



O-94111

"Løkluktproblemet"  
ved Oslo Lufthavn  
Fornebu

Miljøtekniske undersøkelser  
fase 1 og forslag til fase 2

# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
O-94111	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
3095	

<b>Hovedkontor</b>	<b>Sørlandsavdelingen</b>	<b>Østlandsavdelingen</b>	<b>Vestlandsavdelingen</b>	<b>Akvaplan-NIVA A/S</b>
Postboks 173, Kjelsås	Televeien 1	Rute 866	Thormøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0411 Oslo	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47) 22 18 51 00	Telefon (47) 37 04 30 33	Telefon (47) 62 57 64 00	Telefon (47) 55 32 56 40	Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 22 18 52 00	Telefax (47) 37 04 45 13	Telefax (47) 62 57 66 53	Telefax (47) 55 32 88 33	Telefax (47) 77 68 05 09

Rapportens tittel: "Løkluktproblemet" ved Oslo Lufthavn, Fornebu , Miljøtekniske undersøkelser, fase 1 og forslag til fase 2.	Dato:	Trykket:
		NIVA 1994
Forfatter(e): Kjersti Dagestad  Hans Holtan Lasse Berglund	Faggruppe:	
	Måle- og overvåkningsteknologi	
	Geografisk område:	
	Norge	
	Antall sider:	Opplag:
	40	10

Oppdragsgiver: Luftfartsverket v/ Region Fornebu	Oppdragsg. ref.: 94/00733/630.5/BS
---	---------------------------------------

## Ekstrakt:

Luftfartsverket Region Fornebu ønsker å få kartlagt årsaken til at "løklukten", som dannes ved anaerob nedbrytning av flyavisingsvæske, igjen er blitt et problem i Rolvsbukta. Forslag til miljøtekniske undersøkelser (fase 2) er utarbeidet med sikte på å bestemme årsaken til luktproblemet, omfang og eventuelle tiltak som kan bedre problemet. Undersøkelsen bør konsentreres i området rundt avisingsplattformen og Rolvsbukta. Undersøkelsene foreslås gjennomført som et samarbeidsprosjekt mellom ulike fagmiljøer. Status og tilstand til ledninger som har ført eller fører glykol skal kartlegges og spredning av glykol i grunnen skal bestemmes v.h.a kartlegging av grunnforhold og grunnvannsnivå. Jordgassmålinger skal utføres for å avgrense områdene med eventuell forurensning, og både jord, grunnvann, sedimenter og overvann skal prøvetas. Basert på resultater fra prøvetaking vil tiltak bli foreslått. Utvidete undersøkelser og en detaljevurdering av tiltak kan være aktuelt, men omfattes ikke av fase 2. Det er satt opp rammeplaner for prøvetaking, men det er viktig at måleprogrammet (både omfang av prøvetaking og analyser) revideres fortløpende med oppdragsgiver og SFT i henhold til de behov som avdekkes.

4 emneord, norske

1. Miljøtekniske undersøkelser
2. Flyavisingsvæske
3. Anaerob nedbrytning
4. Lufthavn

4 emneord, engelske

1. Environmental Investigations
2. Aircraft De-icing Chemicals
3. Anaerobic Degradation
4. Airport

Prosjektleder

*Kjersti Dagestad*

Kjersti Dagestad

For administrasjonen

*Gunnar Fr. Aasgaard*

Gunnar Fr. Aasgaard

ISBN--577-2559-5

## *Forord*

*Luftfartsverket Region Fornebu ønsker å få kartlagt årsaken til at "løklukten", som dannes ved anaerob nedbrytning av flyavisingsvæske, igjen er blitt et problem i Rolvsbukta ved Fornebu Lufthavn. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) ble engasjert til å foreslå et måleprogram for lufthavnen. Måleprogrammet er utformet med sikte på å bestemme årsaken til luktproblemet, omfanget av dette problemet og eventuelle tiltak som kan forbedre situasjonen.*

*Prosjektet har vært utørt av følgende prosjektgruppe ved NIVA:*

- Forsker Kjersti Dagestad; prosjektleder, faglige vurderinger, databearbeiding og rapportering*
- Seniorforsker Hans Holtan; faglige vurderinger*
- Forsker Lasse Berglind; vurdering av analysemetodikk*
- Forskningssjef Gunnar Fr. Aasgaard; kvalitetssikring*

