhenger av pH og temperatur. Inkludert i overvåkingen har vært visning av resultatene i sanntid på skjerm i vegvesenets anleggskontorer på Kjelle.

Temperaturen i bekken og oppsamlingsdammen gjenspeilet stort sett værsituasjonen. Temperaturen innvirker på hvor mye ammonium som går over til ammoniakk. Høye temperaturer gir større andel ammoniakk enn lave temperaturer slik at potensialet for forurensning med ammoniakk er større om sommeren enn vinteren ved ellers like forhold.

Avrenning fra mellomlageret av sprengstein fra tunneldrivingen ble holdt tilbake i et utgravd basseng. Etter kort tid ble det registrert høye konsentrasjoner av ammonium og høy pH i bassenget. Det ble derfor satt i gang tiltak (våren 2005) i form av automatisk syredosering til bassengvannet for å redusere risikoen for avrenning av giftig ammoniakk til Homannsbekken. Inkludert i tiltaket var varsling av unormalt høye pH verdier og/eller ammoniumkonsentrasjoner i Homannsbekken til mobiltelefon hos vegvesenet.

Det ble registrert episoder med høye konsentrasjoner av ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) inne i bassenget. Etter få enkeltepisoder fra februar 2005 og fram til sommeren, ble det registrert mange episoder med høye ammoniumkonsentrasjoner utover høsten 2005. I 2006 ble det tidvis registrert meget høye konsentrasjoner inne i bassenget med en maksimalkonsentrasjon i mars på ca 40 mg/l av $\text{NH}_4\text{-N}$. I enkelte perioder ble det også målt høye konsentrasjoner nedstrøms bassenget/fyllingen. Referansestasjonen oppstrøms målebua har også hatt noen perioder med relativt høye konsentrasjoner, trolig grunnet avrenning fra landbruk.

pH i bassenget hadde etter surgjøringen stort sett holdt seg mellom 6.5 og 7.5, men var i løpet av vinteren også under 6. pH oppstrøms og nedstrøms har ligget forholdsvis høyt, mellom 7 og 9 første

halvår i 2005. Etter det har pH stort sett ligget mellom 6 og 8. Surgjøringen av bassengvannet fungerte bra og sikret mot større utslipp av giftig ammoniakk til Homannsbekken.

Enkelte dager i februar 2005 ble det observert meget høye konsentrasjoner av ammoniakk inne i bassenget (mellom ca 3 og 11 mg/l). Samtidig ble det observert høye ammoniumkonsentrasjoner nedstrøms fyllingen, men all den stund pH ikke var høy grunnet syretilsetningen, gikk ikke ammonium over til giftig ammoniakk. I løpet av juli 2005 var ammoniakkkonsentrasjonene i bassenget, og på stasjonen nedstrøms fyllingen, tidvis betenkelig høye sett i forhold til biologiske effekter, med konsentrasjoner på opptil 0,4 mg/l i bekken nedstrøms målebua. På dette tidspunktet var ca halvparten av ammoniumkonsentrasjonen i bekken trolig avrenning fra landbruk. Utover i 2006 ble det med få unntak registrert lave konsentrasjoner av ammoniakk, til tross for at det ble registrert til dels meget høye konsentrasjoner av ammonium i denne perioden. Årsaken er de lave pH verdiene i bassenget oppnådd ved surgjøring.

Utløpet av bassenget ble for en periode senket for å få bedre kontroll på vannet som kom fra bassenget til bekken. Fordi dette viste seg å gi en dårligere kjemisk tilstand i bekken ble utløpet hevet igjen. Avrenningen fra bassenget har derfor sjelden gått i utløpsrøret, men gått som et sig gjennom jordfyllingen som skiller bassenget fra bekken.

Som konklusjonen for denne overvåkingen kan vi si at det tidvis har kommet avrenningsvann, med høye konsentrasjoner av ammonium og høy pH, fra mellomlageret av sprengstein fra tunneldrivingen til oppsamlingsbassenget. Dannelse av giftig ammoniakk fra ammonium er avhengig av høy pH. Tiltaket med automatisk syredosering har gjennomgående vært vellykket, og dempet effekten av sprengingsarbeidene. Tiltaket har medført avrenning med lave, og stort sett ikke giftige, konsentrasjoner av ammoniakk.

Forurensingspotensiale i sprengstein fra tunnel.

På grunn av faren for avrenning av forurenset vann fra sprengstein anvendt som forbelastning til vei, ble det gjort en vurdering av forurensningspotensialet. Det ble utført som en utvaskingstest av sprengsteinen etter standard prosedyre. Vaskevannet etter alle steinprøvene hadde pH omkring 11. Det innebærer at nesten all ammonium i disse prøvene var i form av ammoniakk. Konsentrasjonene av ammonium (NH_4+NH_3) var moderat høye med verdier mellom 1 og 2,5 mg/l, men i kombinasjon med de høye pH verdiene er dette giftige konsentrasjoner av ammoniakk. Konsentrasjonen var lavest i lagret stein. Innholdet av suspenderte partikler i vannet var forholdsvis høyt. Konsentrasjonen av metaller var for de fleste metallenes vedkomne lave. Kobber, sink og jern ble imidlertid funnet i høye konsentrasjoner sett i forhold til naturlig ferskvann. Det var noe forhøyede konsentrasjoner av PAH (polysykliske aromatiske hydrokarboner) i forhold til naturlig ferskvann. Infiltrasjon i masser og oppsamling i basseng vil redusere konsentrasjonene av disse parameterne i avrenningen.

På bakgrunn av testresultatene og vurdering av risiko for forurensning av Kortenbekken og Ilene ble det anlagt et mindre basseng ved foten av fyllingen. Vannet ble manuelt forsuret og tilstanden overvåket manuelt ved måling av pH av personer ved vegvesenet.

Utslipp av tunnelvann til Kortenbekken.

Tunnelvann med slam fra tunnelanlegget ved Kjelle ble i desember 2004 ved en feiltagelse pumpet til et overvannssystem som førte til Kortenbekken som fører til Homannsbekken og ut i Ilene naturreservat. pH-verdiene var meget høye (11,8 - 12,5) i sedimentert fra tunnelslam. De fleste tungmetallene forelå i konsentrasjoner tilsvarende ubetydelig eller moderat forurenset sediment i henhold til SFTs kriterier, mens det var moderat forurenset av PAH målt som sum PAH 16 og markert forurenset av PAH-forbindelsen B(a)P. Det var forholdsvis høye konsentrasjoner av olje (C14-C40) både i sedimentert tunnelslam og i det opprinnelige sedimentet i Kortenbekken. Enkelte prøver fra det

opprinnelige sedimentet var markert eller sterkt forurenset av kobber (Cu), krom (Cr), bly (Pb), sink (Zn), kadmium (Cd) og kvikksølv (Hg), men det var ellers moderat eller ubetydelig forurenset av metaller. Konsentrasjonen av PAH tilsvarte markert eller sterkt forurenset sediment, mens PAH-forbindelsen benzo(a)pyren (B(a)P) hadde konsentrasjoner tilsvarende markert, sterkt eller meget sterkt forurenset sediment. PCB og DDE+DDD ble påvist i enkeltprøver fra det opprinnelige sedimentet med konsentrasjoner tilsvarende moderat, markert eller sterkt forurenset. Det var lave konsentrasjoner av forurensninger i sedimentet i Ilene naturreservat. Spredning av ammonium og pH ble modell-beregnet. Modellen antydte at det under utslippet har vært giftige konsentrasjoner av ammoniakk i Kortenbekken og de nedre delene av Homannsbekken. Ute i Ilene var området begrenset til 20 - 50 meter i en vifteform ut fra Homannsbekkens utløp. Faren for økt akkumulering av miljøfarlige forbindelser grunnet dette utslippet er liten. Samlet sett har den biologiske effekten av tunnelutslippet i bekkene og Ilene naturreservat derfor vært relativt liten, og begrenset til gifteffekter på faunaen i nedre del av Homannsbekken og det nærmeste gruntområdet ved utløpet. Dersom det ikke tilføres ytterligere forurensninger, vil det være tilnærmet naturlige biologiske forhold innen ett år eller to etter forurensningsutslippet, avhengig av hva slags fauna som gikk tapt.

Biologiske effekter i Ilene.

Det ble tatt prøver fra bunndyrsamfunnet i Ilene i desember 2004 og desember 2006. I 2006 var artsantallet i prøvene lavere enn i 2004, og det ble registrert enkelte tydelige forskjeller i faunasammensetningen. De observerte endringene kan i liten grad forklares med forurensningstilførsler, verken fra mellomlageret eller fra uhellet ved Kortenbekken, og er mest sannsynlig forårsaket av større innslag av ferskvann i Ilene i 2006 enn i 2004.

1. Innledning

Utbygging av Ringveg nord fra Kjelle til Kilen ut gjør en del av fase 1 i Tønsbergpakken. 1.9 km vei går i tunnel gjennom Frodeåsen. Anleggsarbeiderne ved Kjelle, som har omfattet utkjøring og mellomlagring av sprengstein fra tunnelarbeidet og byggearbeider på ny vei, har medført et forurensningspotensiale i forhold til nærliggende resipienter. Anleggsarbeidene har foregått i nærheten av Homannsbekken som munner ut i naturreservatet Ilene. Ilene er internasjonalt vernet i henhold til Ramsarkonvensjonen. Homannsbekken har oppgang av sjøørret. Det ble derfor satt strenge krav til overvåkning og dokumentasjon av forurensningstilstanden under anleggsarbeidene.

