

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

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

Tittel Utfylling av tunnelmasse i nedre del av Drammenselva. Overvåkning av vannkvaliteten.	Løpenr. (for bestilling) 4348-2001	Dato 28.02.2001
	Prosjektnr. Undernr. 99143, 20036	Sider Pris 23
Forfatter(e) Bækken, Torleif	Fagområde Miljøgifter	Distribusjon Fri
	Geografisk område BUS	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statens vegvesen, Buskerud. Drammen kommune	Oppdragsreferanse
--	-------------------

Sammendrag

Tunnelmasse fra Bragernestunnelen i Drammen er brukt til utfylling i Drammenselva. Innledende tester viste at tunnelmassen tidvis hadde høyt innhold av sprengstoffrester (målt som ammonium), og høye pH verdier. Overvåkning av vannkvaliteten i elva i utfyllingsperioden viste tidvis og stedvis høye konsentrasjoner av ammonium sammen med høye pH verdier. Det medførte, for vannlevende organismer, giftige ammoniakk-konsentrasjoner nær utfyllingsstedene. I enkelte andre tilfeller ble det imidlertid registrert forholdsvis lave verdier også ved utfyllingsstedet. Under utfyllingsarbeidet ble det registrert høyt innhold av partikler som slammet ned nær områdene til fyllingen. Prøver tatt etter pauser i utfyllingen viste at det stadig var utlekking av ammonium, men konsentrasjonene var da forholdsvis lave og av liten betydning for vannkvalitet og biologi. De høyeste konsentrasjonene av forurensninger ble alltid registrert i nærheten av der utfyllingsaktiviteten foregikk. Lengre unna utfyllingsstedet var forurensningstilførselen uttynnet. Konsentrasjonen på 10m avstand var likevel nesten alltid høyere enn bakgrunnsverdiene, mens de på 30m avstand som regel var bakgrunnsverdier. Det er lite trolig at utfyllingen har hatt direkte giftvirkninger på fiskefaunaen da denne har mulighet til å unngå de mest belastede områdene. Bunn dyrsamfunnet nær fyllingen derimot ble trolig sterkt redusert både som en følge av høye ammoniakk-konsentrasjoner og som en følge av nedslamming av bunnområder. Det kan indirekte påvirke fiskefaunaen ved at næringsgrunnlaget for fisken lokalt blir dårligere. Det er å forvente at bunndyrsamfunnet vil være reetablert innen 1-2 år.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Tunnelmasse	1. Tunnel blasted rocks
2. Ammonium	2. Ammonium
3. pH	3. pH
4. Partikler	4. Particles

Torleif Bækken
Prosjektleder

Sigurd Rognerud
Forskningsleder

Nils Roar Sælthun
Forskningsjef

ISBN 82-577-3983-9

Utfylling av tunnelmasse i nedre del av Drammenselva

Overvåkning av vannkvaliteten

Forord

Sprengstein fra tunnelarbeidene i Bragernestunnelen i Drammen ble ønsket anvendt som fyllmasse ved opparbeidelse av rekreasjonsområder langs nedre del av Drammenselva. Det medførte et krav fra Fylkesmannen om overvåkning av vannkvaliteten. Overvåkingen startet i oktober 1999 og ble avsluttet i september 2000. Det har vært en løpende rapportering av resultater fra prosjektet. Foreliggende rapport er en samlerapport for hele prosjektet. Statens vegvesen i Buskerud og Drammen kommune har vært ansvarlige for hver sin del av prosjektet. Prosjektledere ved Statens vegvesen og Drammen kommune har vært henholdsvis Martin Wiig og Christian Grymyr.

Oslo, 28/2 2001

Torleif Bækken

Innhold

Sammendrag	5
Summary	7
1. Innledning	8
2. Metoder og materiale	9
2.1. Utlekkingstest	9
2.2. Overvåkning	10
3. Resultater og vurderinger	12
3.1. Test 1	12
3.2. Test 2.	12
3.3. Overvåkning	15
3.3.1. Referansesituasjon	15
3.3.2. Intensiv prøvetaking	15
3.3.3. Etterfølgende overvåkning	16
4. Konklusjon	20
5. Litteratur	23

Sammendrag

Sprengstein fra tunnelarbeidene i Bragernestunnelen i Drammen er anvendt som fyllmasse ved opparbeidelse av rekreasjonsområde langs nedre del av Drammenselva på Bragernessiden i Drammen mellom Bybrua og Holmenbru (Park 2), mellom Homenbrua og Jernbanebrua (Park 1) og på vestsiden av Holmen.

Massen med sprengstein vil i varierende grad inneholde sprengstoffrester som skyldes søl fra lading og fra udetonerte ladninger. Det ble anvendt slurrysprengstoff. Det består hovedsaklig av ammoniumnitrat (NH_4NO_3). Ammoniumnitrat er lett løselig i vann, og vil derfor lett vaskes av sprengsteinen. Endel av sprengstoffrestene vil renne av med tunnelvannet (Traaen og Berge 1999), mens den resterende delen vil bli med sprengsteinen til deponering.

På grunn av steinstøv fra sprengning og boreslam vil utfyllingen av steinmassene også medføre tilslamming av vannmassene og bunnområdene utenfor fyllingen (Bækken 1998c, Bækken 2000).

På denne bakgrunnen ble det lagt opp til en overvåkning av vannkvaliteten i elva før og under utfyllingsarbeidet. For nitrogenets vedkommende ble det lagt vekt på ammonium. Forøvrig ble det målt konduktivitet (ioneinnhold), partikkelinnhold (turbiditet) og pH. Før utfyllingen startet ble det foretatt tester for å antyde utlekkingspotensialet av sprengstoffrester fra tunnelmassen.

De innledende testene viste at forurensningspotensialet for tunnelmassen kunne være betydelig. Testene viste også at det kunne være store forskjeller i mengden av udetonerte sprengstoffrester og rester fra sprøytebetong (pH) fra en prøve til neste. Forurensningspotensialet ble vesentlig redusert fra Test1 til Test 2. Dette hadde trolig to hovedårsaker: 1. Mindre søl av sprengstoffrester før og under sprengning grunnet bedre lade- og sprengningsforhold. 2. Spyling av røysa før utkjøring.

Når tunnelmassen ble dumpet i elva ble det observert store forskjeller i forurensningskonsentrasjoner. I flere tilfeller ble det registrert høye konsentrasjoner av ammonium ledsaget av høye pH verdier. Dette medførte, for vannlevende organismer, giftige konsentrasjoner av ammoniakk. Oftest ble det i disse situasjonene også funnet meget høye konsentrasjoner av partikler. Fordelingen fulgte stort sett fordelingen av de andre forurensningene. De største partiklene vil raskt sedimentere og legge seg som et lag på bunnen av elva, mens de minste vil følge elvestrømmen ut i Drammensfjorden.

I enkelte andre tilfeller ble det imidlertid registrert forholdsvis lave verdier av ammonium også ved utfyllingsstedet. Det antydte lite søl av sprengstoff og en høy detoneringsgrad under sprengningen. Prøver tatt etter pauser i utfyllingen viste at det stadig var utlekking, men konsentrasjonene var forholdsvis lave og av liten betydning for vannkvalitet og biologi.

Drammenselva er en relativt stor elv med en midlere vannføring på ca $300 \text{ m}^3/\text{s}$. Store deler av utfyllingsområdene lå imidlertid utenfor hovedstrømmen og med moderat vannutskiftning. De høyeste konsentrasjonene av forurensninger ble alltid registrert i nærheten av der utfyllingsaktiviteten foregikk. Lengre unna utfyllingsstedet, f.eks på 10m og 30m avstand, var forurensningstilførselen uttynnet. Konsentrasjonen på 10m avstand var likevel nesten alltid høyere enn bakgrunnsverdiene, mens det på 30m avstand som regel var bakgrunnsverdier.

Det er kjent at laksefisk kan reagere på ammoniakk-konsentrasjoner ned mot $10 \mu\text{gN/L}$. Ved forsøk er det påvist dødelighet på lakseunger ved så lave verdier som $31 \mu\text{gN/L}$ (96t LC_{-50} verdier) (Knoph 1995). Myndighetene i USA har fastsatt pH og temperaturavhengige vannkvalitetskriterier for ammoniakk i ferskvann (U.S.EPA 1985). Det er angitt firedagers middelverdier (fra $0,6 \mu\text{gN/l}$ ved pH 6,5 og temperatur 0° til $35 \mu\text{gN/l}$ ved pH 9 og 30°) som ikke skal overskrides mer enn én gang hvert 3.

år (anvendes også i Canada). Dersom disse kriteriene anvendes i Drammenselva har grenseverdiene tidvis/stedvis vært overskredet nær utfyllingsområdet i Bragernesløpet. Det er likevel lite trolig at det vil få direkte giftvirkninger på fiskefaunaen i området da denne kan flytte seg vekk fra området, samt at den i stor grad består av mer tolerante arter enn laksefisk. Bunndyrsamfunnet nær fyllingen vil derimot bli redusert både som en følge av høyt ammoniakkinhold og som en følge av nedslamming av bunnområder med steinpartikler. Det kan indirekte påvirke fiskefaunaen ved at næringsgrunnlaget for fisken lokalt blir dårligere. Det er å forvente at bunndyrsamfunnet vil være reetablert innen 1-2 år.

