

RAPPORT LNR 3715-97

**Avsetninger av  
forurensninger på snø ved  
bruk av røykammunisjon**



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 1  
4890 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 32 56 40  
Telefax (47) 55 32 88 33

**Akvaplan-NIVA A/S**

Søndre Tollbugate 3  
9000 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

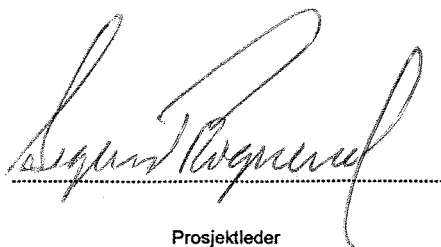
|   |   |                                  |
|---|---|----------------------------------|
| <b>Tittel</b><br>Avsetninger av forurensninger på snø ved bruk av røykammunisjon.<br>En vudering av miljøeffekter ved bruk av en ny type røykammunisjon fra Raufoss Technology AS | <b>Løpenr. (for bestilling)</b><br>3715     | <b>Dato</b><br>11 september 1997 |
|   | <b>Prosjektnr. Undernr.</b><br>0 - 95264    | <b>Sider Pris</b><br>19          |
| <b>Forfatter(e)</b><br>Sigurd Rognerud<br>Tom Tellefsen   | <b>Fagområde</b><br>miljøgifter             | <b>Distribusjon</b>              |
|   | <b>Geografisk område</b><br>Oppland/Hedmark | <b>Trykket</b><br>NIVA           |

|  |                          |
|--|--------------------------|
| <b>Oppdragsgiver(e)</b><br>Raufoss Technology AS | <b>Oppdragsreferanse</b> |
|--|--------------------------|

**Sammendrag**

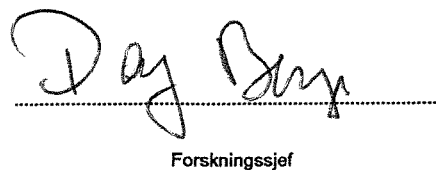
Det ble observert forhøyede konsentrasjoner av antracen, adsorberbare organiske halogener (AOX), sink og ammonium i smeltevann fra snøprøver innsamlet fra det øverste 2cm sjiktet (ca. 15m<sup>2</sup>) inntil 100m medvinds fra stedet granatene ble avsatt. De observerte konsentrasjonene og de beregnede avsetningene langs dette "verste tilfelle" transektet var imidlertid ikke så høye og av et slikt omfang at nevneverdige negative økologiske effekter kan forventes.

|   |  |
|---|--|
| <b>Fire norske emneord</b><br>1. Røykammunisjon<br>2. Avsetninger av forurensninger på snø<br>3. Metaller og nitrogenforbindelser<br>4. Organiske mikroforurensninger | <b>Fire engelske emneord</b><br>1. Smoke ammunition<br>2. Depositions of pollutants on a snow surface<br>3. Metals and nitrogen compounds<br>4. Organic pollutants |
|---|--|



Prosjektleder

ISBN 82-577-3283-4



Forsknings sjef

O- 95264

**Avsetninger av forurensninger på snø ved bruk av  
røykammunisjon**

En vurdering av miljøeffekter ved bruk av en ny type  
røykammunisjon fra Raufoss Technology AS.

# Innhold

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Sammendrag</b>                               | <b>4</b>  |
| <b>Summary</b>                                  | <b>5</b>  |
| <b>1. Innledning</b>                            | <b>6</b>  |
| <b>2. Beskrivelse av forsøksted og metoder.</b> | <b>6</b>  |
| <b>3. Resultater</b>                            | <b>8</b>  |
| <b>4. Diskusjon.</b>                            | <b>13</b> |
| <b>5. Litteraturliste.</b>                      | <b>14</b> |

## Forord

Denne rapporten omhandler resultatene av en undersøkelse der målsetningen var å måle avsetninger av forurensninger på snø i forbindelse med en ny røykammunisjon utviklet ved Raufoss Technology AS. Kontrakten ble undertegnet 3. november 1995. Opprinnelig kontrakt var pålydende 211 600 kr, men forsøket ble noe redusert i forhold til opprinnelig planlagt. Prosjektkostnadene ble derfor 165 000 kr. Forsøket var først tenkt gjennomført vinteren 1996, men forsøksbetingelsene var ikke gunstige på Haslemoen denne vinteren. Det ble derfor besluttet å utsette forsøket til vinteren 1997.

Forsøket ble gjennomført på Haslemoen den 20. februar 1997. Den nedlagte flystripa hvor forsøket fant sted, var dekket av nyfallen snø. NILU gjorde målinger av forurensninger i luft og NIVA undersøkte avsetninger av forurensninger på snø. Vi vil takke Grenader Libekk fra Forsvaret som sørget for å tilrettelegge forholdene for NIVA og NILU. Forsøket ble gjennomført under ledelse av Kjell Ole Varmo fra Raufoss Technology AS. Fra NIVA deltok Sigurd Rognerud og Tom Tellefsen. Sistnevnte sto for forbehandling av prøveutstyr og opparbeiding av prøvene sammen med Tone Hagenborg (NIVA). Bildene i rapporten er tatt av Tom Tellefsen. Analysene er utført på NIVA's laboratorium i Oslo. Rapporten er skrevet av Sigurd Rognerud etter viktige innspill fra Kjell Ole Varmo om røykgranatens innhold og funksjonsmåte. Alle deltagere takkes for samarbeidet.

Ottestad, 11. september 1997

*Sigurd Rognerud*

---

## Sammendrag

Omfanget av denne forurensningen var begrenset til et område ca. 100 m medvinds avsetningstedet.

NILU's luftmålinger viste at ved siden av PAH var dioksiner, dibenzofuraner og polyklorerte bifenyler (PCB) tilstede, men ikke i høye konsentrasjoner. PAH besto i all vesentlighet av ikke omsatt antracen (92 - 95%), mens innholdet av de kreftfremkallende forbindelsene (KPAH) var lavt. Det er rimelig å anta at for PAH forbindelsene er negative økologiske effekter ved bruk av denne røyktypene svært lite sannsynlig. Det er lite sannsynlig at de nevnte klorerte forbindelsene kan være årsakene til økningen av adsorberbare organiske halogener (AOX) som NIVA målte, men mer sannsynlig stoffer som heksaklorbenzen (HCB) eller andre klorerte benzener. Konsentrasjonene av AOX var på nivå med de en vanligvis observerer i moderat forurensede vassdrag i Norden. Det er derfor svært lite sannsynlig at det ved bruk av denne typen dekningsrøyk vil oppstå negative effekter på økosystemet som følge av økte AOX konsentrasjoner.