Overvåkingen det ble lagt opp til, gir mulighet til kontinuerlig å følge med på om tiltakene som er satt i verk for å hindre forurensning faktisk virker. Den opprinnelige oppgaven i dette prosjektet har vært overvåking av Homannsbekken og Ilene på bakgrunn av mellomlagring av tunnelstein. Dette har stort sett vært basert på en kontinuerlig registrering av konsentrasjonene av ammonium, pH og temperatur. Grunnen til at disse parametrene ble valgt er følgende: Sprengstoffet anvendt ved tunneldrivingen er en slurry som i stor grad (ca 70 %) består av ammoniumnitrat (NH_4NO_3). Det vil alltid bli mer eller mindre rester av udetonert sprengstoff ved sprengning i tunneler, enten på grunn av søl under ladning eller ved at sprengstoffet i enkelte borehull ikke detonerer. Særlig skjer dette i løst fjell der borehull fylt av sprengstoff kan ødelegges av detonasjonen i et "nabo" hull før det selv sprenges. Ammoniumnitrat er lett løselig i vann. Forholdsvis høye konsentrasjoner av ammonium er vanlig i avrenningsvann fra tunneler og sprengsteinrøyser fra tunneldriving (Bækken 1998). Bruk av sprøytebetong til sikring av fjell gir en del søl. Betongen inneholde basiske komponenter og gir derfor høy pH i vann. Når det blir mye søl av betong og udetonert sprengstoff gir det samlet giftig ammoniakk (NH_3) i avrenningsvannet (Bækken 2000). Dannelsen av ammoniakk fra ammonium er meget pH avhengig, men påvirkes også av temperaturen. Inkludert i overvåkingen har vært visning av resultatene i sanntid på skjerm i vegvesenets anleggskontorer på Kjelle.

Utover ammoniakk vil avrenning fra tunnelarbeider også inneholde andre forbindelser som olje (fra udetonert sprengstoff og anleggsmaskiner), PAH (sprengstoff og anleggsmaskiner) samt en del tungmetaller. I den opprinnelige planen var det lagt inn en opsjon for analyse av disse parametrene i oppsamlingsbassenget for avrenning fra sprengsteindeponiet. Disse analysene ble ikke utført fordi intensjonen med disse prøvene mer enn nok ble oppnådd ved kjemisk analyse av vann og sediment fra andre hendelser vist nedenfor.

Etter kort tid ble det registrert høye konsentrasjoner av ammonium og høy pH i bassenget. Dette medførte en anbefaling om surgjøring av avrenningsvannet før det ble sluppet til Homannsbekken. Tiltaket ble satt i verk våren 2005. Inkludert i tiltaket var varsling av unormalt høye pH verdier og/eller ammoniumkonsentrasjoner i Homannsbekken til mobiltelefon hos vegvesenet.

I forbindelse med større anleggsarbeider vil det alltid være mulighet for uhell av ulike slag. Det kan også oppstå andre uforutsette situasjoner under veis. Ved anleggsarbeidene på Kjelle har det vært to ekstra hendelser med relevans for forurensningssituasjonen Homannsbekken og Ilene: 1) Utslipp av tunnelvann til Kortebekken. 2) Test av forurensningspotensialet i avrenningsvann fra sprengstein i forbelastning på Kjelle. Begge er rapportert tidligere henholdsvis som NIVA rapport og NIVA notat (Bækken og Tjomsland 2005, Bækken 2006).

Foreliggende sluttrapport tar for seg resultatene fra basisovervåkingen av Homannsbekken og Ilene samt et utvidet sammendrag av resultatene fra hendelsene nevnt under pkt 1) og 2) ovenfor.

2. Metoder og materiale

2.1 Avrenning fra sprengsteindeponi

På grunn av mellomlagring av sprengstein fra tunneldriving gjennom Frodeåsen ved Kjelle, og muligheten for avrenning av bl.a. ammoniakk fra denne, har det foregått det en kontinuerlig overvåkning av vannkvaliteten i Homannsbekken. Direkte avrenning fra et mellomlager av sprengstein fra tunneldrivingen ble holdt tilbake i et utgravd basseng. Ved utløpet av bassenget mot Homannsbekken ble det plassert en målesentral som kontinuerlig har målt konsentrasjonene av ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), pH og temperatur i Homannsbekken oppstrøms- (referanse) og nedstrøms sprengsteinslageret samt ved utløpet av bassenget (**Figur 1**). Dette har gitt mulighet til å beregne konsentrasjonene av giftig ammoniakk ($\text{NH}_3\text{-N}$). I bassenget, som hadde utløp ved målesentralen, ble også vannhøyden målt i forhold til utløpsrøret. "Kontinuerlig" i denne sammenheng betyr at tilstanden er målt hvert 5. minutt over én time for hver 3. time på hver stasjon. Oppsettet for disse målingene er slik at bare parametrene fra én stasjon måles om gangen. Det betyr at når målingene for oppstrømsstasjonen har pågått én time måles de to andre stasjonene på samme måte før målingene igjen starter på oppstrømsstasjonen. Dette gir en brukbar god tidsoppløsning som i tide kan varsle om hendelser. Målingene har medført en stor mengde data med samlet nærmere 600000 enkeltmålinger. Figurene i foreliggende rapport er basert på aggregerte data angitt som gjennomsnitt pr. døgn for hver stasjon.

Fordi det i løpet av vinteren 2005 ble registrert meget høye pH verdier i bassenget, ble det besluttet å surgjøre bassengvannet, slik at risikoen for utslipp av større mengder vann med giftig ammoniakk ble redusert (utført 28.05.2005). pH nivået i bassenget ble heretter regulert automatisk ved hjelp av følere i bassenget. I Homannsbekken nedstrøms bassenget ble det knyttet en alarm til unormalt høye pH verdier og/eller konsentrasjoner av ammonium. Vegvesenet fikk alarmen koblet til sin mobiltelefon.

Denne typen kontinuerlig, sanntids, overvåkning er å foretrekke fremfor for eksempel ukeblandprøver med etterfølgende analyser i laboratorium, der det ikke er mulig å gå raskt inn med avbøtende tiltak dersom uhell skulle skje under veis.



Figur 1. Målestasjoner i Homannsbekken. Stasjonene er plassert oppstrøms og nedstrøms mellomlager for tunnelmasse (sprengsteindeponi) samt i oppsamlingsbassenget for avrenning fra tunnelmassen.

2.2 Test av forurensningspotensiale i avrenningsvann fra sprengstein

På grunn av faren for en betydelig avrenning av forurenset vann fra sprengstein anvendt som forbelastning til Kortenbekken og videre til Ilene, ble det gjort en vurdering av forurensningspotensialet. Det ble utført som en utvaskingstest av strengsteinen etter standard prosedyre (Bækken 2001). Prøvene ble tatt 28. januar 2005 fra følgende områder:

- St 1. Stein fra forbelastning ved Kortenbekken. Ligget over en uke her.
- St 2. Stein fra forbelastning, nylig kommet fra mellomlageret
- St 3. Samme som St2, men 15 m unna.
- St 4. Fra mellomlager direkte fra tunnelarbeid.

Vaskevannet ble analysert på følgende variabler: pH, turbiditet, suspenderte partikler, ammonium, konduktivitet, 10 metaller (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Sn, Zn), PAH (polysykliske aromatiske hydrokarboner) og olje.

Prøver fra vaskevannet ble tatt etter at vannet hadde stått rolig og størstedelen av partiklene har sedimentert. De angitte konsentrasjonene gjelder for testvann, og derfor ikke er direkte sammenlignbare med vanlig ferskvann. Vi har likevel sammenlignet konsentrasjonene slik for lettere å kunne se om det er høye eller lave konsentrasjoner.



Figur 2. Sprengstein fra tunnelen brukt i forbelastning til vei.

2.3 Utslipp av tunnelvann til Kortenbekken

I desember 2004 ble det ved et uhell pumpet tunnelvann fra tunnelanlegget ved Kjelle til Kortenbekken. Kortenbekken fører videre til Homannsbekken og ut i Ilene naturreservat. Det ble utført kjemiske analyser av forurensninger i avløpsvannet (pumpegrop) og i det sedimenterte slamm i bekken (**Figur 3**). Følgende variable ble analysert: pH, partikler (turbiditet), ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$, nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$), tungmetaller (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn og Hg), olje, PAH, PCB og et utvalg klororganiske forbindelser.

Etter å ha kartlagt forurensningsgrad og utbredelse av sedimentert tunnelvann, ble det utarbeidet tiltaksplaner og satt i gang arbeid med å fjerne forurenset sediment fra utslippet av tunnelvann, samt opprinnelig forurenset sediment. Virkninger for plante og dyreliv i Kortenbekken, Homannsbekken, samt naturreservatet ble vurdert. Vurderingen ble basert på følgende:

1. Modellberegninger kan gi ulike scenarier for hvordan spredning og fortykning av ammonium og pH kan ha foregått etter utslippet. Spredningsforløpet ble beregnet ved en matematisk strømningsmodell. De biologiske effektene ble skjønnsmessig vurdert.
2. Spredning av biologisk akkumulerbare forurensninger. Vurdert fra sedimenterte forurensninger.
3. Spredning av forurensete sedimenter.



Figur 3. Prøvetakingsstasjoner etter utslipp av tunnelvann til Kortenbekken desember 2004.

2.4 Biologiske effekter i Ilene

Det ble tatt biologiske prøver av bløtbunnsfaunaen i Ilene 16. desember 2004 og 13. desember 2006 (**Figur 4**). Prøvene ble tatt langs 1 m koten på tvers av kilen. Ilene 1 er nærmest Tønsberg by. Det ble samtidig gjort en enkel karakterisering av sedimentet.

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.