*Måleprogrammet er utformet i samarbeid med de rådgivende ingeniørfirmaene NOTEBY AS og Taugbøl & Øverland (T & Ø) samt Papirindustriens forskningsinstitutt (PFI).*

*NIVA vil rette en takk til kontaktperson Bengt Svensson ved Region Fornebu for godt samarbeid i forbindelse med prosjektet. Vi vil også rette en takk til øvrige medarbeidere ved lufthavnen som alltid like velvillig stiller opp.*

*En spesiell takk til pensjonist Ole Svevad som har bidratt med nyttige opplysninger.*

*Oslo, 13 juni 1994*

*Kjersti Dagestad*

# Innhold

Innhold .....	2
Sammendrag, konklusjoner og anbefalinger .....	4
1 Innledning .....	6
2 Miljøtekniske undersøkelser; fase 1, grunnlag .....	7
2.1 Flyavisingsvæske - som forurensningskilde .....	7
2.1.1 Avisingsvæsker og deres fysisk/ kjemiske egenskaper .....	7
2.1.2 Nedbrytning og mulige nedbrytningsprodukter .....	7
2.1.3 Toksisitet .....	9
2.1.4 Mulig virkning i resipient .....	9
2.1.5 Forbruk av avisingsvæske og forurensede delstrømmer .....	9
2.2 Resipienter og grunnforhold .....	10
2.2.1 Resipienter .....	10
2.2.2 Grunnforhold .....	10
2.3 Drenering .....	11
2.3.1 Spredningsforhold .....	11
2.3.2 Koksabukta .....	12
2.3.3 Hundesund .....	12
2.3.4 Rolvsbukta .....	13
2.3.5 Lysakerfjorden .....	14
2.4 "Løkluktproblemet ved Fornebu" - Historiske opplysninger .....	14
2.4.1 Perioden 1970-1983 .....	14
2.4.2 Perioden 1983-1989 .....	16
2.4.3 Perioden 1989-1993 .....	17
2.4.4 Dagens situasjon .....	19
2.5 Tidligere miljøundersøkelser .....	20
2.5.1 Grunnundersøkelser .....	20
2.5.2 Resipientundersøkelser .....	20
2.5.3 Oksygenmålinger .....	21
2.6 Befaringer våren 1994 .....	22
2.6.1 Innledende befaring 26.04.94 .....	22
2.6.2 Befaring 09.05.94 .....	22
2.6.3 Befaring 30.05.94 .....	22
2.6.4 Konklusjoner fra befaring .....	23
3 Miljøtekniske undersøkelser, fase 2 .....	24
3.1 Mål og rammer .....	24
3.1.1 Generelt .....	24
3.1.2 Rammer for fasene i undersøkelsen .....	25
3.2 Potensielle lokaliteter med forurensning .....	25
3.2.1 Ledningssystemer .....	25
3.2.2 Koksatjernet og avisingsplattform .....	27
3.2.3 Gammelt snødeponi .....	27
3.2.4 Gjenvinningsanlegg og andre tekniske anlegg .....	27
3.2.5 Rolvsbukta .....	27
3.2.6 Koksabukta og Hundesund .....	28
3.2.7 Konklusjon .....	28
3.3 Gjennomføring .....	29
3.3.1 Aktiviteter og ansvarlige .....	29
3.3.2 Tidsplan .....	32
3.4 Prøvetakingsmetodikk, analyseparametre og analysemetodikk .....	34
3.4.1 Prøvetakingsmetodikk .....	34
3.4.2 Oversikt over forurensningsparametre .....	34
3.4.3 Analysemetodikk .....	35

4. Referanser .....	38
5. Vedlegg .....	40
5.1 Oversikt over drenering og historiske opplysninger .....	40

# Sammendrag, konklusjoner og anbefalinger

Luftfartsverket Region Fornebu ønsker å få kartlagt årsaken til at "løkklukten", som dannes ved anaerob nedbrytning av flyavisingsvæske, igjen er blitt et problem i Rolvsbukta ved Fornebu Lufthavn. NIVA ble engasjert i april 1994 til å foreslå et måleprogram for lufthavnen. Måleprogrammet er utformet med sikte på å bestemme årsaken til luktproblemet, omfanget av dette problemet og eventuelle tiltak som kan forbedre situasjonen.

Denne rapporten dokumenterer fase 1 (kap 2), som har vært grunnlaget for å utarbeide forslag til miljøtekniske undersøkelser. Forslag til slike undersøkelser fremgår av kapittel 3.