Konsentrasjonene av sink i smeltevannet var høy ved avsetningstedet og medvinds ned til 75m fra omsetningstedet for granatene. På bakgrunn av de grenser som gis for drikkevann må vannkvaliteten karakteriseres som meget dårlig. I dette tilfelle vil imidlertid smeltevannet perkolere ned i jorden hvor sink-ionene vil bindes til jordsmonnet. Sink er et essensielt element som ofte finnes i relativt høye konsentrasjoner i jordsmonnet. De sinkmengdene som spres ved bruk av denne dekningsrøyken er i de fleste tilfeller ubetydelig i forhold til de sinkmengdene som finnes i marken. Vi vurderer derfor at det generelt sett ikke er knyttet negative effekter på økosystemet av betydning som følge av sinkavsetninger ved bruk av denne typen dekningsrøyk, med unntak av helt lokalt ved avsetningspunktet.

Som en oppsummering kan vi si at av alle de undersøkte elementer og stoffer var det i hovedsak bare antracen, adsorberbare organiske halogener, sink og ammonium som ble observert i forhøyede konsentrasjoner. Sett under ett var imidlertid ikke konsentrasjonene av en slik størrelse eller avsetningene av et slikt omfang at nevneverdige negative økologiske effekter kan forventes.

## Summary

Title: Depositions of pollutants from smoke grenade NM.186 on a snow surface.

Year: 1997

Author: Sigurd Rognerud and Tom Tellefsen

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: 82-577-3283-4

Environmental effects of smoke ammunition on terrestrial and aquatic ecosystems have been discussed. Concentrations in water of metals, PAH, AOX and general water chemistry were measured by melting collected snow from the top 2 cm layer of a 15 m<sup>2</sup> surface area at 4 different distances downwind from the test site. The snow was collected from the most impacted (dark coloured) part of the studied area (worst case). Elevated concentrations of antracen, AOX, zink and ammonium were observed within 100 m downwind from the test site. The area affected was, however, rather restricted, and the concentrations caused by depositions did not reach values high enough to suspect any considerable ecological effects.

## 1. Innledning

Hensikten med denne undersøkelsen er å få et mål på hvilke belastninger av forurensninger naturen utsettes for ved bruk av skjermingsrøyk for stridsvogner i øvelsesøyemed. Røyken skal dekke kjøretøyet og hindre fienden i effektiv bruk av observasjonsmidler. Forsøket ble gjennomført på Haslemoen den 20. februar 1997. Det ble skutt en salve på 8 røykgranater som er den maksimale enkeltsalve som kan skytes fra en Leopard stridsvogn i aksjon. NILU hadde ansvaret for prøvetakning og analyser av luftprøver, mens NIVA sto for prøvetakning, bearbeiding og analyser av forurensninger avsatt på den snødekte marken. Undersøkelsen omfattet organiske mikroforurensninger (PAH og AOX), metaller (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, V) og generelle kjemiske vannanalyser.

NIVA gjennomførte en liknende undersøkelse for Forsvaret og Raufoss Technology AS på Haslemoen i november 1993. Den gangen var det tre ulike røykammunisjonstyper som ble undersøkt. Disse var: 105 mm FH WP - som er ammunisjon fylt med hvitt fosfor, 76 mm skjermingsrøyk bestående av en spontanrøykdel og en røykgenerator basert på en heksakloretan (HC)-røyksats, samt RA/NDRE IR røyk bestående av antracen, sink og ammoniumperklorat. I forsøket i februar 1997 ble en ny røykammunisjonstype testet. Denne består av en spontanrøykdel og en røykgenerator. Til forskjell fra den typen skjermingsrøyk som ble undersøkt i 1993, er HC-røyksatsen i røykgeneratoren erstattet med en IR - røyksats. Denne nye røyksatsen består i hovedsak av antracen, ammoniumperklorat og sink.

## 2. Beskrivelse av forsøkssted og metoder.

Forsøket ble lagt til flyplassområdet på Haslemoen. Det ble avfyrt 8 granater på tvers av vindretning fra et oppsett montert i skuffen på en hjullaster (Fig.1). Etter avfyringen ble spontanrøyksatsen antent først (Fig.2). Den hvite røykskyen som utviklet seg drev i nordvestlig retning. Vinden (2-3 m/s) var sterk nok til at røykskyen drev nedover den snødekte flaten. Røykutviklingen skjer som en eksoterm reaksjon, og et visst varmeløft vil alltid være tilstede. Ved absolutt stille vær vil derfor røyken stige rett opp og avsetningene av forurensninger lokalt bli mindre enn ved vind i luften. Etter at spontanrøyken hadde virket noen sekunder ble røykgeneratorene med IR røyk antent. Disse lå på snøen og produserte svart røyk (karbonpartikler) som drev i samme retning som spontanrøyken (Fig.3). Denne røyken var også varmere enn omgivelsene og ga et vist varmeløft. Snøen var nyfallen og hvit, slik at de mørke avsetningene var iøynefallende på de nærmeste prøvepunktene. Det ble samlet inn ca. 15 m<sup>2</sup> av de øverste 2 cm'ene av snøen ved 20 m, 50 m, 75 m og 150 m fra avsetningspunktet. Før forsøket ble startet ble 16,5 m<sup>2</sup> av snøflaten samlet inn som en referanse. Den innsamlede snøen ble overført til rengjorte stålspann og fraktet til fryselageret på NIVA's laboratorium. Der ble prøvene smeltet på 10 liters spesialrensede Pyrex glassflasker (40 liter snø ga ca. 10 liter vann). Vannet inneholdt grå og svarte partikler og det ble besluttet at endel av vannprøven skulle filtreres. Det ble analysert på næringssalter og metaller i filtratet og metaller på filteret. Generell vannkjemi, PAH og AOX ble analysert på ufiltrerte prøver.