Prøvene til faunaanalyse ble samlet inne med en 250 cm² van Veen grabb. Etter at overflatesedimenter var tatt av for analyse, ble det resterende materialet siktet gjennom en 1 mm sikt. Prøvene ble deretter fiksert og transportert til NIVA. Ved laboratorieoppbeiringen ble dyrene sortert fra siktematerialet, identifisert og antallet notert.



Figur 4. Stasjoner for innsamling av bløtbunnsprøver (Ilene til venstre).

3. Resultater og vurderinger

3.1 Avrenning fra sprengsteindeponi

Det ble i løpet av overvåkning registrert perioder med høye konsentrasjoner av ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) inne i bassenget (**Figur 5**). Etter få enkeltepisoder fra februar 2005 og fram til sommeren, ble det registrert mange perioder med høye ammoniumkonsentrasjoner utover høsten 2005. I 2006 ble det tidvis registrert meget høye konsentrasjoner inne i bassenget med en maksimalkonsentrasjon i mars på ca 40 mg/l av $\text{NH}_4\text{-N}$. I enkelte perioder ble det også målt høye konsentrasjoner nedstrøms bassenget/fyllingen. Referansestasjonen oppstrøms målebua har også hatt noen perioder med relativt høye konsentrasjoner, trolig grunnet avrenning fra landbruk.

pH og temperatur bestemmer andelen ammoniakk av den totale ammoniumkonsentrasjonen. En kort periode i februar ble det registrert meget høy pH inne i bassenget (**Figur 6**). Våren 2005 (utført 28.05.2005) ble det besluttet å surgjøre bassengvannet, slik at en ikke skulle risikere utslipp av større mengder giftig ammoniakk ($\text{NH}_3\text{-N}$) til Homannsbekken. pH nivået ble fra nå av regulert automatisk ved hjelp av følere i bassenget. pH i bassenget hadde etter surgjøringen stort sett holdt seg mellom 6.5 og 7.5, men var i løpet av vinteren også under 6. pH oppstrøms og nedstrøms har ligget forholdsvis høyt, mellom 7 og 9 første halvår i 2005. Etter det har pH stort sett ligget mellom 6 og 8. I enkelte perioder ble det observert en pH - økning nedstrøms, også i perioder med lav pH i bassenget. Det antyder avrenning med høy pH fra andre deler av anleggsområdet. En kort periode i slutten av juni var imidlertid vannet vesentlig surere på den nederste stasjonen enn på referansestasjonen. Det antyder avrenning av forsuret vann fra bassenget. Dette skjedde samtidig med en tydelig forhøyet konsentrasjon for $\text{NH}_4\text{-N}$ på nedstrømsstasjonen. Sannsynligvis kom avrenningen av $\text{NH}_4\text{-N}$ fra bassenget. Avrenning av vann fra bassenget ble også registrert ved temperaturendring. Årsaken til den økte avrenningen fra bassenget var at utløpet hadde blitt senket. Fordi dette viste seg å gi en dårligere kjemisk tilstand i bekken ble utløpet hevet igjen. Avrenningen fra bassenget har derfor sjelden gått i utløpsrøret, men sivet gjennom jordfyllingen som skiller bassenget fra bekken. Samlet sett har surgjøringen av bassengvannet fungert bra og sikret mot større utslipp av giftig ammoniakk til Homannsbekken.

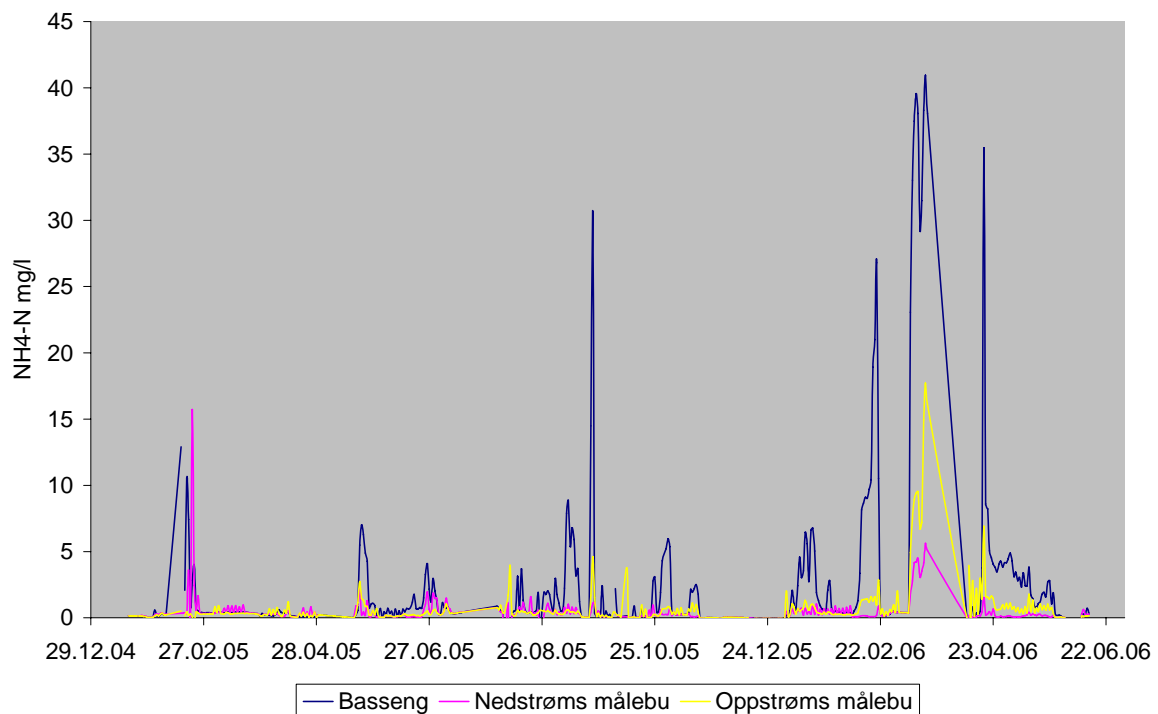
Temperaturen gjenspeiler stort sett vær-situasjonen. Det var noe høyere temperaturer i det stillestående vannet i bassenget enn i bekken (**Figur 7**). Oppstrøms og nedstrøms fyllingen fulgte temperaturen hverandre, men med litt varmere vann nedstrøms fyllingen. Det skyldtes innlekking av varmere vann fra bassenget og/eller oppvarming av vannet nedover i bekken. Høye temperaturer gir større andel ammoniakk fra ammonium enn lave temperaturer slik at potensialet for forurensning med ammoniakk er større om sommeren enn vinteren ved ellers like forhold.

Enkelte dager i februar 2005 ble det observert meget høye konsentrasjoner av ammoniakk inne i bassenget (mellom ca 3 og 11 mg/l). Det var delvis islagt basseng før denne episoden. Trolig hadde det lagt seg steinstøv fra sprengsteinen på isen. Da denne ble brutt, kom mye støv direkte til vanninntaket for analyse. De høye ammoniumkonsentrasjonene observert nedstrøms fyllingen i denne perioden var ikke ledsaget av høy pH, og hadde derfor heller ikke høye ammoniakkskonsentrasjoner. I løpet av juli 2005 var ammoniakkskonsentrasjonene i bassenget og på stasjonen nedstrøms fyllingen tidvis høye, med konsentrasjoner på opptil 0,4 mg/l i bekken nedstrøms målebua (**Figur 8**). Denne konsentrasjonen er betenkelig høy sett i forhold til biologiske effekter. Halvparten av konsentrasjonen var i bekken før tilrenning fra bassenget og skyldtes trolig avrenning fra landbruk. Utover i 2006 ble det bare registrert lave konsentrasjoner med unntak av en mindre topp i mars oppstrøms deponiet. Dette til tross for at det ble registrert til dels meget høye konsentrasjoner av ammonium i denne perioden (**Figur 5**). Årsaken var de lave pH verdiene i bassenget oppnådd ved surgjøring.

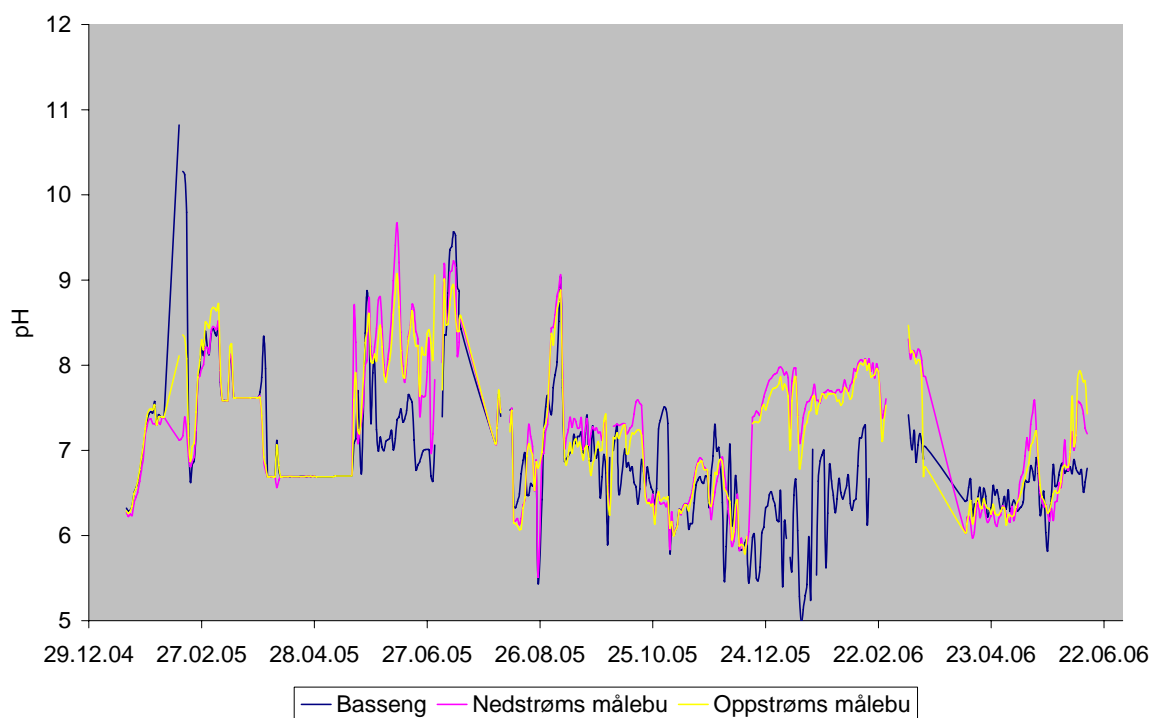
Konsentrasjonstoppen oppstrøms i mars 2006 var igjen trolig et resultat fra avrenning fra landbruket i nedbørfeltet.