Summary

Title: Deposition of tunnel blasted rocks in the river Drammenselva, Norway. Monitoring of water quality.

Year: 2001

Author: Torleif Bækken

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3983-9

1. Innledning

Sprengstein fra tunnelarbeidene i Bragernestunnelen i Drammen er anvendt som fyllmasse ved opparbeidelse av rekreasjonsområde langs nedre del av Drammenselva på Bragernessiden i Drammen mellom Bybrua og Holmenbru (Park 2), mellom Homenbrua og Jernbanebrua (Park 1) og på vestsiden av Holmen.

Massen med sprengstein vil i varierende grad inneholde sprengstoffrester som skyldes søl fra lading og fra udetonerte ladninger. Det ble anvendt slurrysprengstoff. Det består hovedsaklig av ammoniumnitrat (NH_4NO_3). Ammoniumnitrat er lett løselig i vann, og vil derfor lett vaskes av sprengsteinen. Endel av sprengstoffrestene vil renne av med tunnelvannet (Traaen og Berge 1999), mens den resterende delen vil bli med sprengsteinen til deponering. Utlekkingsforsøk har vist betydelig avrenning både av nitrater og ammonium fra nysprengt tunnelmasse (Sjölund 1997, Bækken 1998a). Utlekkingsforsøk med lagret tunnelmasse fra Kobbervikdalen i Drammen viste langt mindre avrenning enn fra fersk tunnelmasse (Bækken 1998b). Utfylling av tunnelmasse i Drammenselva ved Mjøndalen medførte bare svakt forhøyede ammoniumverdier ved fyllingen (Bækken 1998c). Andre undersøkelser har påvist vesentlig forhøyede nitrogenkonsentrasjoner i resipienter som mottar avrenning fra tunnelmasser og tunnelvann (Lande 1986, Bækken 2000).

I vannløsning er ammonium (NH_4) i likevekt med ammoniakk (NH_3). Andelen ammoniakk avhenger av pH og temperatur slik at andelen ammoniakk øker både med økende pH og økende temperatur. I forbindelse med sikring av tak og vegger i tunnelen blir det anvendt sprøytebetong. Sementen i sprøytebetong er i seg selv alkalisk. Den vanligst anvendte akselleratoren ("vannglass"/natriumsilikat) som brukes i sprøytebetongen er sterkt alkalisk. Under påføringen vil det alltid bli noe søl (prelletap). Det innebærer at avrenning fra tunnelmasser som inneholder søl av sprøytebetong vil ha en høy pH-verdi, og andelen ammoniakk av total ammonium kan bli stor. Ammoniakk er forholdsvis giftig for vannlevende organismer og da særlig for laksefisk (Alabaster & Lloyd 1982, Knoph 1995). I en liten resipient påvirket av tunnelvann under sprengningsarbeid ble det påvist at ble det meste av dyrelivet døde ut (Bækken 2000). Ved høy pH i resipienten og stor tilgang på ammoniumioner kan derfor ammoniakk være et problem. Av denne grunn har myndighetene i USA gitt vannkvalitetskriterier for ammonium avhengig av både pH og temperatur (U.S.EPA 1985). De samme kriteriene brukes også i Canada (CCREM).

På grunn av steinstøv fra sprengning og boreslam vil utfyllingen av steinmassene også medføre tilslamming av vannmassene og bunnområdene utenfor fyllingen (Bækken 1998c, Bækken 2000).

På denne bakgrunn ble det lagt opp til en overvåkning av vannkvaliteten i elva før og under utfyllingsarbeidet. På bakgrunn av redegjørelsen ovenfor ble det lagt vekt på å analysere ammonium, konduktivitet (ioneinnhold), partikkelinnhold (turbiditet) og pH. Før utfyllingen startet ble det foretatt tester for å antyde utlekkingspotensialet av sprengstoffrester fra tunnelmassen.

Den foreliggende rapport er en sammenfattende rapport som presenterer resultater fra utlekkings tester, fra referanseprøver fra Drammenselva før utfyllingen startet, fra en intensiv undersøkelse i løpet av noen timer i løpet av utfyllingsarbeidet og fra stikkprøver tatt i løpet av utfyllingsperioden. Prøvene skal gi informasjon om referansesituasjonen samt konsentrasjoner og spredning av forurensninger utover og nedover i elva.

Vannprøvene ble levert til NIVAs akkrediterte laboratorium få timer etter prøvetakingen, konservert umiddelbart, og analysert samme dag eller dagen etter. Del-resultater ble deretter presentert for oppdragsgiver slik at det var mulig å gå inn med forurensningsbegrensende tiltak dersom det var nødvendig.

2. Metoder og materiale

2.1. Utlekkingstest

Test av utlekkingspotensialet for sprengstoffrester fra tunnelmassen ble utført ved to situasjoner. Etter den første testen (Test 1) ble det rapportert å ha vært problemer med lading samt at røysa ikke ble spylt før utkjøring. Konsentrasjonen av ammonium i prøvene fra denne testen var så høyt at det ble besluttet å foreta ytterligere en test (Test 2) etter at ladeprosessen var bedret, samt at det ble innført spyling av tunnelmassene før utkjøring.

Den benyttede steinmassen kom direkte fra nysprengt fjell i Bragernestunnelen. Ved den første testede salven ble sprengningen utført ca kl 14.00 den 24. august 1999. Den andre ble sprengt ca 10.30 den 6. oktober 1999. Det ble anvendt slurrsprengstoff med hovedbestanddel ammoniumnitrat. I følge entreprenøren var hver salve den første etter bruk av sprøytebetong. Tunnelmassen ble kjørt til et utfyllingsområde på Lierstranda i Drammen. Her ble det tatt ut prøver av massen for analyse av ammoniuminnhold, pH og konduktivitet. Prøvene ble behandlet i henhold til metodikk tidligere brukt for tunnelmasser fra Kobbervikdalen (Bækken 1998b). Det ble tatt 10 prøver fra 10 forskjellige, tilfeldige, lass. Prøvestørrelsen som ble tatt ut for bearbeiding varierte mellom ca 12 og 16 kg og besto av knuste steinmasser av fraksjonene stein, grus og sand med størrelse inntil 15-20 cm i diameter (**Tabell 1**). Ved utlekkingsforsøket ble prøvene splittet ned til 2 kg representative prøver slik at de fikk samme fordeling av stor og små stein som i prøven tatt fra tunnelmassen. Hver 2 kg prøve ble vasket i 5 l rent overflatevann (Maridalsvann) i ett døgn. Deretter ble det tatt ut en vannprøve på 0,5 l for analyse av ammonium, pH og konduktivitet. Konsentrasjonen av nitrat i disse prøvene vil i prinsippet følge konsentrasjonen av ammonium, og ble derfor ikke målt.

Tabell 1. Masse og størrelsesfordeling av steinprøver tatt fra utkjørt tunnelmasse fra Bragernestunnelen den 24. august (Test 1) og 6. oktober 1999 (Test 2).

Prøve nummer		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Test 1											
Totalmasse	kg	11,7	14,8	13,7	12,8	13,8	15,7	15,0	15,2	12,4	12,5
Stein>5 cm	kg	8,7	8,5	8,4	7,8	6,5	11,4	9,3	10,8	8,6	6,8
Stein<5cm	kg	3,0	6,3	5,3	5,0	7,3	4,3	5,7	4,4	3,8	5,7
Test 2											
Totalmasse	kg	15,1	15,9	14,8	14,2	14,6	13,5	12,5	15,2	15,3	13,7
Stein>5 cm	kg	11,1	8,7	9,3	9,7	12,0	12,5	10,0	11,3	12,8	10,8
Stein<5cm	kg	4,0	7,2	5,5	4,5	2,6	1,0	2,5	3,9	2,5	2,9

2.2. Overvåkning

Overvåkingen i Drammenselva ble utført som en situasjonsbeskrivelse av forurensningen fra utfyllingsområdet etter 1. uke med utfylling av tunnelmasse i elva. Det ble i tillegg tatt stikkprøver under den resterende utfyllingsperioden samt fra referansesituasjonen før utfyllingen startet. Prøvetakingsstedene er vist på **Figur 1**.

Prøvene ble analysert på ammonium ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$), pH, partikler (turbiditet) og konduktivitet. I vann er det en likevekt mellom ammonium (NH_4^+) og ammoniakk (NH_3). Andelen NH_3 bestemmes av pH og temperatur. Høy pH og høy temperatur gir høy andel NH_3 .