Etter filtereringen ble filteret på referansestasjonen svakt gulig med noen små partikler (flak). På 20 m fra omsetningsstedet var filteret sterkt gråsvart med sorte partikler (flak) og mye finpartikulært materiale. På 50 og 75 m fra omsetningsstedet var også filteret som på 20 m, men ikke så sterkt farget. Filteret fra smeltevannet på 150 m var svært likt filteret fra referansestedet.





Figur 1. Utskytning av 8 røykbokser fra stativ montert på en hjullaster.



Figur 2. Utvikling av spontanrøyken som dannes umiddelbart etter avfyring.



Figur 3. Utvikling av røyk fra den antracene baserte røkgeneratoren.

Anvendelse og prinsipper for analysemetodene som er benyttet er gjengitt i Hovind (1993). Det ble analysert på polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), adsorberbare organiske halogener (AOX) som en samlebetegnelse for organiske halogenforbindelser. I tillegg til dette ble det også analysert på: pH, alkalitet, sulfat (SO<sub>4</sub>), klorid (Cl), kalsium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), kalium (K), nitrat (NO<sub>3</sub>), ammonium (NH<sub>4</sub>), total nitrogen og fosfor (tot.N, tot. P), aluminium (Al), arsen (As), kadmium (Cd), kobolt (Co), krom (Cr), kobber (Cu), nikkel (Ni), bly (Pb), sink (Zn) og vanadium (V).

### 3. Resultater

Analyseresultatene av de generelle kjemiske parametre er gitt i tabell 1, mens metallkonsentrasjonene i partikulær fase (på filteret) og i løst fase (filtratet) er gitt i tabell 2. Primærdata er gitt i vedlegget.

**Tabell 1. Kjemiske analyser. Nitrogenforbindelsene og total fosfor er analysert på filtrert prøve.**

|      | pH  | Alk.<br>mmol | SO <sub>4</sub><br>mg/l | Cl<br>mg/l | Ca<br>mg/l | Mg<br>mg/l | Na<br>mg/l | K<br>mg/l | NO <sub>3</sub><br>µg/l | NH <sub>4</sub><br>µg/l | tot.N<br>µg/l | tot.P<br>µg/l |
|------|-----|--------------|-------------------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------------------|-------------------------|---------------|---------------|
| Ref. | 7,4 | 0,27         | <0,2                    | 0,4        | 3,93       | 0,07       | 0,09       | 0,15      | 305                     | 19                      | 380           | 10            |
| 20m  | 5,9 | 0,04         | 0,3                     | 1,0        | 0,14       | 0,02       | 0,22       | 0,37      | 240                     | 619                     | 1000          | 2             |
| 50m  | 7,1 | 0,21         | <0,2                    | 0,5        | 3,51       | 0,06       | 0,08       | 0,21      | 290                     | 81                      | 440           | 7             |
| 75m  | 6,3 | 0,06         | <0,2                    | 0,6        | 0,76       | 0,02       | 0,13       | 0,15      | 250                     | 100                     | 430           | 3             |
| 150m | 7,3 | 0,22         | <0,2                    | 0,4        | 3,50       | 0,06       | 0,08       | 0,18      | 295                     | 38                      | 380           | 8             |

De vannkjemiske analysene viste at røykavsetningene forårsaket små endringer i den generelle vannkjemien (Tab.1). Reaksjonen i røykboksen forårsaker en utvikling av saltsyre og ammonium. Syreavsetningene var imidlertid beskjedne og bufferkapasiteten i smeltevannet 50m fra omsetingsstedet var for eksempel stor nok til å bufre syreavsetningene. Den lokale variasjonen i kalsium konsentrasjonen var imidlertid stor og bufferkapasiteten i smeltevannet var generelt stor nok til å hindre nevneverdig forurening i toppsjiktet i snøen. Ammoniumperkloratet i ammunisjonen forårsaket en konsentrasjonøkning opp mot 0,6 mg/l av ammonium nærmest avfyringsstedet.

**Tabell 2. Konsentrasjoner (µg/l) av metaller i løst (L) og partikulær fase (P). 200 ml ble filtrert og analysene ble gjort på filtratet og ved oppslutning av filteret (Nucleopor). Totalkonsentrasjonene blir summen av L og P. Det ble også analysert på filtratet av ionebyttet vann og en oppslutning av filter. Disse resultatene er vist nederst i tabellen.**

|           | Al<br>µg/l | As<br>µg/l | Cd<br>µg/l | Co<br>µg/l | Cr<br>µg/l | Cu<br>µg/l | Ni<br>µg/l | Pb<br>µg/l | Zn<br>µg/l | V<br>µg/l |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| Ref. L    | 10         | <0,1       | 0,048      | <0,002     | <10        | 2,1        | <1         | 0,5        | 30         | <0,05     |
| P         | 19         | 1,4        | 0,030      | <0,2       | 4,4        | 0,8        | 0,9        | 0,3        | 7,5        | 0,2       |
| 20m L     | 2,9        | <0,1       | 0,21       | 0,032      | <10        | 8,8        | <1         | 0,2        | 1170       | 1,9       |
| P         | 23         | 1,2        | 0,02       | 0,25       | 40         | 4,5        | 2,1        | 0,9        | 158        | 3,3       |
| 50m L     | 3          | <0,1       | 0,057      | 0,011      | <10        | 8,9        | <1         | 0,2        | 230        | 0,7       |
| P         | 13         | 0,8        | 0,01       | <0,2       | 4,9        | 2,9        | 1,3        | 0,3        | 70         | 0,5       |
| 75m L     | 2,8        | <0,1       | 0,075      | 0,023      | <10        | 7,6        | <1         | 0,1        | 370        | 0,7       |
| P         | 11         | 1,6        | 0,01       | <0,2       | 4,9        | 2,1        | 1,4        | 0,3        | 35         | 0,4       |
| 150m L    | 5,6        | <0,1       | 0,029      | 0,066      | <10        | 4,9        | 4,4        | 0,1        | 57         | 0,2       |
| P         | 98         | 1,3        | 0,04       | 8          | 31,3       | 15,1       | 44,5       | 0,6        | 103        | 1,6       |
| Ion.bytt. | <1         | <0,25      | <0,01      | <0,2       | <0,1       | <0,1       | <0,25      | <0,1       | <2,5       | 0,2       |
| Filter.   | <1         | <0,25      | <0,01      | <0,2       | <0,1       | <0,1       | <0,25      | <0,1       | <2,5       | 0,2       |