Overvåkingen har stort sett gått uten større avbrudd. I enkelte korte perioder har imidlertid overvåkingen vært ute av funksjon grunnet strømbrudd, pumpehavari eller andre uforutsette feil ved målestasjonen. Under slike perioder er det ikke rapportert om hendelser ut over det vanlige.

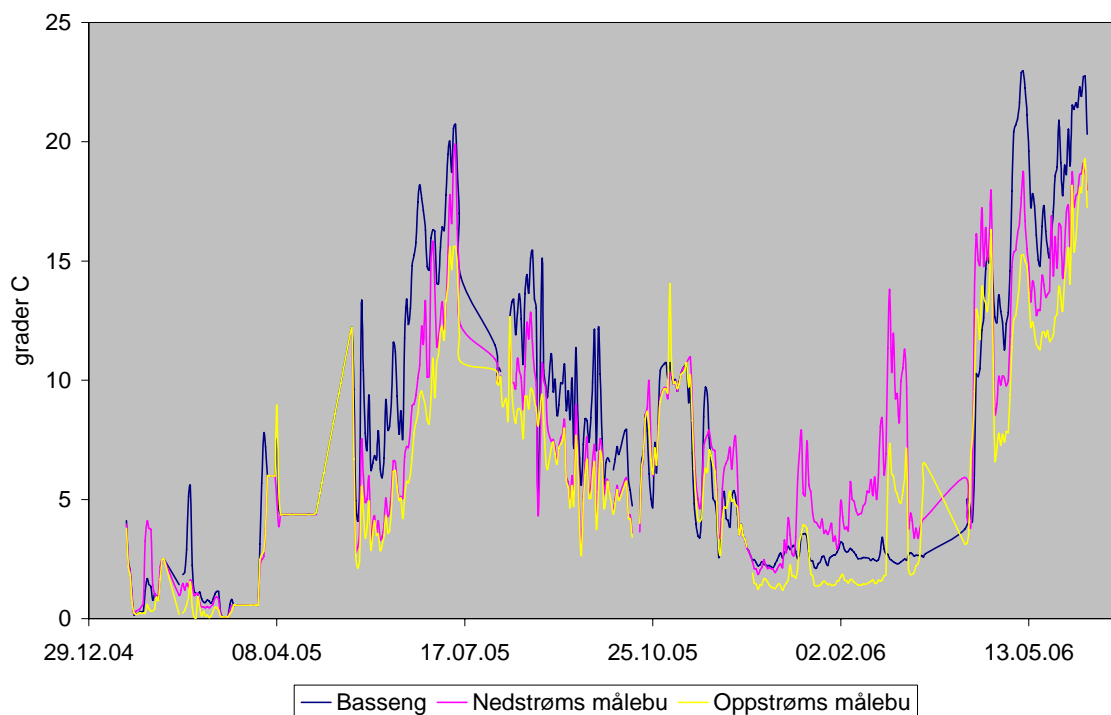
Som konklusjonen for denne overvåkingen kan vi si at det tidvis har kommet avrenningsvann, med høye konsentrasjoner av ammonium og høy pH, fra mellomlageret av sprengstein fra tunneldrivingen til oppsamlingsbassenget. Dannelse av giftig ammoniakk fra ammonium er avhengig av høy pH. Tiltaket med automatisk syredosering har vært vellykket, og medført lave, og stort sett ikke giftige, konsentrasjoner av ammoniakk.



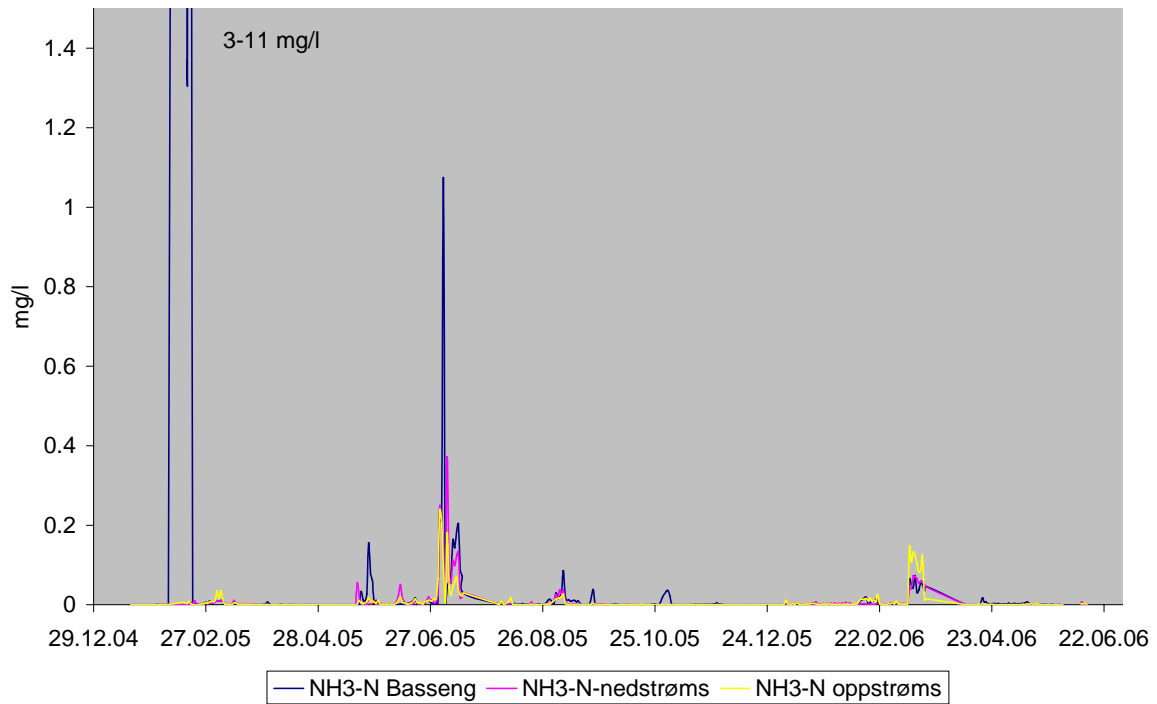
Figur 5. Ammoniumkonsentrasjoner i Homannsbekken og bassenget.



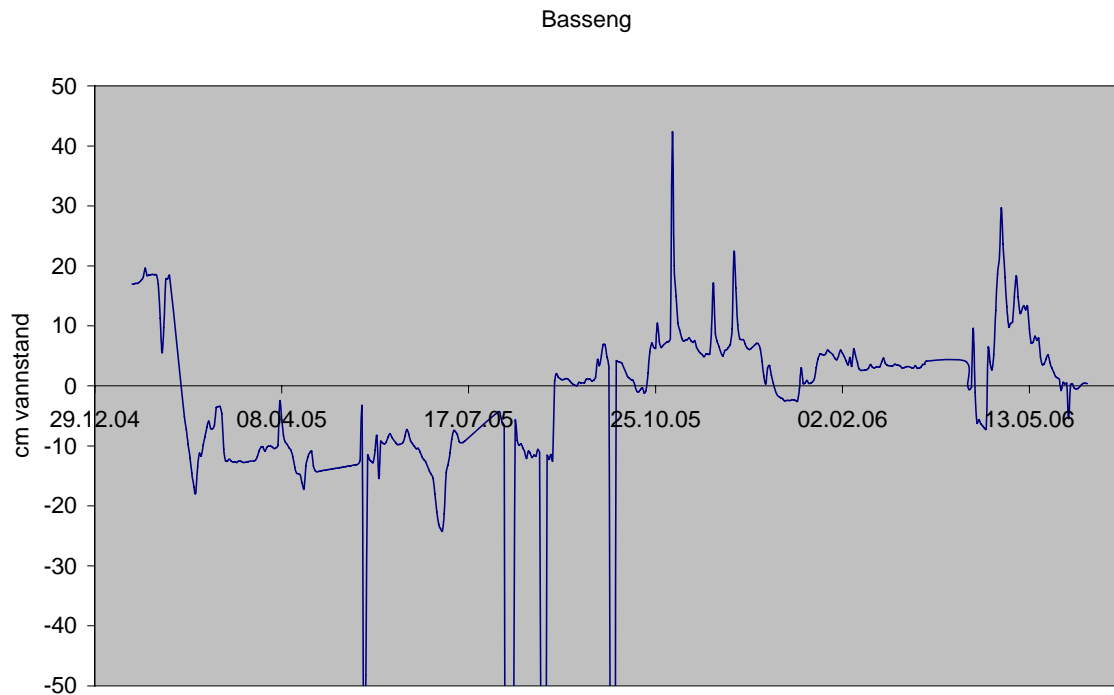
Figur 6. pH verdier i Homannsbekken og bassenget.