Prøvene ble tatt etter følgende plan:

Før utfyllingen

- 1 blandprøve oppstrøms utfyllingsområdet
- 1 blandprøve i utfyllingsområdet
- 2 blandprøver i ulik avstand nedstrøms utfyllingsområdet

Intensiv prøvetaking etter 1. uke med utfylling (prøvetakingsrunde 1: **Figur 1**)

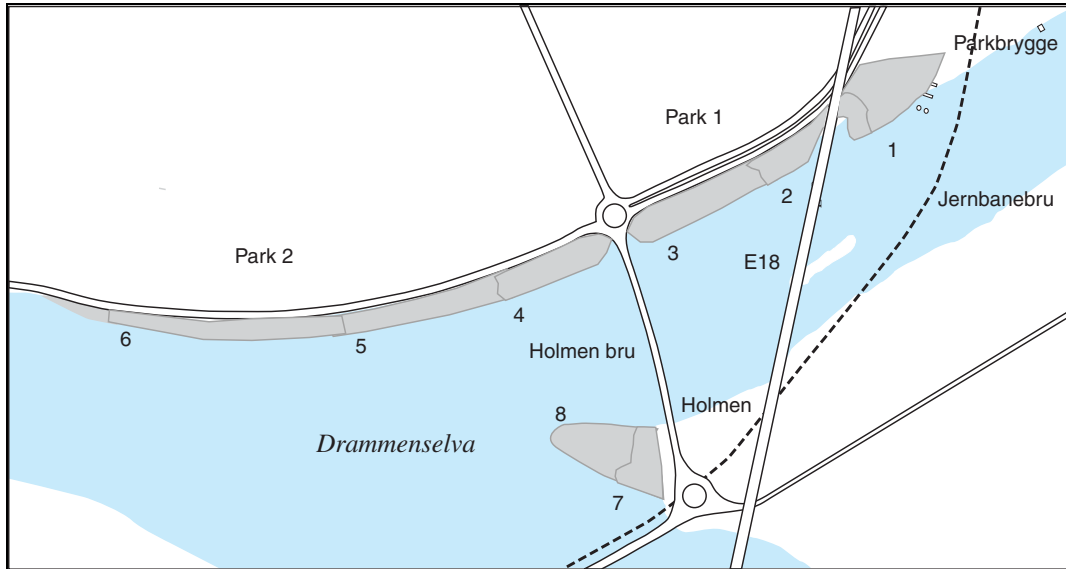
- 1 blandprøve oppstrøms utfyllingsområdet
- Prøver fra 0,5 m og 1,5 m dyp i ulike avstander fra siste anvendte utfyllingssted og utover i elva, og langs fyllingen nedstrøms.
- Blandprøver nedstrøms fyllingen.

Resten av utfyllingsperioden (prøvetakingsrunder 2-8)

- En runde med stikkprøver ca hver 14. dag. Blandprøver og separate prøver. Ved den avsluttende prøvetakingsrunden ved Park 1 ble klorider inkludert i analyseprogrammet grunnet mistanke om at den forhøyede konduktiviteten som ble registrert under feltarbeidet denne gangen kunne skyldes innblanding av saltvann.

Det har i perioder vært lengre opphold i utfyllingsarbeidet. I disse periodene ble det ikke tatt vannprøver fra elva.

Under feltarbeidet ble det stedvis utført feltmålinger av konduktivitet og pH. Disse målemetodene er ikke akkrediterte, målingene kan være unøyaktige, og resultatene må bare sees på som veiledende.



Figur 1. Utfyllingsområdene i Drammenselva. Grå arealer er fylling. Linjer i fyllingen angir hvor langt utfyllingen hadde kommet ved prøvetakingtidspunktet. Nummer angir rekkefølgen i prøvetakingsrunder.



Park 1 ved jernbanebru



Park 1 nedstrøms E18 bru



Park 2 oppstrøms Holmen bru



Holmen

Figur 2. Utfyllingsområdet ved forskjellige stadier av utfyllingsarbeidet.

3. Resultater og vurderinger

3.1. Test 1

I den første testen varierte pH fra moderate til høye verdier; fra 8,7 til over 11. Gjennomsnittsverdien var 9,7. Det totale ammoniumkonsentrasjonen ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) var forholdsvis høyt, men med stor variasjon mellom prøvene (**Figur 3, Tabell 2**). Den laveste og høyeste konsentrasjonen var henholdsvis 4,6 mg/l N og 45,3 mg/l N. Gjennomsnittet for alle prøvene var 16,8 mg/l N. Konduktiviteten varierte stort sett med ammoniumkonsentrasjonen unntatt for prøve P3 hvor også det høye pH-nivået (høy OH^- konsentrasjon) ga et ekstra bidrag.

I vann er det en likevekt mellom ammonium (NH_4^+) og ammoniakk (NH_3). Andelen NH_3 bestemmes av pH og temperatur. Høy pH og høy temperatur gir høy andel NH_3 . I de foreliggende prøvene ble andelen NH_3 beregnet utfra målt pH i prøven og for en temperatur på 10 grader. Det ga en NH_3 andel fra ca 9 % til over 96 % med gjennomsnitt 45 %. Tilsvarende verdier ved 4 grader er 6 %, 94 % og 38 %. Fordi denne salven var den første etter bruk av sprøytebetong var pH trolig høyere i disse prøvene enn det som forventes i salver med lengre avstand til sprøytebetongen. Det vil også innvirke på andelen av NH_3 .

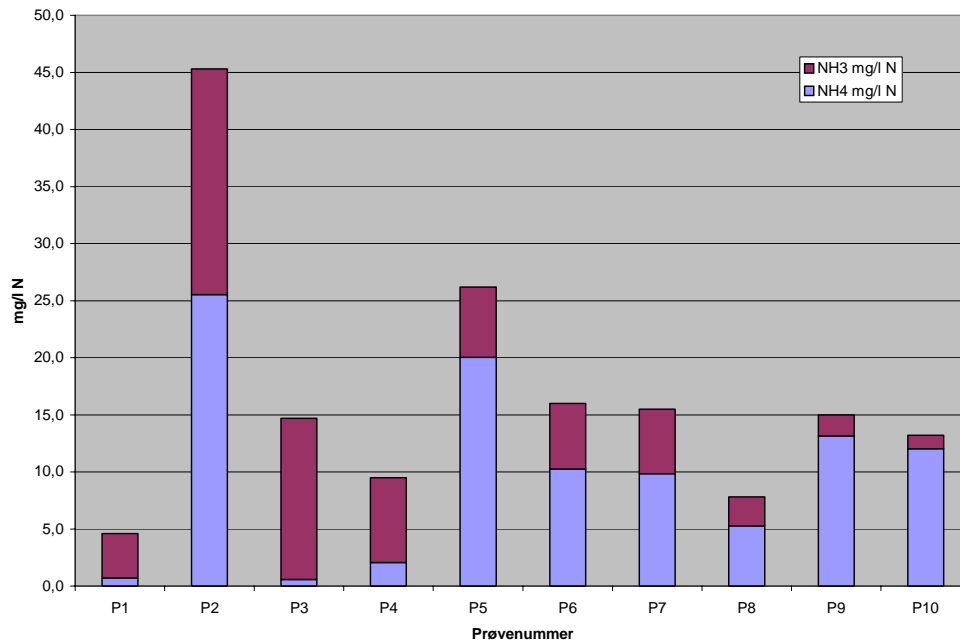
Ammoniumkonsentrasjonen var vesentlig høyere enn funnet i den lagrede tunnelmassen fra Kobbervikdalen (Bækken 1998b). Gjennomsnittsverdiene var nesten 10 ganger høyere. Også pH var høyere selv om den vil variere med bruken av sprøytebetong. Det må derfor forventes at utfyllingen av denne massen i Drammenselva ved Bragernesløpet i Drammen kan medføre vesentlig høyere ammoniumkonsentrasjon i vannet nær fyllingen, noe større NH_3 -andel, samt gi større spredning av foruresningene enn det som ble funnet ved utfyllingen i Drammenselva ved Mjøndalen (Bækken 1998c).