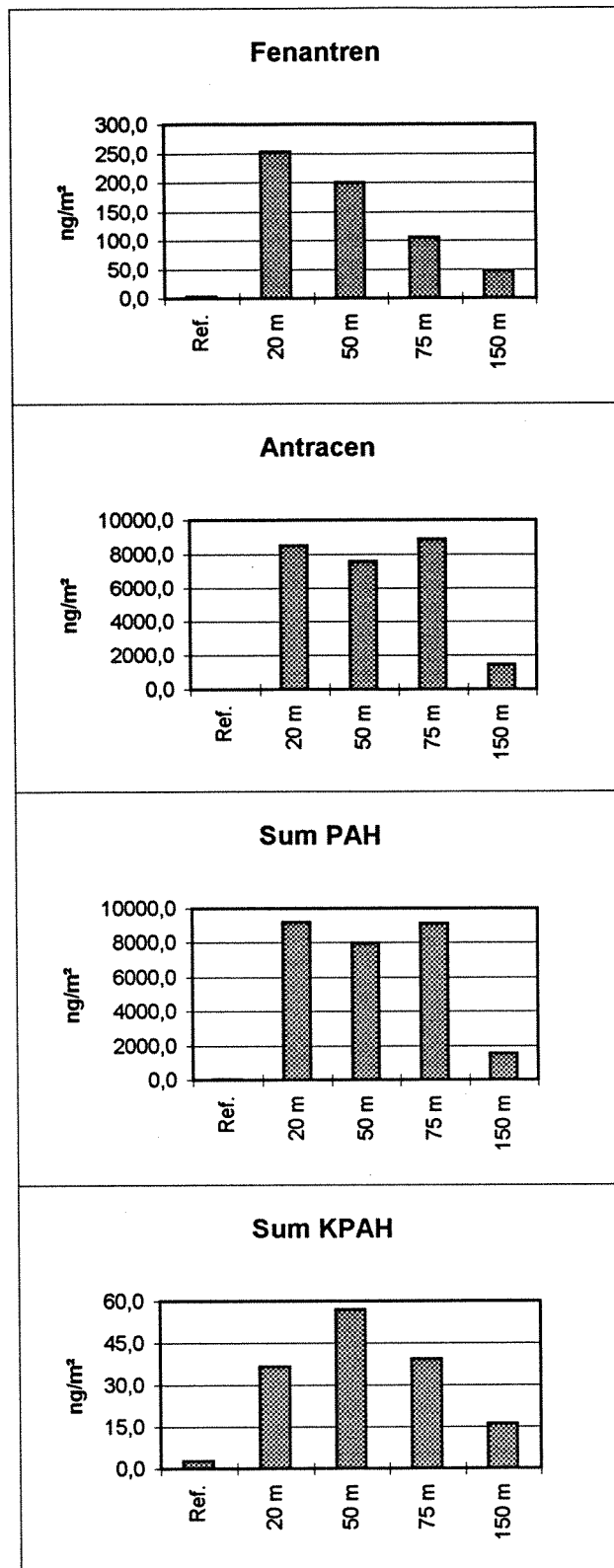
Blant metallene var det også beskjedne effekter av røykavsetningene. De eneste nevneverdige var sink, kobber og kadmium. Konsentrasjonene var høgest nærmest omsetningsstedet og sank utover langs transektet. Kobberkonsentrasjonene økte noe utover i transektet, men vi har ingen forklaring til dette. Konsentrasjonene av de viktigste PAH-forbindelsene og AOX er gitt i tabell 3. Detaljert liste over alle analyserte PAH-forbindelsene er gitt i vedlegget.

**Tabell 3.** Konsentrasjoner av utvalgte organiske mikroforurensninger.

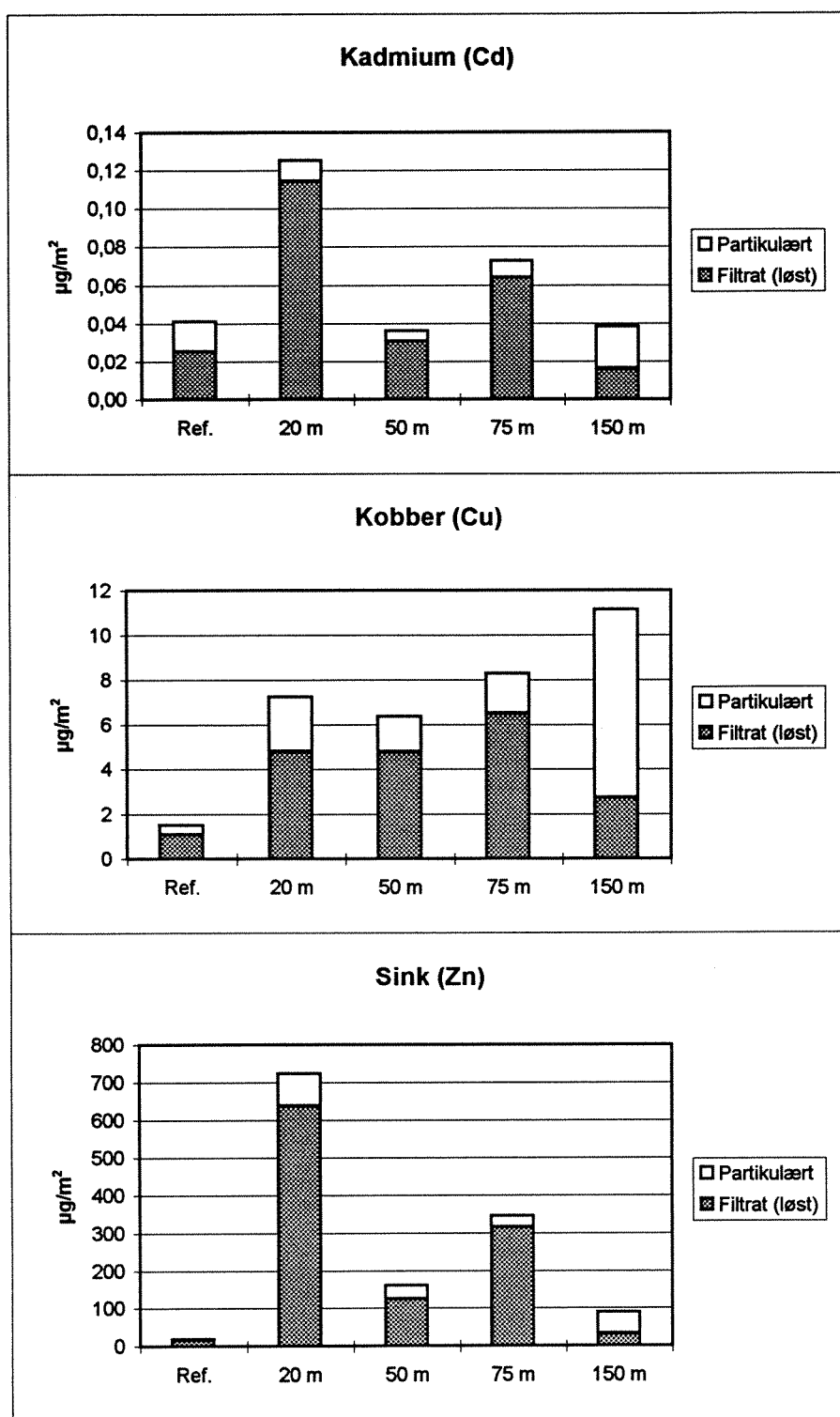
|           | Fenantren<br>ng/l | Antracen<br>ng/l | sum PAH<br>ng/l | sum KPAH<br>ng/l | AOX<br>µg/l |
|-----------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------|
| Referanse | 7                 | 0,5              | 46              | 5                | 20          |
| 20m       | 463               | 15600            | 16874           | 67               | 240         |
| 50m       | 371               | 14100            | 14830           | 106              | 80          |
| 75m       | 123               | 10400            | 10682           | 46               | 115         |
| 150m      | 84                | 2590             | 2772            | 29               | 44          |