Figur 7. Temperaturer i Homannsbekken og bassenget.



Figur 8. Ammoniakk-konsentrasjoner i Homannsbekken og bassenget.



Figur 9. Vannstandsendringer i bassenget.

3.2 Test av avrenningspotensiale for sprengstein i fylling

Vaskevannet etter alle steinprøvene hadde høy pH (**Tabell 1**). Det var små forskjeller mellom prøvene med pH verdier omkring 11 eller like i underkant. Konsentrasjonene av ammonium (NH_4+NH_3) var moderat høye med verdier mellom 1 og 2,5 mg/l. Dette var lavere enn observert i tilsvarende tester fra tunnelanlegg i Drammen. Konsentrasjonen var lavest i lagret stein. Innholdet av partikler i vannet var forholdsvis høyt i alle prøvene, men høyest i den ferskeste prøven. Konsentrasjonen av metaller var for de fleste metallenes vedkomne lave og under deteksjonsgrensen. Kobber, sink og jern ble imidlertid funnet i høye konsentrasjoner sett i forhold til vanlig ferskvann. Vi kjenner ikke hvor stor andel av metallene som er løst i disse prøvene, men trolig var en stor del av metallene bundet til partikler.

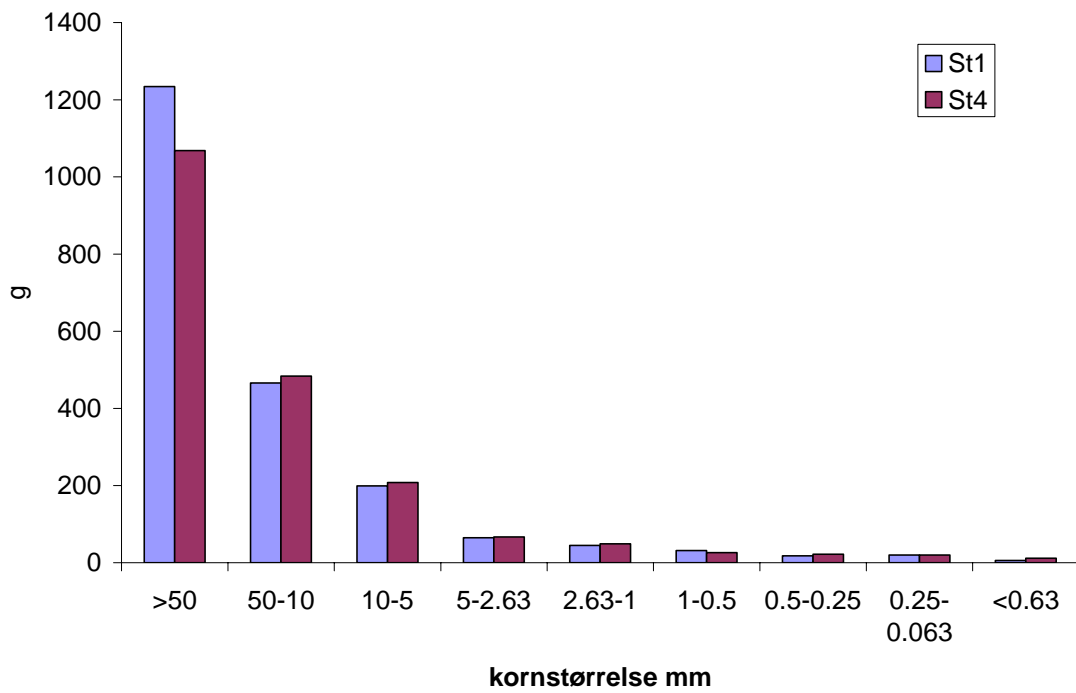
Det var noe forhøyede konsentrasjoner av PAH i forhold til naturlig ferskvann. Det er ikke vanlige vannkvalitetskriterier for PAH i vannfase. Sett i forhold til drikkevannskriterier lå imidlertid PAH-konsentrasjonene på fra samme nivå som for kriteriene (0,2 µg/l) til ca 3 -3,5 ganger høyere. En forholdsvis liten andel var i form av karsinogen PAH (KPAH), mens en forholdsvis større andel besto av de lette, og mindre miljøfarlige, PAH forbindelsene (NPD). Konsentrasjonene av den karsinogene PAH-forbindelsen B(a)P, var under deteksjonsgrensen eller lå på samme nivå som drikkevannskriteriene. Det ble påvist olje i vannet, men ikke høye konsentrasjoner. Konsentrasjonene av metaller og organiske stoffer knyttet til partikler vil reduseres ytterligere i vannfase ved økt oppholdstid i oppsamlingsbasseng. Infiltrasjon i masser vil redusere konsentrasjonene av disse parameterne ytterligere i avrenningen.

Steinen i røysa vil ikke vaskes på tilsvarende måte som stein fra denne testen, og vil avgi langt mindre forurensende stoffer pr. kg enn det som er vist i testen. De omkring 5000 m³ sprengsteinmasser som lå i området omkring Kortebekken vil likevel representere en potensiell forurensningsfare.

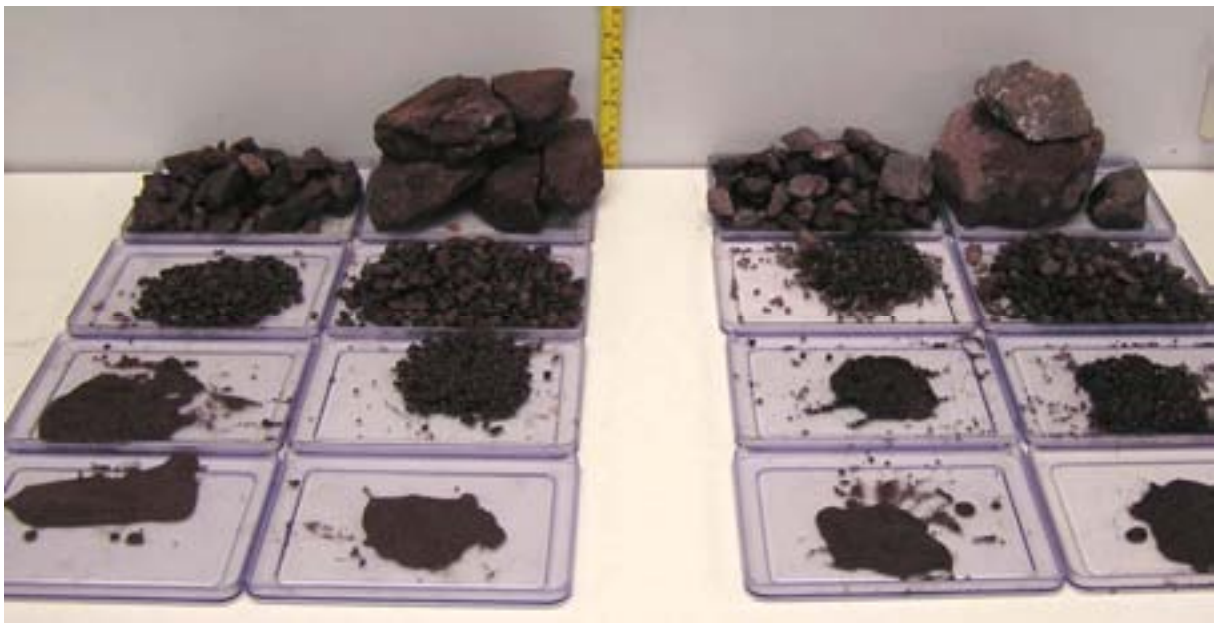
Røysa ble antatt å inneholde forholdsvis mye finstoff, og det ble forventet at den kunne holde på mye vann og slik virke som et fordrøyningsbasseng. Finstoffet i røysa ville holde tilbake noe av ammoniumionene. Mye vann måtte likevel forventes å renne/sige gjennom røysa, og det ville ikke være til å unngå at det kunne bli en del forurenset avrenning. Dette vannet ville sannsynligvis bli preget av høy pH og forholdsvis høye konsentrasjoner av ammonium, samt med et lite innslag av metaller og PAH dersom det fulgte med partikler. Ved nedbørsepisoder ville dette blandes inn i annen avrenning fra nedbørfeltet og ut i bekken. Hvor vidt avrenningen fra sprengsteinen ville bli et problem for Kortebekken ville avhenge av hvor mye som rant av og i hvilke konsentrasjoner, og hvor stor fortynningen ville være i selve bekken. Dette er vanskelig å beregne, men det ble antatt at det ved høy flo var tilstrekkelig fortynning i Kortebekken til at avrenning fra røysa ikke ville være et vesentlig problem. Ved større avrenning og lavvann kunne det imidlertid bli et større problem.

På bakgrunn av testen og vurderingen ble det anbefalt lignende tiltak som ved det midlertidige deponiet for sprengstein ved Kjelle for hindre uønsket avrenning. Ved å surgjøre vann i et oppsamlingsbasseng på forhånd vil dette også virke som buffer.

Det ble anlagt et mindre basseng ved foten av fyllingen før avrenningsvann nådde Kortebekken. Vannet ble manuelt forsuret og tilstanden overvåket manuelt ved måling av pH av personer ved vegvesenet.



Figur 10. Fordeling av kornstørrelser fra to av stasjonene i testen (se bilde nedenfor).



Figur 11. Sammensetning av partikkelstørrelser av sprengstein i test fra tunnelen hentet fra to steder i forfylling.