3.2. Test 2

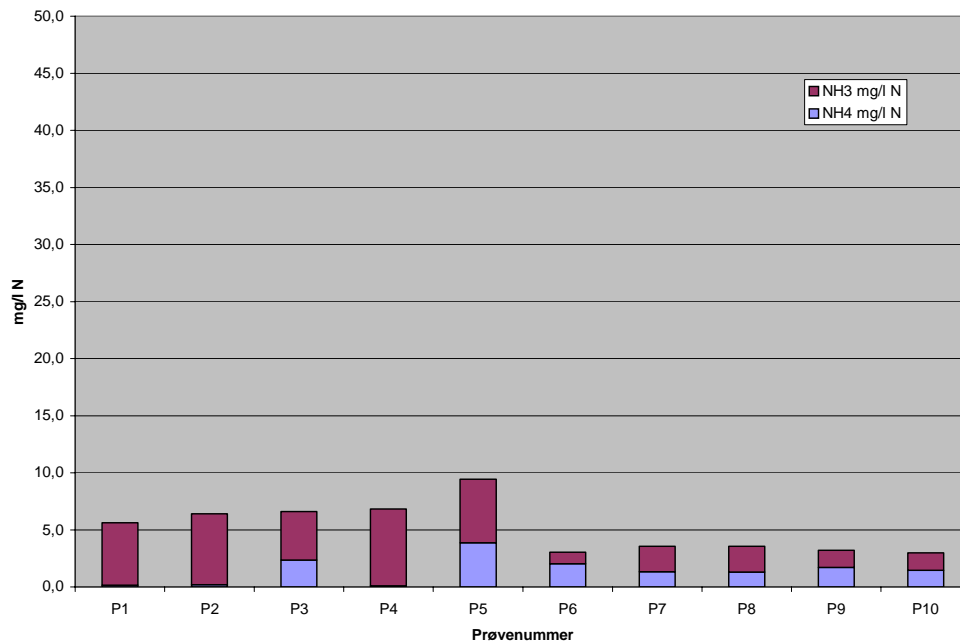
I den andre testen varierte pH fra moderat høye til høye verdier; fra 9,4 til 11,6. Gjennomsnittsverdien var på 10,3. Verdiene var gjennomgående litt høyere enn funnet ved første test. Dette kan skyldes tilfeldigheter. Det totale ammoniumkonsentrasjonen ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) var i gjennomsnitt 5,1 mg/l N. Det var en stor reduksjon fra første test. Variasjonen mellom prøvene var langt lavere ved Test 2 enn ved Test 1, med høyeste og laveste verdier på henholdsvis 9,4 og 3,0 mg/l N. Det reduserte innholdet av ammonium i Test 2 kan skyldes mindre søl av sprengstoff og/eller utvasking av sprengstoffrester ved spyling av røysa. Spylingen av røysa har trolig fordelt sprengstoffrestene jevnere i massene som antydnet ved liten variasjon mellom prøvene (**Figur 4, Tabell 3**). Konduktiviteten fulgte stort sett ammoniumkonsentrasjonen unntatt for prøver med meget høy pH (>11) hvor også det høye OH^- nivået gir et ekstra bidrag.

I de foreliggende prøvene ble andelen NH_3 beregnet utfra målt pH i prøven og for en på 10 grader. Det ga en NH_3 andel fra ca 33 % til over 98 % med gjennomsnitt 67 %. Fordi denne salven var den første etter bruk av sprøytebetong var pH høyere i disse prøvene enn det som forventes i salver med lengre avstand til sprøytebetongen. Det vil også innvirke på andelen av NH_3 .

Ammoniumkonsentrasjonen var redusert vesentlig fra første til andre test. Selv om den fremdeles var høyere enn funnet i den lagrede tunnelmassen fra Kobbervikdalen, hadde gjennomsnittsverdien sunket fra nesten 10 ganger høyere til ca 2,5 ganger høyere. Det må likevel fremdeles forventes at utfyllingen av denne massen i Drammenselva ved Bragernesløpet i Drammen kan medføre høyere ammoniumkonsentrasjon i vannet, og noe høyere NH_3 -andel, samt en større spredning, enn det som ble funnet ved utfyllingen i Drammenselva ved Mjøndalen.



Figur 3. Konsentrasjoner av ammonium (NH₄⁺) og ammoniakk (NH₃) i vann fra Test 1. Andelen NH₃ beregnet i forhold til målt pH og 10°C.



Figur 4. Konsentrasjoner av ammonium (NH₄⁺) og ammoniakk (NH₃) i vann fra Test 2. Andelen NH₃ beregnet i forhold til målt pH og 10°C.

Tabell 2. pH, konduktivitet og ammoniumkonsentrasjoner ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) i testvann fra utvaskingstest Test 1 av tunnelmasser. Ammoniakkandelen av total ammoniumkonsentrasjon er beregnet fra målt pH verdi og for en temperatur på 10 grader.

Prøve nummer		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Gjennomsnitt
Test 1												
Målt												
Ph		10,5	9,6	11,1	10,3	9,2	9,5	9,5	9,4	8,9	8,7	9,7
Kond	mS/m	21,8	70,2	53,7	26,1	47,1	30,3	29,8	18,7	26,6	28,0	35,2
$\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$	mg/l N	4,6	45,3	14,7	9,5	26,2	16,0	15,5	7,8	15,0	13,2	16,8
Beregnet												
NH_3 (t=10°)	%	84,9	43,6	96,2	78,4	23,6	35,9	36,5	32,3	12,3	8,9	45,3
NH_4^+	mg/l N	0,7	25,5	0,6	2,1	20,0	10,3	9,8	5,3	13,1	12,0	9,2
NH_3	mg/l N	3,9	19,8	14,1	7,4	6,2	5,7	5,7	2,5	1,9	1,2	7,6

Tabell 3. pH, konduktivitet og ammoniumkonsentrasjoner ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) i testvann fra utvaskingstest Test 2 av tunnelmasser. Ammoniakkandelen av total ammoniumkonsentrasjon er beregnet fra målt pH verdi og for en temperatur på 10 grader.

Prøve nummer		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Gjennomsnitt
Test 2												
Målt												
pH		11,3	11,3	10,0	11,6	9,9	9,4	10,0	10,0	9,7	9,8	10,3
Kond	mS/m	57,0	53,5	20,4	89,6	25,4	11,9	16,8	15,6	12,9	13,4	31,7
$\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$	mg/l N	5,6	6,4	6,6	6,8	9,4	3,1	3,6	3,5	3,2	3,0	5,1
Beregnet												
NH_3 (t=10°)	%	97,4	97,3	64,5	98,5	59,0	33,3	62,3	63,4	47,1	51,1	67,4
NH_4^+	mg/l N	0,1	0,2	2,3	0,1	3,9	2,0	1,3	1,3	1,7	1,5	1,7
NH_3	mg/l N	5,5	6,2	4,3	6,7	5,6	1,0	2,2	2,2	1,5	1,5	3,5

3.3. Overvåkning

3.3.1. Referansesituasjon

Den 19. oktober 1999 ble det tatt referanseprøver fra området fra Holmenbrua til bryggeutstikkeren i parken nedenfor jernbanebrua (**Figur 1**). Prøvene var blandprøver fra 0,5 og 1,5 m dyp unntatt ved bryggen der 1 m og 3 m ble brukt. Alle prøvene viste pH omkring 6,9 (**Figur 5**) (**Tabell 4**). Konduktivitet var ca 3,4 mS/m ved de øverste stasjonene, og 4,4 mS/m utenfor parkbryggen. Den forhøyede verdien på nederste stasjon skyldtes trolig innslag av saltvann i blandprøven. Konsentrasjonen av ammonium og partikler var innenfor normalområdet med variasjoner mellom henholdsvis 25 og 32 µg/l N, og 0,42 og 0,54 FTU.

3.3.2. Intensiv prøvetaking

Park 1

Under utfyllingen ble det tatt prøver fra referansestasjonen oppstrøms utfyllingen, utenfor sist anvendte utfyllingspunkt på fyllingen (**Figur 2**), utenfor fyllingen ca 50 m nedenfor siste utfyllingspunkt (gamle brupillarar) og to steder nedstrøms fyllingen (jernbanebrua og parkbrygge) (prøvetakingsrunde 1 i **Figur 1**). Prøvene ble tatt 5. november 1999, like etter at tunnelmasse fra en salve var kjørt ut og dumpet. Det ble ikke anvendt sprøytebetong i forkant av denne salven.

Bakgrunnsverdiene fra referansestasjonen viste noe mer partikkelinnhold i elva enn det som ble registrert ved referansesituasjonen for elvestrekningen den 19. oktober. Turbiditeten var nå ca 2 FTU mot ca 0,4 FTU i oktober. Bakgrunnsverdiene for de øvrige parameterene var ikke endret vesentlig (**Tabell 4**).

I de påvirkede områdene utenfor fyllingen ble det registrert til dels store endringer i vannkvaliteten. Påvirkningen var størst nær fyllingen, men det ble også observert forhøyede konsentrasjoner lengre utover i elven. For pH var det generelt forhøyede verdier i nærheten av fyllingen. Verdier over 8 ble imidlertid bare funnet på 1,5 m dyp 3 m fra land ved siste anvendte utfyllingssted (**Figur 5**) (**Tabell 4**). Forøvrig lå pH verdiene i området 7,12 - 7,89 innenfor 10 m avstand fra fyllingen. På 30 m avstand samt nederst, utenfor parkbryggen, lå pH nær referanseverdien.