Konsentrasjonene av organiske mikroforurensninger i snøen fra referanseprøvene var lave og på nivå med det en generelt finner i snø og nedbørprøver i lite forurensede områder av Skandinavia (tabelloversikt i Rognerud et al. 1994). Konsentrasjonene økte betydelig ved 20m's prøvestedet og sank siden gradvis ut mot 150m's prøvestedet. Økningen i PAH skyltes i all hovedsak antracen (over 90%) som også er hovedbestanddelen av røykammunisjonen. Konsentrasjonen av adsorberbare organiske halogener (AOX) i transektet fulgte i hovedsak samme mønster som PAH, men økningene som følge av røykavsetninger var langt mer beskjeden.

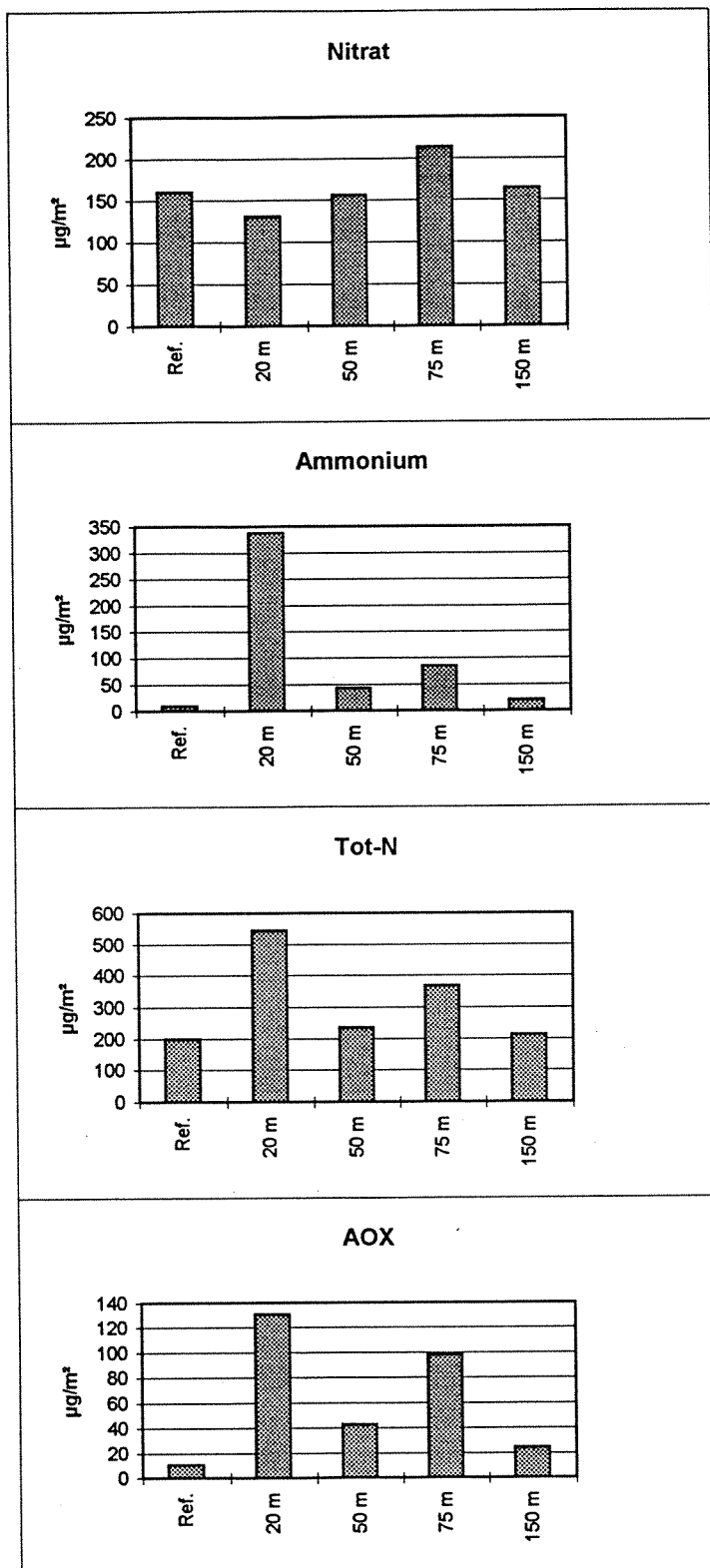
Vi har også beregnet deponerte mengder forurensninger pr. m<sup>2</sup> for de stoffer/elementer som ga nevneverdig økninger i konsentrasjonene på grunn av røykavsetninger (Fig.4,5 og 6). Da arealet og sjiktet av snøen som ble samlet inn var nær det samme ved alle stasjonene vil mønsteret i konsentrasjoner og avsetninger bli relativt likt. Det var i første rekke avsetninger av antracen, sink og ammonium som viste betydelige økninger langs transektet. For de andre stoffene/elementene var det beskjedne endringer.