Tabell 1. Konsentrasjoner av ulike parametere i vann etter vask av sprengstein fra tunnel fra fire stasjoner i forfylling til vei.

	pH	TURB FNU	STS mg/l	NH4-N mg/l
St 1	10.91	326	139	1
St 2	11.08	203	74	2
St 3	10.88	264	76	2.5
St 4	10.84	674	170	2

	As mg/l	Cd mg/l	Cr mg/l	Cu mg/l	Fe Mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Sn mg/l	Zn mg/l
	E 9-5	E 9-5	E 9-5	E 9-5	E 9-5	E 9-5	E 9-5	E 9-5	E 9-5
St 1	<0.03	<0.001	0.013	0.054	2.6	<0.005	<0.01	<0.01	0.0891
St 2	<0.03	<0.001	0.003	0.014	1.6	<0.005	<0.01	<0.01	0.019
St 3	<0.03	<0.001	0.003	0.063	2.28	<0.005	<0.01	<0.01	0.039
St 4	<0.03	<0.001	<0.003	0.044	8.54	<0.005	<0.01	<0.01	0.0922

	Sum PAH ng/l	KPAH ng/l	KPAH %	B(a)P ng/l	Sum NPD ng/l	Olje µg/l
St 1	197	0	0	<5	105	48
St 2	685	42.5	6	13	350	160
St 3	701	51.5	7	13	320	90
St 4	305	0	0	<5	182	57

3.3 Utslipp av tunnelvann til Kortenbekken

Tunnelvann fra tunnelanlegget ved Kjelle i Tønsberg, ble i desember 2004 ved en feiltagelse pumpet til et overvannssystem som førte til Kortenbekken. Bekken går videre til Homannsbekken og ut i Ilene naturreservat. Statens vegvesen ble av Fylkesmannens Miljøvernnavdeling i Vestfold pålagt å gjøre kjemiske analyser av forurensningene, kartlegge forurensningsgrad og utbredelse av sedimentert tunnelslam, og å vurdere de biologiske konsekvensene for naturreservatet. Tiltak for å fjerne forurenset sediment i Kortenbekken og en kort strekning av Homannsbekken ble gjennomført med meget godt resultat.

Vannprøven tatt fra området utenfor tunnelen var preget av avrenning fra udetonert sprengstoff og avrenning fra uherdet betong, demonstrert ved høye konsentrasjoner av ammonium (NH₄-N: 2,9 mg/L), samt meget høy pH (10,7). Det innebærer at nærmere 90 % av ammoniumkonsentrasjonen vil være i form av ammoniakk (NH₃).

Sedimentet i Kortenbekken besto av mellom 10 og 70 cm tykt slamlag fra utslippet av tunnelvann over gammelt, delvis meget forurenset, sediment av varierende tykkelse (**Figur 12**). Sedimentet fra utslippet besto av grått sementholdig slam og rødlig slam av borestøv.

pH-verdiene var meget høye (11,8 - 12,5) i alle sedimentlagene som hadde opprinnelse i utslippet (**Tabell 2**). Det gamle sedimentet i bekkeløpet hadde pH verdier mellom 7,1 og 9,6. De fleste tungmetallene hadde konsentrasjoner tilsvarende ubetydelig eller moderat forurenset sediment i henhold til SFTs kriterier. Noen prøver fra det opprinnelige sedimentet var markert eller sterkt forurenset av kobber (Cu), krom (Cr) og kvikksølv (Hg). Det var lave konsentrasjoner av tungmetaller i Ilene naturreservat.

Det var forholdsvis høye konsentrasjoner av olje (C14-C40) i sedimentet fra utslippet med verdier mellom 850 mg/kg og 12 000 mg/kg. Det opprinnelige sedimentet hadde konsentrasjoner mellom ca 100 mg/kg og 8200 mg/kg. Ved utløpet av Homannsbekken og ute i Ilene var konsentrasjonene av olje forholdsvis lave.

Det tilførte sedimentet i Kortenbekken var moderat forurenset av sum PAH 16 og markert forurenset av PAH-forbindelsen benzo(a)pyren (B(a)P). Det opprinnelige sedimentet i Kortenbekken var markert eller sterkt forurenset av PAH og markert, sterkt eller meget sterkt forurenset av B(a)P. Sedimentprøvene fra Homannsbekken og Ilene var moderat eller ubetydelig forurenset av PAH 16 og B(a)P.

PCB ble bare påvist i det opprinnelige sedimentet i Kortenbekken og på St 7 i utløpet av Homannsbekken. I Kortenbekken var sedimentet moderat, markert eller sterkt forurenset. Ved utløpet av Homannsbekken var sedimentet moderat forurenset av PCB. HCB ble funnet i forholdsvis lave konsentrasjoner. Enkelte prøver fra det opprinnelige sedimentet var markert eller sterkt forurenset av DDT (DDE+DDD). BTEX - forbindelser ble bare funnet i forholdsvis lave konsentrasjoner i det opprinnelige sedimentet.



Bekken fylt av slam



Kjerneprøve



Lagdelt sediment



Gammelt og nytt sedimentlag



Restaurering av bekken

Figur 12. Bilder fra situasjoner i Kortebekken etter utslipp av tunnelvann/slam.

Utbredelsen av sediment med opprinnelse i utslippet fra tunnelvann syntes i hovedsak å begrense seg til hele Kortenbekken og til Homannsbekken fra utløpet av Kortenbekken og ca 10-15 m nedstrøms. Det kan ikke utelukkes at små partikler fra utslippet kan ha spredt seg videre. De lave konsentrasjonene av forurensninger påvist i sedimentet ved utløpet av Homannsbekken og i Ilene, kunne imidlertid like gjerne forklares med spredning fra gamle forurensede sedimenter i Kortenbekken eller andre kilder.

Det sedimenterte slammet fra utslippet av tunnelvann var uegnet som levested for bunndyr. Det opprinnelige sedimentet var imidlertid også meget forurenset. Det er derfor lite sannsynlig at det eksisterte bunnfauna i noe omfang i denne bekken da utslippet av tunnelvann fant sted.

Tabell 2. Konsentrasjoner av et utvalg forurensende stoffer i sediment i Kortenbekken (St 2-St5), Homannsbekken (St 6 og St 7) og Ilene (St 8) (fra 07.01 og 21.1.2005). For stasjonsplassering se kartfigur (**Figur 3**). Sedimentet er klassifisert etter typer: **R** = rødlig, i hovedsak boreslam; **S** = sementholdig, grått; **G** = gammelt sediment, sedimentlag under det nylig anlagte slamlaget fra utslippet. Fargene henviser til SFTs klassifisering av forurensninger i ferskvannsedimenter. Celler uten farge angir enten at det ikke eksisterer kriterier eller at kriteriene ikke kan anvendes pga. unøyaktig tallgrunnlag. * DDT er her satt som summen av DDD og DDE.

		I – meget god	II – god	III – mindre god	IV – dårlig	V – meget dårlig			
Stasjon	Type	pH	Cu mg/kg tv	Hg mg/kg tv	Sum PAH 16 µg/kg tv	B(a)P µg/kg tv	Olje mg/kg	PCB 7 µg/kg tv	DDT* µg/kg tv
St 2 A	R	12,0	32	<0,30	1010	91	854		
St 2 B	G	7,1	44	0,79	5550	370	177		
St 2C	0-5 c	G	247	1,14	820	39	1000	62	25
	16-22c	G	1270	1,27	8200	200	4970	230	56
St 2D	0-5 c	G	138	1,61	900	56	106	<25	
	20-25 c	G	156	2,23	1500	77	124	31	16
St 2E1	0-5	G	48	0,24	1300	91	150	61	
	20-25c	G	135	0,74	2600	120	365	36	
St 2E2	G		79	0,80	870	110	130	<25	
St 2F	G		90	0,46	1400	48	1020	<25	
St 3 A	R/S	12,2	55	<0,30	1780	140	3488		
St 3 B	G	9,6	100	0,49	6080	510	429		
St 4A	R	12,1	51,6	0,32	1823	140	2800	0	<0,5
St 4B	G	9,7	315,0	0,81	6323	330	8200	23,22	26
St 5A	S	12,5	36,6	0,04	1632	130	6100	0	<0,5
St 5B	R	11,9	90,5	0,01	392,3	24	2800	0	<0,5
St 6A	S	12,3	78,1	0,02	361,2	22	1600	0	<0,5
St 6B	R	11,8	31,6	0,02	716,2	48	12000	0	<0,5
St 6C	G	8,5	20,1	0,03	46,2	2,5	120	0	<0,5
St 7	G		26,9	0,27	390,2	28	500	15,6	<0,5
St 8	G	7,7	14,1	0,12	179,1	16	200	0	<0,5

En beregning av spredningen av vannløslige forbindelser ble utført ved modell-beregning. Modell-beregningene er utført på ammonium og pH, som sammen danner giftig ammoniakk. Konsentrasjonskartene er ment å vise et verste tilfelle, dvs. maksimale konsentrasjoner ved ugunstige forhold (**Figur 13, Figur 14**). Utslipet nådde et maksimum innen et døgn. Vi har antatt at kun vannføringen i tilløpet bidrar til å drive strømmene i bukta. Dersom tidevannet, kyststrøm eller vannet fra Aulielva ved Tønsberg påvirker strømmene inne i bukta, vil strømmene bli sterkere og konsentrasjonene lavere pga fortynning. Metaller og PAH ville i meget liten grad være i vannfase og spredningen av disse ble antydnet ved konsentrasjoner i sedimentet.