*Det kan trekkes følgende konklusjoner:*

- Kartlegging av grunnforhold, spredningsforhold, prøvetaking av jord, grunnvann og sedimenter bør konsentreres i området rundt avisingsplattform og Rolvsbukta (inkludert parkeringsplass og området rundt gjenvinningsanlegg.
- Enkelte lokaliteter hvor det har vært uhell (ledning og tanklager for glykol) bør undersøkes spesielt.
- Det bør også tas prøver i områdene rundt ledningstraséene som har ført glykol og som har sitt utløp i Rolvsbukta. I tillegg bør det tas prøver av overvannet.
- Ledningstraséer til Hundesund og Koksabukta synes å være av mindre betydning. Det er imidlertid viktig å få undersøkt områdene rundt ledningstraséene på eventuelle bruddsteder. I første omgang bør det kun tas prøver av overvannet i ledningstraséene.
- Lukt i Hundesund og Koksabukta opptrer sporadisk, men oppfattes ikke som et problem for beboere. Det bør tas noen sedimentprøver fra hver lokalitet.
- Det er ikke indikasjoner på at avrenning fra takse- og rullebane fører til luktproblemer

*Forslag til miljøtekniske undersøkelser, Fase 2:*

Undersøkelsene foreslås gjennomført i en fase A og B og som et samarbeidsprosjekt mellom ulike fagmiljøer. Det skal gjennomføres jordgassmålinger, tas prøver av jord og det skal etableres brønner for prøvetaking av grunnvann. Undersøkelsene tar også sikte på å kartlegge sedimentene i Rolvsbukta, Hundesund og Koksabukta. Resultatene vil bli sammenholdt med tidligere undersøkelser. I tillegg vil det tas prøver av overvann i ledninger som har ført glykol. Befaringen bekrefter at det er nødvendig å få kartlagt alle overvannsledninger, dreseledninger eller spillvannsledninger som mottar eller har mottatt glykol ved lufthavnen. Status og tilstand til disse ledningene må kartlegges. Grunnforhold og grunnvannsstrømninger vil også bli kartlagt for å bestemme spredningsveier for glykol.

Jordgassanalyser foretas i felt, mens jord og grunnvann analyseres i laboratoriet. Jordgassmålinger, tilstandskartlegging av ledningsnett og kartlegging av spredningsforhold vil være styrende for prøvetakende borer og plassering av grunnvannsbrønner. Det er derfor kun foreslått rammeplaner for fase A og B. Disse planene bør kunne være gjenstand for revisjon underveis. Dersom det er nødvendig å gjennomføre alle arbeider som beskrevet under fase A og B, blir rammen for de totale undersøkelsene som angitt i tabell 1.

I tabell 2 er det gitt en oversikt over de analyser som kan være aktuelle i de ulike medier. I tillegg til relevante analyser i forbindelse med "løkkluktproblemet" anbefales det også at det analyseres på olje. Det ble observert olje ved de ulike lokaliteter ved befaring.

Tabell 1: Antatt omfang av feltundersøkelser og analyse , fasene A og B

	Sondering (stk)	Poretykk (stk)	Jordprøvetaking(porevann) (pkt)	Jordprøvetaking(porevann) (stk)	Jordgassmåling (stk)	Brønnetabling (grunnvann) (pkt)	Prøvetaking (grunnvann) (stk)	Prøvetaking (overvann) (pkt)	Prøvetaking (overvann) (stk)	Sedimentprøver (pkt)	Sedimentprøver (stk)
Overvann-Koksa					2			4	4		
Overvann-Hundesund					2			4	4		
Overvann-Rolvbukta					2			4	4		
Pumpeledning, plattform					2						
Pumpeledning, gjenvanl					1						
Koksstjern/plattform	8	6	6	12	6	3	5				
Gjenvinninganlegg	3	1	2	4	5	2	3				
Lager	1	0	1	2	2	1	2				
Rolvbukta	4	1	3	6	10	2	3			2	4
Koksabukta	2	0	1	2	0	0	0			2	4
Hundesundet	2	0	1	2	0	0	0			3	6
Sum 1	20	8	14	28	32	8	13	12	12	7	14
Sum 2	20	8	14	28	32	8	21	12	12	7	14

Sum 1: Omfatter to prøvetakingsrunder for grunnvann; én i hver fase. Sum 2: Omfanget dersom det tas tre prøvetakingsrunder for grunnvannet (kun nødvendig dersom prøvetakingsrunde 1 og 2 ikke har fått med effekten av høy grunnvannsstand)