Figur 4. Beregnede mengder avsatt pr.m<sup>2</sup> av sum PAH, KPAH (potensielt kreftfremkallende PAH-forbindelser) og de viktigste PAH forbindelsene langs "verste tilfelle" -transektet opptil 150 m medvinds fra avsetningsstedet for granatene.



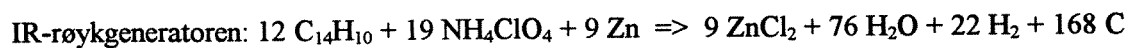
Figur 5. Beregnede mengder avsatt pr.m<sup>2</sup> av de metaller som gav nevneverdige konsentrasjonsøkninger langs "verste tilfelle"-transektet opptil 150 m medvinds fra avsetningspunktet for granatene. Konsentrasjonene er vist både for løst og partikulær fase (avsatt på nucleoporfilter).



Figur 6. Beregnede mengder avsatt pr.m<sup>2</sup> av ulike nitrogenforbindelser og adsorberbare organiske halogener (AOX) langs "verste tilfelle" transektet opptil 150 m medvinds fra avsetningspunktet for granatene.

## 4. Diskusjon.

Røykammunisjonen består av en spontanrøykdel og en IR-røykgenerator. Teoretisk skal følgende reaksjoner skje ved avfyring av ammunisjonen (K.O.Varmo personlig meddelelse).



Omsetningen av spontanrøyken skjer til å begynne med inne i en plastbeholder. Omsetningen er eksplosiv og det er et trykk på mer enn 100 bar når den revner. Sinkkloridet som dannes reagerer videre med vann og danner saltsyre og sinkoksid. Sinkpulveret er neppe av 100 % renhet, så vi antar at påslaget i konsentrasjoner av kobber og kadmium, sammen med sink langs transektet skyltes urenheter i sinkpulveret. Det antracenpulveret som benyttes, er heller ikke av 100% renhet, men inneholder også rester av andre organiske forbindelser slik som bl.a. fenantren (ca.0,5%). Ved en fullstendig omsetning av innholdet i røykgeneratoren skulle alt antracen være omdannet til karbon. Våre analyser og NILU's luftmålinger (Mikalsen 1997) viste at dette ikke skjedde i full utstrekning. Den reaksjonen som skjer i røykgeneratoren ved antennelse er eksoterm og med tiltagende reaksjonshastighet. Det er derfor svært sannsynlig at en del av antracenpulveret som følge av dette bringes uomsatt opp i lufta og avsettes siden på snøen. En støtte for denne hypotesen er at luftprøvene viste at hele 22 % av det partikulære materialet i lufta under forsøket bestod av antracen (Mikalsen 1997). NILU nevner imidlertid også at antracen i gassfasen har stor affinitet til partikler og at dette kan være årsaken til den høge andelen på filteret. Da antracenet var nær 100% knyttet til partikler i lufta heller vi mer til forklaringen om uforbrent antracen-pulver som forklaring i dette tilfellet. Dette kan også synes rimelig ut fra at forholdet mellom antracen og fenantren i avsetningene var svært likt forholdet i røykboksen. Det er vanskelig å sammenlikne PAH resultatene i dette eksperimentet med generelle målinger av PAH i miljø da nesten alt består av antracen. Antracen er imidlertid ikke blant de karsinogene PAH-forbindelsene og konsentrasjonene var ikke høgere enn de som f.eks. har blitt observert i smeltevann fra snø i nærheten av veg (Bækken 1994). Drikkevannskriterier finnes for benzo(a)pyren. Dersom vi bruker disse kriteriene, var konsentrasjonene i dette forsøket lavere enn grensen satt for godt drikkevann. Omfanget av denne forurensningen er også begrenset til et område ca. 100 m medvinds avsetningstedet. Det er derfor rimelig å anta at for PAH-forbindelsene er negative økologiske effekter ved bruk av denne røyktypene svært lite sannsynlig.

NILU's luftmålinger viste at dioksiner, dibenzofuraner og polyklorerte bifenyler (PCB) var tilstede, men ikke i høge konsentrasjoner. Det er lite sannsynlig at disse forbindelsene kan være årsakene til økningen av adsorberbare organiske halogener (AOX), men mer sannsynlig stoffer som heksaklorbenzen (HCB) eller andre klorerte benzener. Konsentrasjonene av AOX var på nivå med de en vanligvis observerer i moderat forurensede vassdrag i Norden (Asplund 1992). Det er derfor svært lite sannsynlig at det ved bruk av denne typen dekningsrøyk vil oppstå negative effekter på økosystemet som følge av økte AOX - konsentrasjoner.

Konsentrasjonene av sink i smeltevannet var såvidt høge fra omsetningsstedet og ned til 75m fra omsetningsstedet, at det ut fra drikkevannstilstand må karakteriseres som meget dårlig. Sink er imidlertid et essensielt element og finnes ofte i forhøyede konsentrasjoner lokalt i naturen. De sinkmengdene som spres ved bruk av denne dekningsrøyken er i de fleste tilfeller ubetydelige i forhold til de sinkmengdene som finnes i marken. Vi vurderer derfor at det generelt sett ikke er knyttet negative

effekter på økosystemet av betydning som følge av sinkavsetninger ved bruk av denne typen dekningsrøyk.

Som en oppsummering kan vi si at av alle de undersøkte elementer og stoffer var det i hovedsak bare antracen, adsorberbare organiske halogener, sink og ammonium som ble observert i forhøyede konsentrasjoner. Sett under ett var imidlertid ikke konsentrasjonene av en slik størrelse eller avsetningene av et slikt omfang at nevneverdige negative økologiske effekter kan forventes.