Ammonium viste også forholdsvis høye verdier i de samme prøvene som viste høye pH verdier. I prøver fra utfyllingsstedet ble det registrert 600 µg/l N på 1,5 m dyp 3 m fra land og 220 µg/l N på 0,5 m 1m fra land (**Figur 5**). Det innebærer henholdsvis ca 10-15% ammoniakk eller omkring 60-80 µg/l N og 1,5-2% eller omkring 4 µg/l N, sett i forhold til et temperaturområde på 10-15 C. De høyeste verdiene vil være giftig for laksefisk. Det ble også funnet forhøyede ammoniumkonsentrasjoner innenfor 10 m avstand fra fyllingen på utfyllingsstedet og stasjonene nedstrøms (ved gamle jernbanebrukar, jernbanebru). Disse konsentrasjonene var imidlertid lite/ikke giftige. Lengre ut (30 m) og på den nederste stasjonen var det stort sett bakgrunnsverdier (unntatt utenfor de gamle brukarene). Et tilsvarende mønster ble registret for partikkelkonsentrasjonen med tildels høye verdier nær fyllingen. Partikkelkonsentrasjonen var meget høyt ved med en turbiditet på 120 FTU ved utfyllingspunktet (**Tabell 4**). Utbredelsen av tilslammet vann kunne observeres visuelt (**Figur 2**). Konduktiviteten varierte fra 3,6 til 6,09 mS/m med samme konsentrasjonsfordeling som funnet for de andre parameterene. Det var en klar samvariasjon mellom ammoniumkonsentrasjon og konduktivitet i disse prøvene (**Figur 9**).

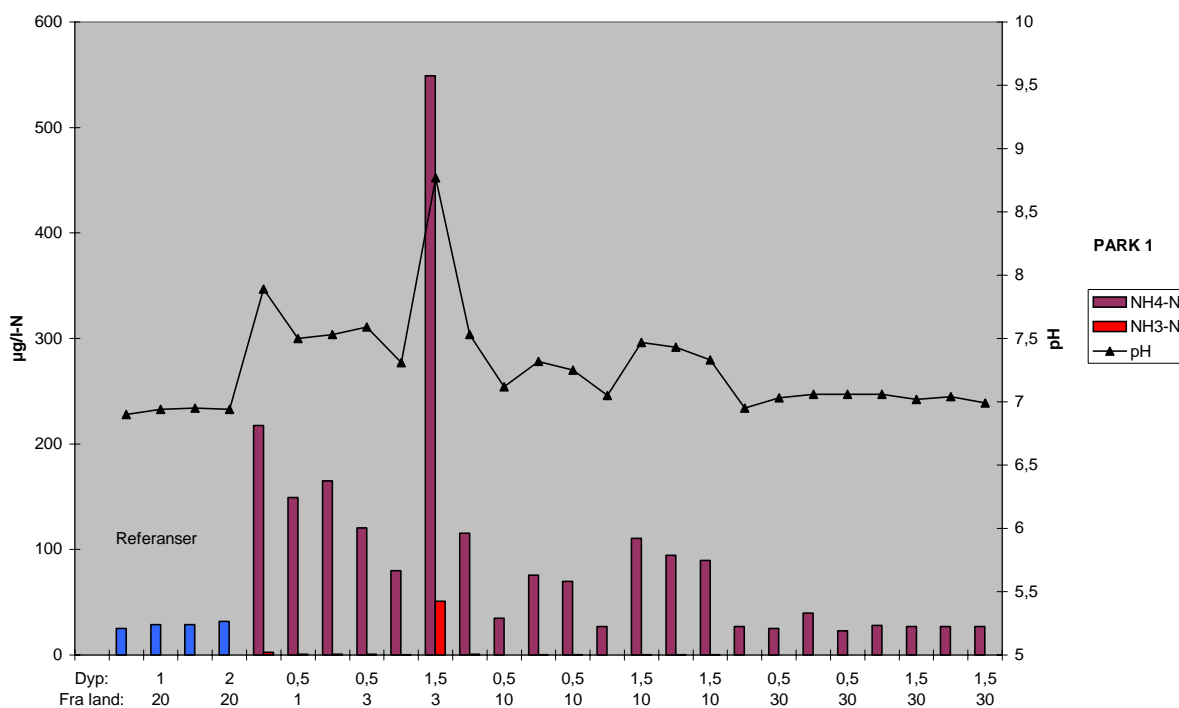
3.3.3. Etterfølgende overvåkning

Park 1

Etter den intensive undersøkelsen ble det tatt enkeltprøver den resterende utfyllingsperioden. Ved den 2. prøvetakingsrunden ved Park 1 (19.11.1999) (

Figur 2) ble det registrert forhøyede ammoniumkonsentrasjoner nær fyllingen. Ved utfyllingspunktet (oppstrøms E18) ble det registrert en ammoniumkonsentrasjon på 408 $\mu\text{g/l N}$ på 2 m avstand fra fyllingen på 0,5 m dyp. pH i denne prøven var 8,72. Det innebærer ca 9-12% NH_3 tilsvarende 35-50 $\mu\text{g/l N}$ ved 10-15°C. Det vil være giftige konsentrasjoner for laksefisk. Den reelle temperaturen i Drammenselva på dette tidspunktet var omkring 5°C. Ved denne temperaturen blir konsentrasjonen av NH_3 redusert til ca 6% eller ca 25 $\mu\text{g/l N}$ og ligger derved i grenseområdet for giftige konsentrasjoner av ammoniakk. pH-verdiene og konduktiviteten fulgte samme utbredelsesmønster og variasjon som ammonium. En feltregistrering av konduktiviteten fra fyllingen og utover i elva viste en klar konsentrasjonsgradient fra fyllingen og utover til 10 -30 m avhengig av strømforholdene (**Figur 8**).

Ved den siste prøvetakingen ved Park 1 (runde 3, 03.12.1999) ble det bare funnet svakt forhøyede ammoniumverdier langsmed/nedstrøms fyllingen sett i forhold til referanseprøven. pH varierte lite og lå på ca 7. Konduktiviteten økte imidlertid betydelig nedover i elven. Økningen samsvarte med økt innblanding av kloridioner fra saltvann, men ikke med økning i ammonium, og kunne ikke knyttes til avrenning fra fyllingen (**Figur 9**).



Figur 5. Park1. Ammonium- og ammoniakk-konsentrasjoner samt pH verdier ved ulike dyp og avstander (m) fra fyllingen på ulike stasjoner. Blå søyler angir ammoniumkonsentrasjonen i referanseprøver.

Park2

Ved den 4. prøvetakingsrunden (15.02.2000) ble det tatt prøver fra referansestasjonen oppstrøms utfylling, ved sist anvendte utfyllingssted, utenfor fyllingen oppstrøms Holmen bru og nedenfor Holmen bru (**Figur 1**). Prøvene ble tatt mens tunnelmasse fra en salve ble kjørt ut og dumpet i elva. Referanseprøvene hadde en kjemisk sammensetning tilsvarende det som ble funnet ved tidligere målinger ved Park 1. pH var omkring 7, konduktiviteten 3,3 mS/m, turbiditeten ca 1,1FTU og

ammonium 24 µg/l N. Generelt var det forhøyede konsentrasjoner av alle målte variable i nærheten av fyllingen og da særlig ved utfyllingsstedet (**Figur 6, Tabell 5**). Høyeste pH- verdi (9,21) ble funnet på 0,5 m dyp 3 m fra fyllingen ved siste utfyllingssted. På denne lokaliteten ble det også registrert høye pH verdier 1 m fra fyllingen på 0,5 m dyp og 3 m fra fyllingen på 2 m dyp. Resultatene for ammonium viste også forholdsvis høye verdier på denne lokaliteten med 615 µg/l N på 0,5 m dyp 3 m fra land og ca 300 µg/l N på 0,5 m 1 m fra land og på 2 m dyp 3 m fra fyllingen. Under de rådende temperatur- og pH-forhold innebærer det ca 15% ammoniakk eller omkring 90 µg/l N for den høyeste verdien. Dette vil være giftig for laksefisk. De observerte pH-ammonium konsentrasjonene ved denne prøvetakingen var i samme størrelsesorden eller noe høyere enn observert ved Park 1 utfyllingen.

Partikkelkonsentrasjonen var stedvis meget høyt med en turbiditet på opptil 91 FTU. Det skjedde en klar tilslamming av nærområdene nedstrøms.

Den 5. prøvetakingsrunden ble utført 1. mars 2000. Ved denne prøvedatoen ble det tatt prøver ved sist anvendte utfyllingssted, utenfor fyllingen oppstrøms Holmen bru og nedstrøms Holmen bru. Det hadde da ikke foregått dumping av tunnelmasse i elva den siste uken. Resultatene fra denne datoen viser derfor utlekking fra en "gammel" fylling. De høyeste verdiene ble påvist ved sist anvendte utfyllingssted 1 m fra fyllingen og på 0,5 m dyp. Høyeste verdi var 95 µg/l N. Konsentrasjonene av ammonium var høyere enn bakgrunnsverdiene for alle prøver unntatt 10 m fra fyllingen ved utfyllingsstedet. Tilsvarende mønster ble observert for turbiditeten (partikkelkonsentrasjonen). For pH var økningen nær fyllingen ubetydelig. Andelen ammoniakk under de rådende temperatur og pH-forhold var svært liten og uten betydning for vannkvalitet og biologi.