Tabell 2: Oversikt over analyseparametre

Parameter	Jord/ porevann	Sedimenter	Grunnvann	Overvann	Jordgass
Glykol	J1	S1	G1	O1	
Propylmerkaptan	J2 <sup>1)</sup> og 2)	S2 <sup>1)</sup> og 2)	G2 <sup>1)</sup> og 2)	O2 <sup>1)</sup> og 2)	A1
Metylmerkaptan	J3 <sup>1)</sup> og 2)	S3 <sup>1)</sup> og 2)	G3 <sup>1)</sup> og 2)	O3 <sup>1)</sup> og 2)	A2
Dihydrogensulfid (H <sub>2</sub> S)	J4 <sup>1)</sup>	S4 <sup>1)</sup>	G4 <sup>1)</sup>	O4 <sup>1)</sup>	A3
Flyktige fettsyrer (C2-C5)			G5 <sup>1)</sup> og 3)	O5 <sup>1)</sup> og 3)	
Sulfat, SO <sub>4</sub>	J5		G6	O6	
Klorid	J6		G7	O7	
TOC	J7	S5	G8	O8	
TOT. Tørrstoff	J8	S6	G9	O9	
Gløderest	J9	S7	G10	O10	
pH	J10	S8	G11	O11	
Redokspotensial	J11	S9	G12	O12	
Olje (Total hydrokarboner)	J12 <sup>4)</sup>	S10 <sup>4)</sup>	G13 <sup>4)</sup>	O13 <sup>4)</sup>	

1) Analysene skal kun tas dersom prøvene lukter

2) Parametrene skal ikke analyseres separat, men forutsettes å fremkomme ved analyse av propylmerkaptan.

3) Analysene kan opptre ved anaerob nedbrytning av avisingsvæske. I første omgang foreslås det å analysere på vann. Analysene kuttet ut etterhvert dersom merkaptaner blir påvist, men ikke fettsyrer.

4) Analysene inkluderes i merkaptananalysene dersom disse allikevel skal tas.

Omfanget av prøvetakings- og analyseprogram må legges opp fleksibelt, og forutsettes revidert fortløpende i henhold til problemomfanget som avdekkes. Eventuelle endringer gjøres i samarbeid med oppdragsgiver og SFT.

# 1 Innledning

Luktproblemene ved Fornebu pga nedbrytning av avisingsvæske har eksistert siden starten på 1980 årene. Problemet var i begynnelsen størst i Kosabukta og Hundesund. I disse områdene kan svak lukt fortsatt kjennes, men oppfattes ikke lenger som et problem.

Det har tidligere vært gjennomført flere utredninger for å bedre situasjonen m.h.t løklukt ved Fornebu, og NIVA har tidligere, sammen med Taugbøl & Øverland, utredet tiltak for å bedre problemet. NIVAs utredninger har stort sett vært fokusert på Rolvsbukta hvor luktproblemet har vært størst de seneste år.

Lukten i Rolvsbukta var sterkest vintersesongen 1990/91 og situasjonen er nå vesentlig forbedret. Ved gjennomføring av tiltak ble det gjort oppmerksom på at lukten kunne opptre sporadisk også i årene fremover som et resultat av forurensning i grunnen. Det ble også gjennomført en grunnundersøkelse hvor prøvetakingspunktene ble valgt ut med hensyn til;

- 1) å eventuelt kunne påvise effekter fra avisingsvæske som festes til flykroppen og som faller av ved taksing og takeoff og
- 2) spesielle punkter hvor det har vært registrert lukt.

I denne undersøkelsen ble det ikke observert tegn til glykolforurensning.

Lukten har igjen vært et problem vintersesongen 1993/94. Ikke i samme omfang som tidligere, men sterkt sjenerende for naboer til lufthavnen i området på Rolvstangen. Lukten oppsto spesielt langs strandområdet fra sjøflyhavna til innerst i Rolvsbukta etter springflo i desember 1993.

Luftfartsverket v/Region Fornebu ønsker å få kartlagt årsaken til at lukten igjen er blitt et problem, og NIVA ble kontaktet i april 1994 for å foreslå et måleprogram for lufthavnen. Måleprogrammet er utformet med sikte på å bestemme årsaken til luktproblemet, omfanget av dette problemet og eventuelle tiltak som kan forbedre situasjonen. SFT har også i brev av 03.05.94 kommet med et pålegg til Luftfartsverket om å fremlegge et forslag til program for videreføring av den tidligere kartlegging av eventuelle glykolforekomster i grunnen på Fornebu innen 15.06.94.