## 5. Litteraturliste.

Asplund, G. 1992. On the origin of organohalogens found in the environment.(Diss). Lindköping studies in art and science. 77. ISBN 91-7870-890-7.

Bækken T, 1994. Trafikkforurenset snø i Oslo. NIVA-rapport L.nr. 3131. 60 sider.

Holtan, H. og Rosland, D. 1992. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT-rapport TA-90/1992.

Hovin, H. 1993. Anvendelse og prinsipp for de kjemiske analysemetodene som benyttes ved NIVA. NIVA-dokument nr.X 28. 29 sider.

Mikalsen, A. 1997. Prøvetakning og analyse av skjermingsrøyk. Feltforsøk på Haslemoen 20.2.97. NILU rapport OR 47/97.

Rognerud, S, Løvik, J. E., Boye, B. og Tellefsen, T. 1994. Avsetninger av forurensninger på snø ved bruk av røykammunisjon og rakttartilleri (MLRS). NIVA-rapport L. nr. 3150.



# Vedlegg

**Vedlegg 1. Analysene av PAH-forbindelsene i smeltevannet av snøprøver fra ulike avstander fra avsetningen av røykammunisjonen.**

**Vedlegg 2. Oversikt over arealer som ble innsamlet med snø, smeltevannsmengdene samt andre egenskaper ved smeltevannet.**

**Vedlegg 3. Vannanalysene. Konsentrasjonene av løst og partikulær fase samt summen av disse (totalt).**

**Vedlegg 4. Konsentrasjonene og de avsatte mengdene pr. m<sup>2</sup> av de viktigste PAH-forbindelsene.**

Navn/lokaltet RØYKAMMU  
Adresse :  
Oppdragsnr. 95246  
Prøver mottatt 5.3.97  
Lab.kode 402 1-5  
Jobb nr. 97770  
Prøvetype Snø  
Kons. i Ng/l smeltevann  
Metode H2-1  
Dato 9.5.97  
Analytiker Brg

- 1: Haslemoen 1 referanse  
2: Haslemoen 2. IR-spes 20m  
3: Haslemoen 3. IR-spes..50m  
4: Haslemoen 3. IR-spes.75m  
5: Haslemoen 4. IR-spes. 150m  
6:

| Parameter/prøve          | 1    | 2     | 3     | 4     | 5    | 6 |
|--------------------------|------|-------|-------|-------|------|---|
| Naftalen                 | 5    | 50    | 6     | 12    | <1   |   |
| 2-M-Naf.                 | 4    | 195   | 1     | <1    | <1   |   |
| 1-M-Naf.                 | 1    | <1    | 3     | <1    | <1   |   |
| Bifenyl                  | 2    | 27    | 10    | 6     | 3    |   |
| 2,6-Dimetylnaftalen      | 5    | <1    | <1    | <1    | 5    |   |
| Acenaftalen              | 1    | 248   | 16    | 8     | 10   |   |
| Acenaften                | 3    | <1    | <1    | <1    | 11   |   |
| 2,3,5-Trimetylnaftalen   | x)   | x)    | x)    | x)    | x)   |   |
| Fluoren                  | <1   | 125   | 52    | 20    | <1   |   |
| Fenantren                | 7    | 463   | 371   | 123   | 84   |   |
| Antracen                 | <1   | 15600 | 14100 | 10400 | 2590 |   |
| 1-Metylfenantren         | 2    | 4     | 4     | 3     | 3    |   |
| Fluoranten               | 4    | 60    | 102   | 38    | 20   |   |
| Pyren                    | 3    | 17    | 25    | 9     | 5    |   |
| Benz(a)antracen*         | <1   | 14    | 24    | 8     | 6    |   |
| Chrysen/trifenylene      | 2    | 7     | 17    | 9     | 5    |   |
| Benzo(b)fluoranten*      | 3    | 22    | 36    | 17    | 9    |   |
| Benzo(j,k)fluoranten*    | <1   | 16    | 27    | 12    | 6    |   |
| Benzo(e)pyren            | 2    | 8     | 13    | 7     | 4    |   |
| Benzo(a)pyren*           | 1    | 8     | 12    | 4     | 3    |   |
| Perylen                  | <1   | <1    | 1     | <1    | 1    |   |
| Ind.(1,2,3cd)pyren*      | 1    | 6     | 6     | 4     | 4    |   |
| Dibenz.(a,c/a,h)ant.* 1) | <1   | 1     | 1     | 1     | 1    |   |
| Benzo(ghi)perylene       | <1   | 3     | 3     | 1     | 2    |   |
| SUM                      | 46   | 16874 | 14830 | 10682 | 2772 |   |
| Derav KPAH(*)            | 5    | 67    | 106   | 46    | 29   |   |
| %KPAH                    | 10,9 | 0,4   | 0,7   | 0,4   | 1,0  |   |
| %Tørrstoff               |      |       |       |       |      |   |

x)-ikke analysert

\* markerer potensielt kreftfremkallende egenskaper overfor mennesker etter IARC (1987), dvs. tilhørende IARC's kategorier 2A+2B (sannsynlige+trolige cancerogene).  
Sum av \* utgjør KPAH.

1) Bare (a,h)-isomeren.