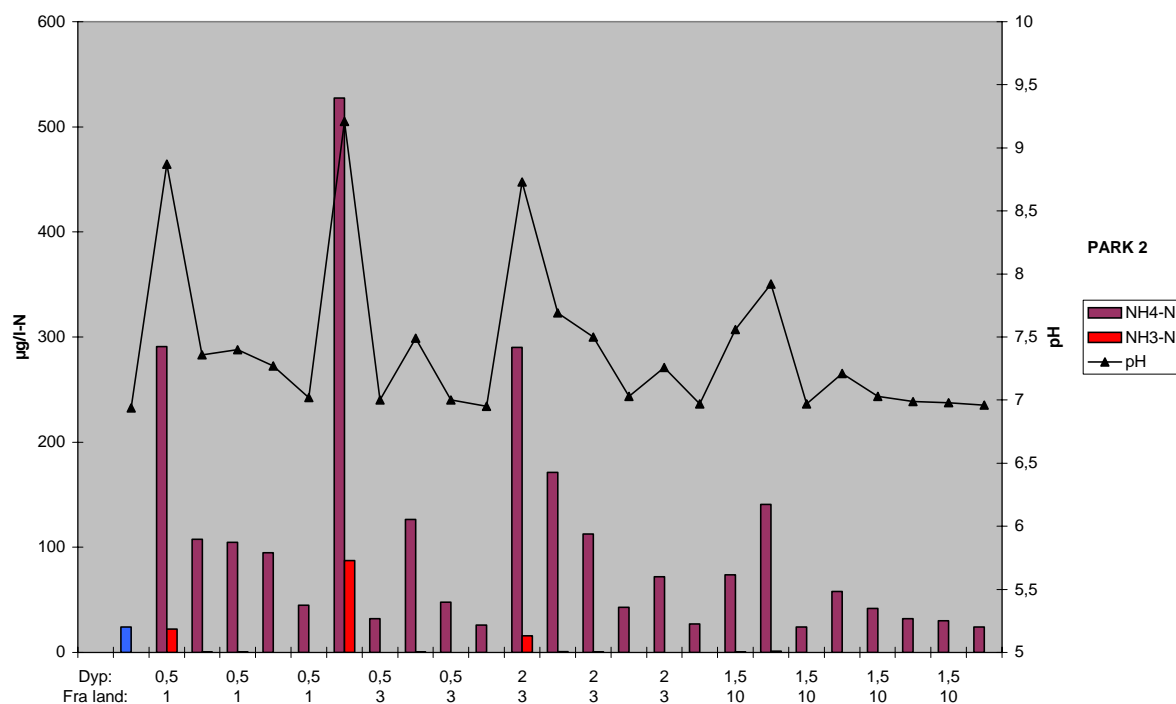
Siste prøvetakingsrunde ved Park 2 ble tatt 21. mars 2000 (runde 6) Ved denne prøvedatoen ble det tatt prøver ved sist anvendte utfyllingssted, utenfor fyllingen ca 100 m nedenfor siste utfyllingsstedet og ved Holmen bru. Prøvene ble tatt samtidig med utfylling av tunnelmasse. Konsentrasjonen av de fleste parametrene var lavere enn påvist i de tidligere prøvene fra fyllingsarbeidene. Med unntak av turbiditet var de også tildels lavere enn det som ble målt ved forrige prøvetaking som foregikk etter en pause i utfyllingen (01.03.2000). De høyeste verdiene ble påvist ved sist anvendte utfyllingspunkt 3 m fra fyllingen og 2 m dypt. Konsentrasjonene av ammonium var høyere enn bakgrunn for 3 av prøvene. Den høyeste konsentrasjonen var 72 µg/l N. Partikkelkonsentrasjonen i vannet var forholdsvis høyt i alle prøver med høyeste konsentrasjon på 25 FTU. For pH var økningen nær fyllingen ubetydelig. Andelen ammoniakk under de rådende temperatur og pH-forhold var svært liten, og uten betydning for vannkvalitet og biologi.

Holmen

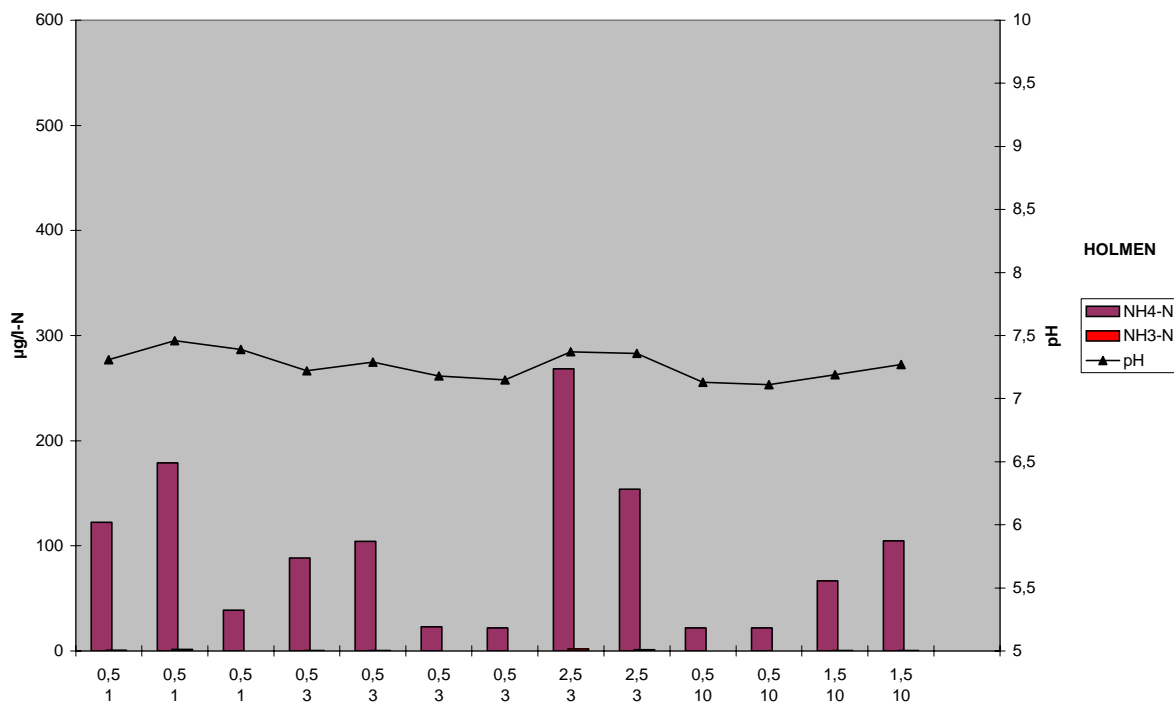
Det ble tatt prøver 23 august 2000 (runde 7). Ved denne prøvedatoen ble det tatt prøver ved sist anvendte utfyllingssted (H1) og utenfor fyllingen ca 20 m nedenfor (H2) (**Figur 1**). Prøvene ble tatt samtidig med at det foregikk utfylling av tunnelmasse fra Bragernestunnelen. Det var moderat høye verdier av ammonium. pH og konduktivitet var innenfor normalverdier i Drammenselva. Det var høyt innhold av partikler i de fleste prøvene. Den høyeste turbiditetsverdien var ca 40 FTU. Den høyeste verdien av ammonium ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) ble påvist i prøven 3 m fra fyllingen på 2,5 m dyp. Konsentrasjonen var her 270 µg/l N (**Figur 7, Tabell 5**). Dette er langt over bakgrunnsverdien i elva. For pH var økningen nær fyllingen ubetydelig. Andelen ammoniakk under de rådende temperatur og pH-forhold blir derfor liten og uten betydning for vannkvalitet og biologi.

De siste prøvene ble tatt 6. september 2000 (runde 8). Ved denne prøvedatoen ble det tatt prøver ved sist anvendte utfyllingssted langs fyllingen mot Bragernessiden. Prøvene ble tatt etter en pause i utfyllingsarbeidet på ca én uke. Det var ca 1 m dypt på alle prøvestasjonene. Alle prøvene er derfor tatt på 0,5 m dyp. Det var forholdsvis lave verdier av ammonium. Noe høyere konsentrasjon av ammonium nær fyllingen viste at det fremdeles ble vasket ut sprengstoffrester. Høyeste konsentrasjon var 39 µg/l N. pH og konduktivitet var innenfor normalverdier i Drammenselva, men noe forhøyet nær