I denne rapporten er kilder (forekomster/eventuelle deponier) til løkluktproblemet forsøkt lokalisert. Dette er gjort blant annet med bakgrunn i den avisingspraksis og drift som har vært fulgt de seneste år, samt opplysninger om spesielle forhold eller uhell som kan ha forårsaket at avisingsvæsken forekommer i grunnen. Det er utarbeidet et forslag til måleprogram som er forutsatt gjennomført i løpet av sommeren/høsten 1994. Måleprogrammet/undersøkelsene er konsentrert om områder syd på Lufthavnen, som tidligere har mottatt eller mottar glykol, og er utformet på bakgrunn av Luftfartsverkets ønsker og SFTs pålegg.

Det gjennomføres også andre grunnundersøkelser ved lufthavnen for å kartlegge eventuelle miljøgifter i grunnen fra 7 avfallsfyllinger og 5 områder med forurenset grunn (deriblant et område som kan være forurenset med glykol). Disse områdene er hovedsakelig lokalisert ved Fornebu Nord, og er ikke sammenfallende med områder som er pekt ut i denne rapporten.

Dette oppdraget omfatter blant annet fase 1 i SFTs veiledning for miljøtekniske grunnundersøkelser (SFT, 1991), og er utført i nært samarbeid med lufthavnen samt koordinert med øvrige undersøkelser gjennomført av Luftfartsverkets hovedadministrasjon v/ det rådgivende ingeniørfirmaet NOTEBY. En eventuell gjennomføring av det foreslåtte måleprogrammet vil også bli koordinert med øvrige grunnundersøkelser.



## 2 Miljøtekniske undersøkelser; fase 1, grunnlag

### 2.1 Flyavisingsvæske - som forurensningskilde

NIVA har siden 1987 utført flere oppdrag for Luftfartsverket for å belyse de miljømessige konsekvenser av avisingsvæske. Hovedsakelig basert på disse utredningene, er det nedenfor gitt en sammenstilling ut fra nåværende kunnskap om miljømessige konsekvenser. I forbindelse med utbygging av hovedflyplass ved Gardermoen er ytterligere utredninger satt igang spesielt med hensyn til virkning av avisingsvæske med jord som resipient. Blant annet gjennomfører Jordforsk og Norges Landbrukshøgskole studier for å se på effekter av avisingsvæske i umettet sone.

#### 2.1.1 Avisingsvæsker og deres fysiske/kjemiske egenskaper

Det benyttes to typer glykolbaserte væsker for avising av fly. Type I brukes for å fjerne is og snø, mens type II benyttes for å beskytte mot tilfrysning. Hovedbestanddelen i begge væsker er monopropylenglykol (synonym med 1,2 - propan-diol) og, avhengig av bruksmåten, benyttes det ulike typer tilsetningsstoffer.

Ved Fornebu Lufthavn er det hovedsakelig væske av type I som benyttes. Denne består av 80% monopropylenglykol, korrosjonsinhibitorer, fuktemiddel og vann (ca 20%). Tilsetningsstoffet utgjør 1-2% av avisingsvæsken.

Monopropylenglykol er en fargeløs væske ved romtemperatur. Den oppløses lett i vann, og gir da en svak basisk reaksjon. Monopropylenglykol har lavt damptrykk, og fordampes derfor ikke lett. Tendensen til akkumulering i organismer og adsorpsjon til organisk materiale er liten (Laake og Efraimsen, 1992).

Ved konsentrasjoner større enn 4%, er tettheten større enn i ferskvann. Er konsentrasjonen mindre enn 4%, er væsken lettere enn vann og vil bre seg ut i overflatelagene (Holtan og Stene-Johansen, 1992).

#### 2.1.2 Nedbrytning og mulige nedbrytningsprodukter

Avisingsvæsken omsettes lett biologisk under forbruk av oksygen. Ved store tilførsler til resipienten vil lokale, oksygenfattige soner derfor kunne oppstå.

Under aerobe forhold omsettes monopropylenglykol relativt raskt til sluttproduktene karbondioksyd og vann. Nedbrytningsforsøk i aktivslam system (Mørkved, Laake og Aasgaard, 1992) har vist at det aerobt kan skje en fullstendig nedbrytning, og prosessen er effektiv ned til 2 °C.