Ved dette scenariet ble tunnelvannet fortynnet i møte med Homannsbekken til ca 0,45 mg/L ammonium. pH ble redusert til ca 10,5. Andelen ammoniakk var fremdeles høy og lå omkring 70-80 % ved temperatur 2 - 4 °C. Situasjonen ved utløpet av Homannsbekken ville da være at vannet har en ammoniakk-konsentrasjon på omkring 0,4 mg/L. Ut i den indre delen av Ilene ville ammonium og pH spre seg utover og fortynnes. pH ble raskt redusert til ca. 10 og ammonium tilsvarende. Deretter ble pH gradvis redusert til 9 omkring 300 m ut i bukta. Fortynningen fortsatte utover og nådde en naturlig pH for sjøvann omkring 8 – 8,5 lengre ut i bukta.

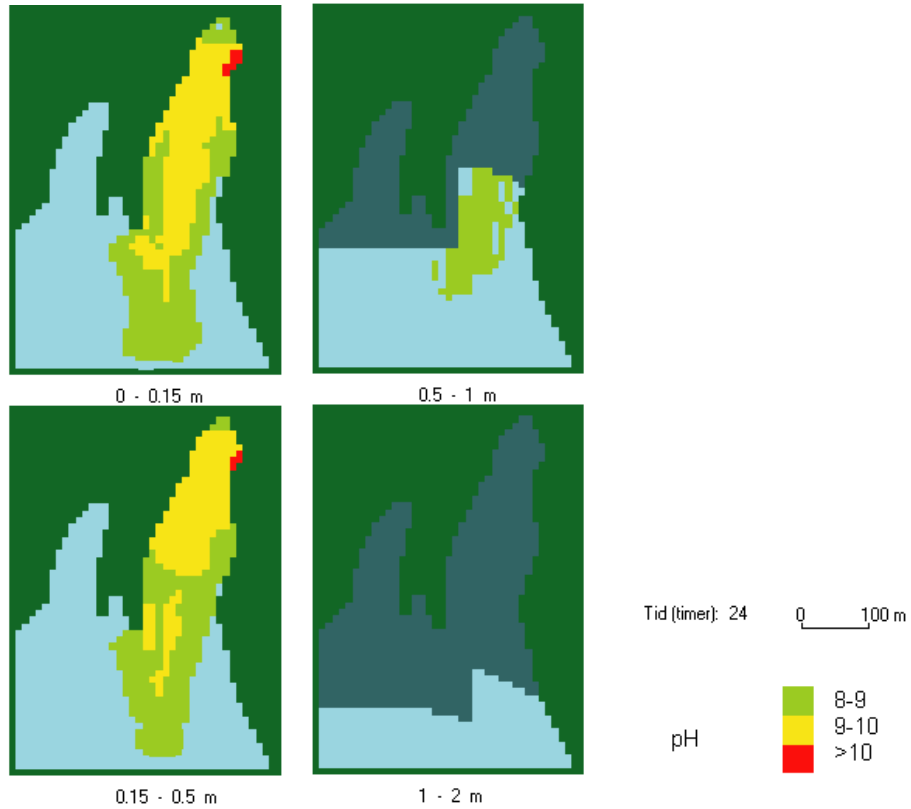
Det er ikke tatt biologiske prøver fra de forurensningsutsatte områdene. Vurderingene av biologiske virkninger og tap ble basert på generelle vurderinger sett i forhold til giftige forbindelser og akkumulerbare miljøgifter. Ved en antatt generell toleransegrense for faunaen i området på 0,1 mg/L ammoniakk, ville det være ulevelige forhold etter utslippet i Kortenbekken og de nedre delene av Homannsbekken samt i det innerste området av Ilene. Ute i Ilene var området som antas vesentlig påvirket av giftige konsentrasjoner av ammoniakk forholdsvis begrenset; omkring 20 - 50 meter i en vifteform ut fra Homannsbekkens utløp. Giftvirkningen opphørte når utslippet ble stoppet.

I tunnelutslippet ble det registrert enkelte biologisk akkumulerbare forurensninger. B(a)P og andre karsinogene PAH-forbindelser er imidlertid forholdsvis lite løselige i vann, og sedimentprøvene indikerte liten/ingen spredning av disse forbindelsene ut i Ilene naturreservat. Av tungmetaller var det forholdsvis lave konsentrasjoner i sedimentet. Alvorlige klororganiske miljøgifter som PCB ble bare funnet i gamle sedimenter. Av akkumulerbare metaller er kvikksølv den klart alvorligste miljøgiften. Den ble også funnet i forhøyede konsentrasjoner i det gamle sedimentet i Kortenbekken.

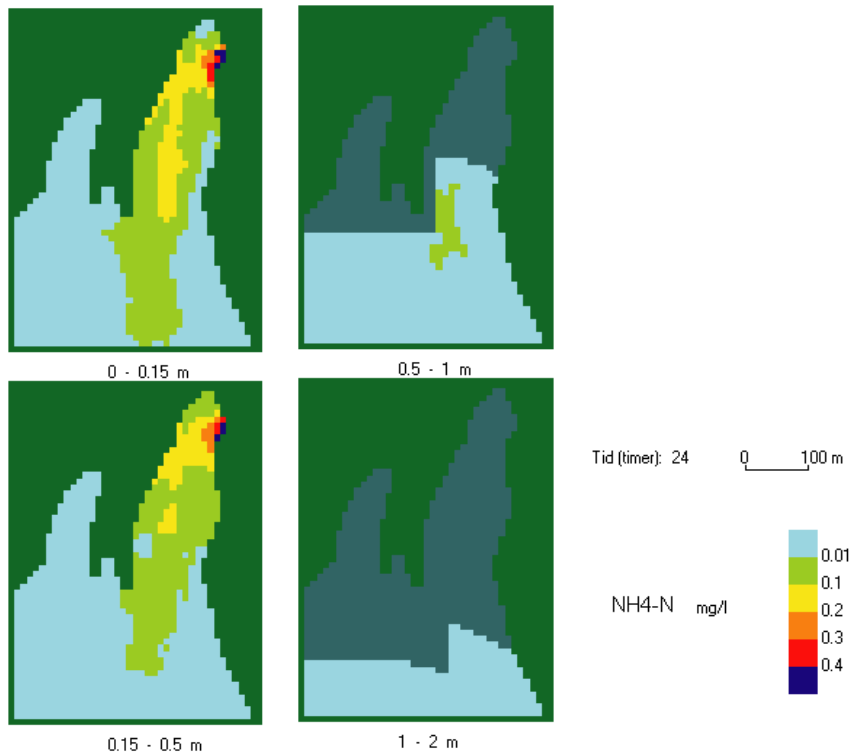
Faren for økt akkumulering av miljøfarlige forbindelser grunnet dette utslippet er liten. Vi regner med at det alt vesentlige av forbindelsene ble fjernet i forbindelse med fjerning av sedimentet, og at lite har kommet ut i Ilene. Fordi det gamle sedimentet inneholdt forhøyede konsentrasjoner av flere av alvorlige akkumulerbare miljøgifter (PCB, DDT, B(a)P, Hg), har det vært viktig å fjerne dette som forurensningskilde til naturreservatet.

Samlet sett hadde den biologiske effekten av tunnelutslippet til bekkene og Ilene naturreservat derfor vært relativt liten, og begrenset til gifteffekter i nedre del av Homannsbekken og det nærmeste gruntområdet ved utløpet.

For å få reetablert normal fauna i Kortenbekken var det nødvendig å fjerne nytt og gammelt sediment. Reetableringen av naturlig fauna til de helt eller delvis ødelagte områdene ble antatt å gå raskt. Den starter umiddelbart etter at det er oppnådd levelige forhold og skyter fart utover våren og sommeren. Det vil trolig være tilnærmet naturlige forhold innen et år eller to, avhengig av hva slags fauna som gikk tapt. Det avhenger imidlertid av at det ikke tilføres nye forurensninger.



Figur 13. Modellberegning av pH utover i indre deler av Ilene fordelt på ulike dyp etter utslipp i 24 timer. Naturlig pH ligger i området 8 - 8,5.



Figur 14. Modellberegning av NH₄-N utover i indre deler av Ilene fordelt på ulike dyp etter utslipp i 24 timer.

3.4 Biologiske effekter i Ilene

Ut fra registreringene i 2004 og 2006 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 ble vurdert etter SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (SFT 1997) og intern NIVA-klassifisering for ISI (Rygg 2002).

Artstallene var forholdsvis lave i 2004, og enda lavere i 2006 (**Tabell 3**). Faunatilstanden kan klassifiseres som mindre god (klasse III) til dårlig (klasse IV). 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 har klassifisert tilstanden noe for strengt, og at den kan settes til klasse III i stedet for klasse IV. Som konklusjon kan forurensningstilstanden på 1 m dyp i indre del av Ilene i desember 2004 kan betraktes som klasse III eller noe bedre (klasse II).

I desember i 2006 var artsantallet i prøvene noe lavere enn i 2004, og det ble registrert enkelte tydelige forskjeller i faunasammensetningen. Blant annet var manglebørstemarken (Polychaeta) *Heteromastus filiformis* meget vanlig i 2004, mens den var nesten fraværende i 2006. Muslingen (Bivalvia) *Mya arenaria* (sandmusling) var helt fraværende i 2004, men vanlig i 2006. I tillegg var det også mindre endringer som kan tilskrives normal variasjon. De observerte endringene kan i liten grad forklares med forurensningstilførsler, og er mest sannsynlig forårsaket av større innslag av ferskvann i Ilene i 2006 enn i 2004.

Faunaen var ikke preget av forurensningsindikerende arter.