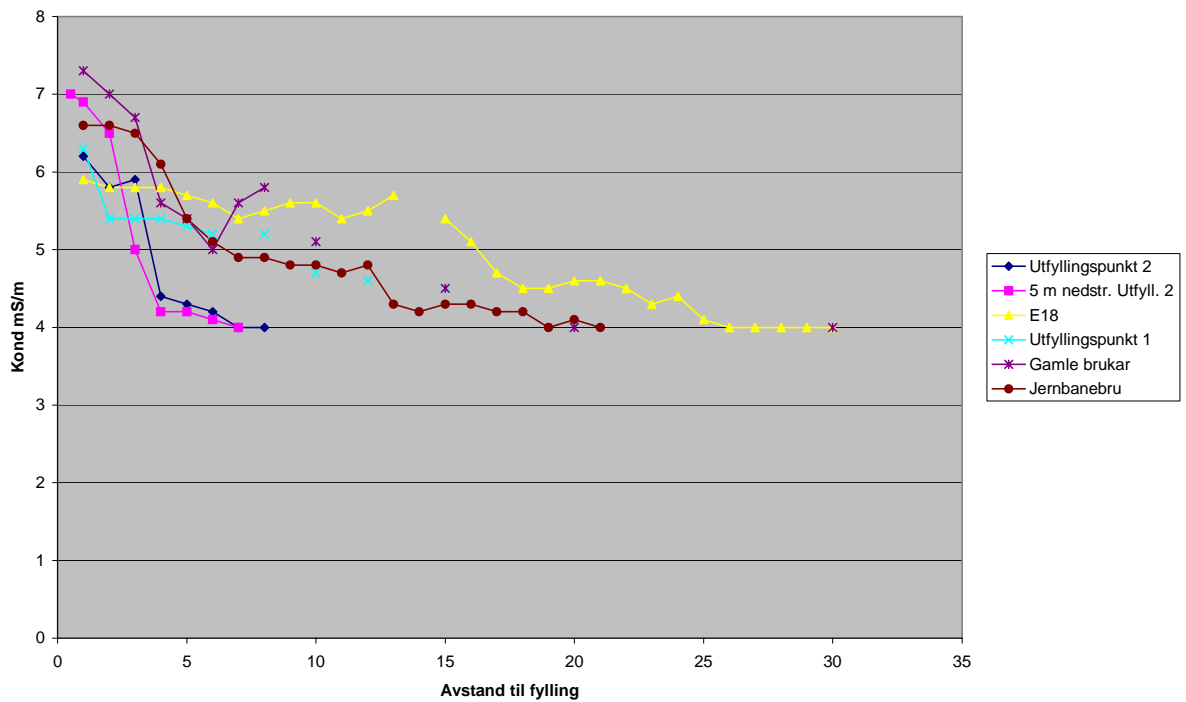
fyllingen. Partikkelkonsentrasjonen var moderat høyt og høyest nær fyllingen. Andelen ammoniakk under de rådende temperatur og pH-forhold var liten og uten betydning for vannkvalitet og biologi.



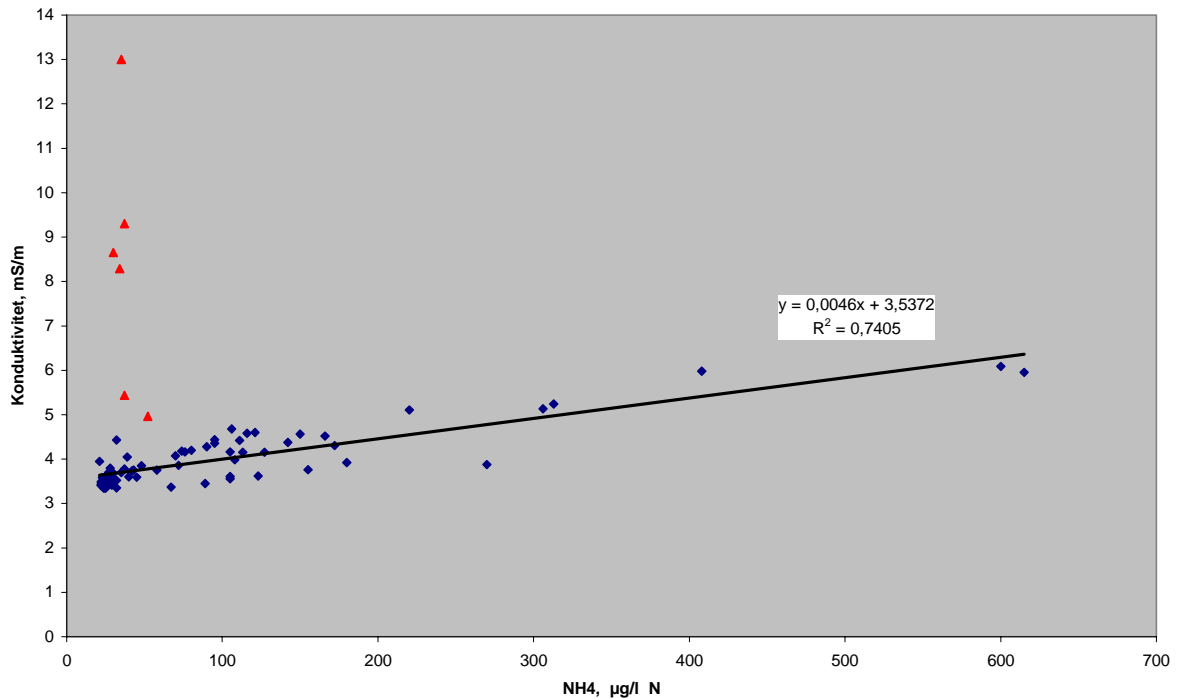
Figur 6. Park2. Ammonium- og ammoniakk-konsentrasjoner samt pH verdier ved ulike dyp og avstander (m) fra fyllingen på ulike stasjoner. Blå søyler angir ammoniumkonsentrasjonen i referanseprøver.



Figur 7. Holmen. Ammonium- og ammoniakk-konsentrasjoner samt pH verdier ved ulike dyp og avstander (m) fra fyllingen på ulike stasjoner.



Figur 8. Konduktivitet på 0,2 m dyp på ulike stasjoner og ulike avstander fra fyllingen målt med feltmåleinstrument 19.11.99.



Figur 9. Samvariasjon mellom konsentrasjonen av total ammonium ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) og konduktivitet (blå). For 6 punkter øker konduktiviteten uten tilsvarende øking i ammoniumkonsentrasjonen gunnet innslag av saltvann i prøvene (røde).

4. Konklusjon

De innledende testene viste at forurensningspotensialet i tunnelmassen kan være betydelig. Vesentlig dreier det seg om udetonerte sprengstoffrester i form av ammoniumnitrat (målt som ammonium, NH_4^+) og rester av sprøytebetong som gir høye pH verdier. I tillegg kommer steinstøv. Testene viste også at det kunne være store variasjoner i mengden av sprengstoffrester og rester fra sprøytebetong i prøvene. Konsentrasjonen av sprengstoffrester ble vesentlig redusert fra Test1 til Test 2. Dette hadde trolig to hovedårsaker: 1. Mindre søl av sprengstoff før og under sprengning grunnet bedre lade- og sprengningsforhold. 2. Spyling av røysa før utkjøring.

Det ble observert vesentlige forskjeller i konsentrasjoner av forurensninger i elva ved de ulike prøvetakingene. I flere tilfeller ble det registrert forholdsvis høye konsentrasjoner av ammonium ledsaget av høye pH verdier. Dette medførte, for vannlevende organismer, giftige konsentrasjoner av ammoniakk. Oftest ble det i disse situasjonene også funnet meget høye konsentrasjoner av partikler. De største partiklene vil raskt sedimentere og slamme ned elvebunnen, mens de minste vil følge elvestrømmen ut i Drammensfjorden.

I enkelte tilfeller ble det imidlertid registrert forholdsvis lave verdier av ammonium også ved utfyllingsstedet under selve utfyllingsarbeidet. Det indikerer lite søl av sprengstoff og en høy detoneringsgrad under sprengningen. Prøver tatt etter pauser i utfyllingen viste at det stadig var utlekking av ammonium, men konsentrasjonene var forholdsvis lave og av liten betydning for vannkvalitet og vannlevende organismer.

Drammenselva er en relativt stor elv med en midlere vannføring på ca 300 m³/s. Store deler av utfyllingsområdene lå imidlertid utenfor hovedstrømmen. Transporten av forurensninger ut av dette området vil derfor skje noe senere enn om utslippet hadde vært i hovedstrømmen. De høyeste konsentrasjonene av forurensninger ble alltid registrert i nærheten av der utfyllingsaktiviteten foregikk. Lengre unna utfyllingsstedet var forurensningstilførselen uttynnet. Konsentrasjonen på 10m avstand var likevel nesten alltid høyere enn bakgrunnsverdiene, mens det på 30m avstand som regel var nær bakgrunnsverdiene.

Det er kjent at laksefisk kan reagere på ammoniakk-konsentrasjoner ned mot 10 µgN/L. Ved forsøk er det påvist dødelighet på lakseunger ved så lave verdier som 31µgN/L (96t LC₅₀ verdier) (Knoph 1995). Ved utslipp av tunnelvann til en liten resipient, med påfølgende meget høye pH verdier og høye konsentrasjoner av ammonium og partikler, ble dyrelivet utradert (Bækken 2000). Vel ett år etter at utslippet stanset var imidlertid bunndyrsamfunnet stort sett gjenetablert.