Denne testrapport får kun kopieres i sin helhet og uten noen form for endringer. Testresultat gjelder kun for den prøve som er testet.

| Prøver mrk:    | Areal snø tatt ut: | Niva - kode: | Farge på vannfasen:                                       | Lukt:  | Ant.litr. vann til PAH: | Opprøring m/ cyklohexan: | Ekstrakt - farge: |
|----------------|--------------------|--------------|---|--|-------------------------|--------------------------|-------------------|
| Referanse      | 16.5 m2            | 402 - 1      | Klar/blank  | Ingen  | 8,68                    | 200 ml.                  | Blank             |
| IR-spes. 20m.  | 15 m2              | 402 - 2      | Mye sotpartikler i en litt matt vannfase.                 | Kruttslam/ sur røyk/H2S                              | 8,18                    | 200 ml.                  | Sterk gul         |
| IR-spes. 50m.  | 15 m2              | 402 - 3      | Sotpartikler m/mye gråhvite askeflak, klar vannfase.      | Samme som 20m. prøven, bare svakere.                 | 8,07                    | 200 ml.                  | Gul               |
| IR-spes. 75m.  | 10 m2              | 402 - 4      | Lyse partikler i vannfasen som var klar.                  | Svak lukt med samme krakter som 20 og 50 m. prøvene. | 8,54                    | 200 ml.                  | Noe gul           |
| IR-spes. 150m. | 15 m2              | 402 - 5      | Mindre lyse partikler, men klart tilstede. Klar vannfase. | Ingen lukt lenger.                                   | 8,36                    | 200 ml.                  | Gulskjær          |

## Analyseresultater fra røykforsøk på Haslemoen 20.02.97

Tabell 1. Analyseresultater fra vann filtrert gjennom Nucleopore-filter

|       | Snøareal<br>m <sup>2</sup> | Volum<br>l | NO <sub>3</sub><br>µg/l | NH <sub>4</sub><br>µg/l | Tot-N<br>µg/l | Cd<br>µg/l | Cu<br>µg/l | Zn<br>µg/l | AOX<br>µg/l |
|-------|----------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|---------------|------------|------------|------------|-------------|
| Ref.  | 16,5                       | 8,68       | 305                     | 19                      | 380           | 0,048      | 2,1        | 30         | 20          |
| 20 m  | 15,0                       | 8,18       | 240                     | 619                     | 1000          | 0,210      | 8,8        | 1170       | 240         |
| 50 m  | 15,0                       | 8,07       | 290                     | 81                      | 440           | 0,057      | 8,9        | 230        | 80          |
| 75 m  | 10,0                       | 8,54       | 250                     | 100                     | 430           | 0,075      | 7,6        | 370        | 115         |
| 150 m | 15,0                       | 8,36       | 295                     | 38                      | 380           | 0,029      | 4,9        | 57         | 44          |

Tabell 2. Analyseresultater fra filteret svarende til vannprøvene i tabell 1.

|       | Snøareal<br>m <sup>2</sup> | Volum<br>l | Cd<br>µg/l | Cu<br>µg/l | Zn<br>µg/l | TSM<br>mg/l |
|-------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| Ref.  | 16,5                       | 8,68       | 0,03       | 0,8        | 7,5        | 4,79        |
| 20 m  | 15,0                       | 8,18       | 0,02       | 4,5        | 158        | 3,42        |
| 50 m  | 15,0                       | 8,07       | 0,01       | 2,9        | 70         | 3,68        |
| 75 m  | 10,0                       | 8,54       | 0,01       | 2,1        | 35         | 1,86        |
| 150 m | 15,0                       | 8,36       | 0,04       | 15,1       | 103        | 6           |

Tabell 3. Sum analyseresultater tabell 1 + tabell 2.

|       | Snøareal<br>m <sup>2</sup> | Volum<br>l | Cd<br>µg/l | Cu<br>µg/l | Zn<br>µg/l |
|-------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Ref.  | 16,5                       | 8,68       | 0,078      | 2,9        | 37,5       |
| 20 m  | 15,0                       | 8,18       | 0,230      | 13,3       | 1328,0     |
| 50 m  | 15,0                       | 8,07       | 0,067      | 11,8       | 300,0      |
| 75 m  | 10,0                       | 8,54       | 0,085      | 9,7        | 405,0      |
| 150 m | 15,0                       | 8,36       | 0,069      | 20,0       | 160,0      |

## Sheet1

| Røykforsøk Haslemoen 20.02.97 |       |            |  |          |        |         |
|-------------------------------|-------|------------|--|----------|--------|---------|
|                               | Snø   | Ant. liter | Fenantren                                  | Antracen | SumPAH | SumKPAH |
|                               | m2    | l          | ng/l                                       | ng/l     | ng/l   | ng/l    |
| Referanse                     | 16,5  | 8,68       | 7  | 0,5      | 46     | 5       |
| 20 m                          | 15    | 8,18       | 463  | 15600    | 16874  | 67      |
| 50 m                          | 15    | 8,07       | 371  | 14100    | 14830  | 106     |
| 75 m                          | 10    | 8,54       | 123  | 10400    | 10682  | 46      |
| 150 m                         | 15    | 8,36       | 84   | 2590     | 2772   | 29      |
|                               |       |            | Fenantren                                  | Antracen | SumPAH | SumKPAH |
|                               |       |            | ng/m2                                      | ng/m2    | ng/m2  | ng/m2   |
|                               | Ref.  |            | 3,7  | 0,3      | 24,2   | 2,6     |
|                               | 20 m  |            | 252,5                                      | 8507,2   | 9202,0 | 36,5    |
|                               | 50 m  |            | 199,6                                      | 7585,8   | 7978,5 | 57,0    |
|                               | 75 m  |            | 105,0                                      | 8881,6   | 9122,4 | 39,3    |
|                               | 150 m |            | 46,8                                       | 1443,5   | 1544,9 | 16,2    |
|                               |       |            |  |          |        |         |
|                               |       |            | Beregnet nedfall pr. arealenhet            |          |        |         |
|                               |       |            | Fenantren                                  | Antracen | SumPAH | SumKPAH |
|                               |       |            | ng/m2                                      | ng/m2    | ng/m2  | ng/m2   |
|                               | 20 m  |            | 249  | 8507     | 9178   | 34      |
|                               | 50 m  |            | 196  | 7586     | 7954   | 54      |
|                               | 75 m  |            | 101  | 8881     | 9098   | 37      |
|                               | 150 m |            | 43   | 1443     | 1521   | 14      |
|                               |       |            |  |          |        |         |
|                               |       |            | Arealberegnet kontamineringsfaktor Kf=C/C0 |          |        |         |
|                               |       |            | Fenantren                                  | Antracen | SumPAH | SumKPAH |
|                               | 20 m  |            | 69   | 32343    | 380    | 14      |
|                               | 50 m  |            | 54   | 28840    | 330    | 22      |
|                               | 75 m  |            | 29   | 33766    | 377    | 15      |
|                               | 150 m |            | 13   | 5488     | 64     | 6       |

## **Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås  
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00

Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,  
oppgi løpenummer 3715-97

ISBN 82-577-3283-4