Tabell 3. Faunaparametre. Artstall (S); individtall (N); artsmangfold (H' og ES100); indeks for forekomst av forurensningsømfintlige arter (ISI).

	I – meget god	II – god	III – mindre god	IV – dårlig	V – meget dårlig
16.12.2004					
Stasjon	S	N	H'	ES(100)	ISI
Ilene 1	18	336	2.72	11.90	5.12
Ilene 2	12	419	2.42	8.89	4.11
Ilene 3	18	443	2.43	12.94	4.32
Ilene 4	9	71	2.29		4.69
Ilene 5	12	277	2.12	8.51	4.69
13.12.2006					
Stasjon	S	N	H'	ES(100)	ISI
Ilene 1	10	203	2.06	8.27	5.26
Ilene 2	12	470	2.13	8.05	4.8
Ilene 3	11	340	1.99	7.76	4.8
Ilene 4	10	153	1.59	8.19	5.39
Ilene 5	12	146	2.68	11.01	4.8

Tabell 4. Gjennomsnittlig antall individer pr. m² av ulike arter i Ilene i desember 2004 og desember 2006.

		16.12.2004	13.12.2006
POLYCHAETA	<i>Harmothoe sp</i>	1	
POLYCHAETA	<i>Eteone sp</i>	1	
POLYCHAETA	<i>Nereis diversicolor</i>	36.8	95.8
POLYCHAETA	<i>Spio sp</i>		2
POLYCHAETA	<i>Capitella capitata</i>	1	
POLYCHAETA	<i>Heteromastus filiformis</i>	122.8	1.8
OLIGOCHAETA	<i>Oligochaeta</i>	15	
OLIGOCHAETA	<i>Tubificoides benedii</i>	11.4	5.3
PROSOBRANCHIA	<i>Littorina littorea</i>		2.8
PROSOBRANCHIA	<i>Littorina saxatilis</i>		1.5
PROSOBRANCHIA	<i>Hydrobia ulvae</i>	77.6	90.6
PROSOBRANCHIA	<i>Rissoa albella</i>	2	
PROSOBRANCHIA	<i>Rissoa membranacea</i>	1	1
BIVALVIA	<i>Mytilus edulis</i>	9	8.8
BIVALVIA	<i>Cerastoderma glaucum</i>	3.75	1
BIVALVIA	<i>Macoma calcarea</i>	3.2	1
BIVALVIA	<i>Abra alba</i>	2.75	8.4
BIVALVIA	<i>Mya arenaria</i>		39.6
CIRRIPEDIA	<i>Balanus balanoides</i>	8.6	7
ISOPODA	<i>Jaera albifrons</i>	4	
AMPHIPODA	<i>Gammarus salinus</i>	3	
AMPHIPODA	<i>Melita palmata</i>	4.75	
AMPHIPODA	<i>Microdeutopus propinquus</i>	2	
AMPHIPODA	<i>Corophium volutator</i>		3.75
DECAPODA	<i>Carcinus maenas</i>	4	4
CHIRONOMIDAE	Chironomidae	2	
PISCES	Pisces	1	1
VARIA	Ubestemt	1	
SUM	SUM	318	275

4. Konklusjoner

Avrenningsvann fra mellomlageret av sprengstein fra tunneldrivingen hadde tidvis meget høye konsentrasjoner av ammonium. Før tiltak var det også høye pH verdier.

Det gjennomførte tiltaket med automatisk syredosering til bassengvannet har vært vellykket, og har medført lave, og stort sett ikke giftige, konsentrasjoner av ammoniakk selv ved høye konsentrasjoner av ammonium.

Test av forurensningspotensialet fra sprengstein fra tunnelen, som ble brukt til forbelastning til vei, gav høy pH (11) og høy konsentrasjon av ammoniakk i vaskevannet. Som tiltak i felten ble det laget et oppsamlingsbasseng der vannet ble samlet og behandlet ved dosering av syre.

Utslipp av tunnelvann til Kortenbekken i 2004 medførte nedslamming av bekken. Slam og vann hadde meget høy pH (11-12) og var uegnet for biologisk liv. Opprinnelig sediment i bekken var meget forurenset. Tunnel slam og gammelt sediment ble byttet ut med rene masser for å bedre forholdene for biologisk liv. I følge modellberegninger var det sannsynligvis giftige konsentrasjoner av ammoniakk i utløpet av Homannbekken i perioden utslippet pågikk. Det ble ikke påvist spredning av andre miljøgifter utover i Ilene.

Det er ikke påvist endringer/skader på bunnfaunaen i Ilene som følge av anleggsarbeidene i perioden fra desember 2004 til desember 2006.

5. Referanser

Bækken, T. 1998. Avrenning av nitrogen fra tunnelmasse. – NIVA Rapport 3920

Bækken, T. 2000. Utslipp av tunnelvann i Mastebekken Modum kommune. Virkninger på vannkjemi, bunndyr og fisk. Sluttrapport. – NIVA Rapport 4287

Bækken, T. 2001. Utfylling av tunnelmasse i nedre del av Drammenselva. Overvåking av vannkvaliteten. – NIVA Rapport 4348.

Bækken og Tjomsland 2005. Utslipp av tunnelvann til Kortenbekken. Virkning på sediment og biologi i Kortenbekken, Homannsbekken og Ilene naturreservat. – NIVA Rapport 4948.

Bækken, T. Resultater fra avrenningstest fra sprengstein. – NIVA notat 17.03.2005

Hurlbert S. N., 1971. The non-concept of species diversity. *Ecology* 53: 577-586.

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.

Rygg, B., 2002. Indicator species index for assessing benthic ecological quality in marine waters of Norway. - NIVA Rapport 4548-2002. 32 s.

Shannon, C.E. og Weaver, W. 1963. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana., 117 s.

Vedlegg A.

Tabell 5. Koordinater til bunndyrstasjoner i Ilene.

St. nr.	Pos. N	Pos. E	Dyp, m
1	59°16.490	010°23.753	1.2
2	59°16.493	010°23.699	1.0-1.2
3	59°16.470	010°23.617	1.0-1.2
4	59°16.475	010°23.552	1.0-1.2
5	59°16.453	010°23.477	1.0-1.2

Tabell 6. Sedimentegenskaper på bunndyrstasjonene

St. nr.	Dyp, m	Sedimentbeskrivelse
1	1.2	3-4 mm brunt finkornet topplag, leire under. Ingen H ₂ S lukt. Noe tang, blåskjell og hjerteskjell. Sikterest: 8 dl, hovedsakelig tang, 1 dl skjellbiter.
2	1.0-1.2	3-4 mm brunt finkornet topplag, leire under. Ingen H ₂ S lukt. Noe tang, blåskjell og hjerteskjell. Sikterest: 5 dl, tang og skjellbiter.
3	1.0-1.2	Som 1, men noe mer sandig. Sikterest: 8 dl, skjellbiter, noe tang.
4	1.0-1.2	Som 3. Sikterest: 8 dl, mest skjellbiter, noe tang.
5	1.0-1.2	Som 3, men uten levende skjell, og noe fastere konsistens. Sikterest: 5 dl, skjellbiter, noe tang.

Tabell 7. Tørrstoff (TTS), finstoff (KORN<63µm), fosfor (P), total nitrogen (N) og total organisk karbon (TOC) i overflatesedimentet på hver stasjon i Ilene (16.12.2004).

Ilene		St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
TTS	g/kg	463	580	518	597	568
KORN<63µm	% t.v.	98	96	89	92	98
Tot N	µg/mg N TS	1.8	1.8	3.1	<1.0	1.5
Tot P	µg/mg P TS	1.220	0.917	0.911	0.858	1.020
TOC	µg/mg C TS	22.1	13.1	20.1	10.2	13.2

Tabell 8. Arts sammensetningen i prøver fra Ilene 16.12 2004 og 13.12 2006.

FAMILIENAVN	ARTSNAVN	HOM1_2004	HOM2_2004	HOM3_2004	HOM4_2004	HOM5_2004	HOM1_2006	HOM2_2006	HOM3_2006	HOM4_2006	HOM5_2006
Polynoidae	Harmoiothe sp	1									
Phyllococidae	Eteone sp		1								
Nereidae	Nereis diversicolor	41	55	24	27	37	86	164	86	93	50
Spionidae	Spio sp							2			
Capitellidae	Capitella capitata			1							
Capitellidae	Heteromastus filiformis	106	159	248	14	87	3	1	1	1	3
	Oligochaeta	19		9		17					
	Tubificoides benedii	11	27	12	4	3		10	2		4
Littorinidae	Littorina littorea						1	1	1	3	8
Littorinidae	Littorina saxatilis							2		1	
Hydrobiidae	Hydrobia ulvae	100	115	36	19	118	71	133	166	43	40
Rissoidae	Rissoa albella		2								
Rissoidae	Rissoa membranacea	1		1			1				
Mytilidae	Mytilus edulis	6	21	8		1	21	5	6	1	11
Cardiidae	Cerastoderma glaucum	2	9	2	2					1	1
Tellinidae	Macoma calcarea	3	4	4	1	4	1				
Scrobiculariidae	Abra alba	1		8	1	1	8	6	13	3	12
Myidae	Mya arenaria						7	128	56	6	1
	Balanus balanoides	11	16	13	1	2	4	15	4		5
Parasellidae	Jaera albifrons	1		7							
Gammaridae	Gammarus salinus			3							
Melitidae	Melita palmata	3	1	14		1					
Aoridae	Microdeutopus propinquus	1		3							
Corophiidae	Corophium volutator							3	1	1	10
Portunidae	Carcinus maenas	5		4	2	5			4		
	Chironomidae	2	2								
	Pisces			1		1					1
	Ubestemt	1									