Myndighetene i USA har fastsatt pH og temperaturavhengige vannkvalitetskriterier for ammoniakk i ferskvann (U.S.EPA 1985). Det er angitt firedagers middelverdier (fra 0,6 µgN/l ved pH 6,5 og temperatur 0° til 35 µgN/l ved pH 9 og 30°) som ikke skal overskrides mer enn én gang hvert 3. år (anvendes også i Canada (CCREM)). Anvendt i Drammenselva ved de høyeste pH og ammoniumverdier har slike grenseverdier i det minste tidvis/stedvis vært overskredet nær utfyllingsområdet i Bragernesløpet. Det er likevel lite trolig at det har hatt direkte giftvirkninger på fiskefaunaen i området da denne vil kunne flytte seg vekk fra området. Dessuten består den i stor grad av mer tolerante arter enn laksefisk. Bunndyrsamfunnet i nærområdet til fyllingen vil derimot bli redusert både som en følge av høyt ammoniakkinnhold og som en følge av nedslamming av bunnområder med steinpartikler. Det kan indirekte påvirke fiskefaunaen ved at næringsgrunnlaget for fisken lokalt blir dårligere. Det er å forvente at bunndyrsamfunnet i stor grad vil være reetablert innen 1-2 år.

Tabell 4. Konduktivitet, pH og innhold av partikler (turbiditet) i Drammenelva utenfor utfyllingsområdet ved Park 1. Prøvene er tatt på forskjellig avstander fra fyllingen, og på ulike dyp.

PARK 1		Avstand land/fylling	Prøvedyp m	NH4 µg/l N	pH	Turb FTU	Kond mS/m	Cl mg/l	
Referanse	Prøverunde 0								
99.10.19	Homenbrua	20m	0,5+1,5	25	6,9	0,49	3,34		
	E-18	20m	0,5+1,5	29	6,94	0,54	3,41		
	Gml brukar	20m	0,5+1,5	29	6,95	0,42	3,48		
	Parkbrygge	20m	1+3	32	6,94	0,46	4,43		
Intensiv	Prøverunde 1								
99.11.05	Ref	20m	0,5+1,5	27	6,95	2,1	3,65		
	Utfyllingssted	1m	0,5	220	7,89	40	5,11		
		3m	0,5	166	7,53	20	4,52		
			1,5	600	8,77	120	6,09		
		10m	0,5	35	7,12	3	3,7		
			1,5	111	7,47	26	4,42		
		30m	0,5	25	7,03	22	3,57		
			1,5	27	7,02	1,8	3,58		
		Gml. brukar	1m	0,5	150	7,5	24	4,56	
			3m	0,5	121	7,59	25	4,6	
				1,5	116	7,53	24	4,58	
	Jernbanebru	10m	0,5	76	7,32	17	4,16		
			1,5	95	7,43	20	4,36		
		30m	0,5	40	7,06	1,9	3,6		
			1,5	27	7,04	2,1	3,61		
		3m	0,5	80	7,31	19	4,2		
		10m	0,5	70	7,25	15	4,07		
	Parkbrygge		1,5	90	7,33	19	4,28		
		30m	0,5	23	7,06	2,1	3,58		
			1,5	27	6,99	2,2	3,67		
		10m	0,5+1,5	27	7,05	2,1	3,7		
		30m	0,5+1,5	28	7,06	2,2	3,8		
19.11.99	Prøverunde 2								
	Ref	20m	0,5	30	6,86	0,53	3,68		
	Utfyllingssted	2m	0,5	408	8,72	32	5,98		
	E18-bru	50m	0,5	37	6,94	1,2	3,78		
	Gml. brukar	5m	0,5	106	7,21	7,9	4,68		
	Jernbanebru	10m	0,5+1,5	52	6,98	9,6	4,96		
	Parkbrygge	30m	0,5	37	6,94	3,3	5,44		
03.12.99	Prøverunde 3								
	Ref	20m	0,5	21	6,94	0,61	3,95	2,9	
	Utfyllingssted	5m	0,5+1,5	30	6,99	1,1	8,65	14,1	
	E18-bru	5m	0,5+1,5	34	7,06	0,53	8,29	13,7	
	Jernbanebru	10m	0,5+1,5	37	7,01	1,5	9,30	16,3	
	Parkbrygge	30m	0,5+3	35	7,02	0,44	13,0	24,8	

Tabell 5. Konduktivitet, pH og innhold av partikler (turbiditet) i Drammenelva utenfor utfyllingsområdet ved Park 2 og på Holmen. Prøvene er tatt på forskjellig avstander fra fyllingen, og på ulike dyp.

PARK2		Avstand land/fylling	Prøvedyp m	NH4 µg/l N	pH	Turbiditet FTU	Kond mS/m
Prøverunde 4							
15.02.00	Ref	20m	0,5+2	24	6,94	1,1	3,34
	Utfyllingssted	1m	0,5	313	8,87	44	5,24
		3m	0,5	615	9,21	91	5,95
		3m	2	306	8,73	37	5,13
		10m	0,5+2	27	6,97	3,2	3,5
		Oppstr Holmenbrua	1m	0,5	108	7,36	10
	3m		0,5	32	7	2,4	3,35
			2	172	7,69	16	4,3
	Nedstr Homenbrua	10m	0,5+2	74	7,56	22	4,18
		1m	0,5	105	7,4	11	4,16
		3m	0,5	127	7,49	13	4,15
			2	113	7,5	12	4,15
		10m	0,5+2	142	7,92	22	4,38
Prøverunde 5							
01.03.00	Utfyllingssted	1m	0,5	95	7,27	8,2	4,44
		3m	0,5	48	7,00	3,2	3,85
		3m	2	43	7,03	2,8	3,75
		10m	0,5+2	24	6,97	2,1	3,46
	Oppstr Holmenbrua	10m	0,5+2	42	7,03	3,0	3,73
	Nedstr Holmenbrua	10m	0,5+2	30	6,98	2,1	3,58
Prøverunde 6							
21.03.00	Utfyllingssted	1m	0,5	45	7,02	10	3,59
		3m	0,5	26	6,95	8	3,45
		3m	2	72	7,26	25	3,86
		10m	0,5+2	58	7,21	19	3,75
	Oppstr Holmenbrua	10m	0,5+2	32	6,99	6,9	3,52
	Nedstr Holmenbrua	20m	0,5+2	24	6,96	9,7	3,42
HOLMEN							
Prøverunde 7							
23.08.00	H1	1m	0,5	123	7,31	21,1	3,62
		1(2)m	0,5	180	7,46	12,2	3,92
		3m	0,5	89	7,22	5,55	3,45
		3m	2,5	270	7,37	40,3	3,88
		10m	0,5+2,5	67	7,19	11,4	3,37
	H2	3m	0,5	105	7,29	12,6	3,61
		3m	2,5	155	7,36	22,0	3,76
		10m	0,5+2,5	105	7,27	17,1	3,56
Prøverunde 8							
06.09.00	H3	1m	0,5	39	7,39	3,3	4,05
		3m	0,5	23	7,18	1,2	3,51
		10m	0,5	22	7,13	1,1	3,43
	H4	3m	0,5	22	7,15	1,2	3,48
		10m	0,5	22	7,11	1	3,4

5. Litteratur

- Alabaster, J.S. & Lloyd, R. 1982: Water quality criteria for freshwater fish. Butterworths, London.
- Bækken, T & Lien, L. 1997: Drammenselva. Miljøvurderinger i forbindelse med utfylling av strandsone ved Mjøndalen - NIVA Rapport 3687-97.
- Bækken, T. 1998a: Avrenning av nitrogen fra tunnelmasse. - NIVA-Rapport 3920-98.
- Bækken, T. 1998b: Utlekking av nitrogen fra lagret tunnelmasse i Kobbervikdalen.- NIVA-Rapport 3786-98.
- Bækken, T. 1998c: Drammenselva. Overvåkning av vannkvaliteten ved Mjøndalen i forbindelse med utfylling av tunnelmasser- NIVA-Rapport 3900-98.
- Bækken, T. 2000: Utslipp av tunnelvann til Mastebekken, Modum kommune. Virkninger på vannkjemii, bunndyr og fisk. Sluttrapport. - NIVA-Rapport 4287-2000.
- Knoph, M.B. 1995: Toxicity of Ammonia to Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) - Dr.scient oppgave. Univ. Bergen.
- Lande, A. 1986: Nitrogenavrenning fra sprengstein fra øvre Otra. Vurdering av vannkvalitetsendringer i forbindelse med anleggsvirksomheten. - NIVA-Rapport 1905.
- Sjölund, G. 1997: Kväveläckage från sprengstensmassor. – Examensarbete, Luleå tekniska universitet, 1997:332 CIV.
- Traaen, T.S. Berge, D. 1999: Romeriksporten. Kjemiske stoffer i tunnelvannet - utover rester av tetningskjemikalier. - NIVA-Rapport 4099-1999.
- U.S. EPA 1985: Ambient water quality criteria for ammonia. -1984. EPA 440/5-85-001, Office of Water Regulation and Standards Criteria and Standards Division, United States Environmental Protection Agency, Washington DC.