Er væsketilførselen stor i forhold til oksygentilgangen, oppstår oksygenfrie (anaerobe) forhold. For at nedbrytningen skal kunne finne sted, vil tilgjengelighet av andre oksydasjonsmidler for anaerob respirasjon være nødvendig. Aktuelle alternativer er nitrat, nitritt, sulfitt, thiosulfat og sulfat. Nedbrytningsprosessene føres da videre av anaerobe bakterier.

Pilotforsøk har vist at monopropylenglykol er biologisk nedbrytbart i en anaerob metanprosess. Endeproduktet er 70 % metan i gassfasen, og som mellomprodukter dannes propionsyre og acetat i væskefase. Base må tilsettes for at prosessen ikke skal stoppe p.g.a syredannelse (Laake og Efraimsen, 1992).

Andre mellomprodukter dannes også som f.eks propanol, isopropanol, aldehyder og ketoner.

Dersom det også i tillegg finnes sulfatforbindelser, kan monopropylenglykol og en rekke av de andre organiske mellomproduktene omsettes anaerobt av f.eks sulfatreduserende bakterier. Dette vil skje under dannelse av karbondioksyd og hydrogensulfid ( $H_2S$ ), alkylsulfider ( $C_n H_{2n+1}SH$ ) og tioler/ merkaptaner. Alle disse forbindelsene har en gjennomtrengende, høyst ubehagelig lukt, med lav lukterskel. Dette røper tilstedeværelse selv i meget små konsentrasjoner. Sulfidforbindelsene er miljøgifter med alvorlige konsekvenser for naturmiljøet. Det er merkaptanene som er antatt å ha den karakteristiske løklukten (Holtan og Stene-Johansen, 1992).

I en diplomoppgave utført ved NIVA er det vist at metan som sluttprodukt i en anaerob rensesprosess fungerer bra forutsatt høye temperaturer. I kontinuerlige forsøk viste det seg imidlertid også at en fikk opphopning av mellomprodukter, deriblant sulfidforbindelser. Den karakteristiske løklukten var tilstede under hele forsøket, men opphørte noen dager etter at glykoltilførselen sluttet. Metanproduksjonen var veldig lav ved lave temperaturer, og under  $10^\circ C$  ble metan ikke dannet (Skaarnæs, 1992).

Anaerob nedbrytning av propylenglykol ble, i tillegg til kontinuerlige nedbrytningsforsøk, også studert ved diskontinuerlige forsøk. Det viste seg at avisingsvæskene ble brutt relativt raskt ned (2-3 døgn). Det ble dannet en del biogass, men også konsentrasjonen av mellomprodukter økte (propionsyrekonsentrasjonen). Konsentrasjonen holdt seg noen dager, og det tok opptil 30 døgn før propionsyre var omdannet til metan (Skaarnæs, 1992).

Faktorer som påvirker nedbrytning av kjemikalier i umettet grunn er tidligere drøftet i detalj (Bredvold og Laake, 1992). I korthet er faktorer som jordtype, temperatur, oksygentilgang, fuktighet, jordas pH og tilgangen på næringssalter (N og P) avgjørende for omfanget av mikrobiell nedbrytning i umettet sone. En del av disse faktorene er også betinget av hverandre.

En forutsetning for at merkaptaner dannes er, som nevnt ovenfor, at det i tillegg til lett nedbrytbart stoff er sulfat tilstede. Ved forsøk med anaerob nedbrytning (Skaarnæs, 1992) oppsto løklukt ved tilstedeværelse av  $9 \text{ mg } SO_4^{2-}$ . Ved Fornebu Lufthavn vil sulfat neppe være begrensene for dannelse av løklukt, fordi lufthavnen delvis ligger på marine avsetninger og har sjøvannsinntrengning. Bakteriene som bryter ned glykol trenger også næringssalter  $NH_4Cl$ ,  $KH_2PO_4$ ,  $CaCl_2$  og mindre mengder av Fe, Co, Mn, Zn, Mo, Na og Ni. Disse næringsstoffene vil sannsynligvis heller ikke være begrensende.

Med bakgrunn i ovenforstående vil vi sette fram følgende påstander: Glykol som er tilført jordsmonnet vil brytes relativt lett ned forutsatt optimale vekstbetingelser for bakteriene. Prosessene kan imidlertid ta tid hvis det blir produsert mellomprodukter, som vil kunne hemme bakteriene. Prosessen kan også gå relativt sakte ved lave temperaturer. Hvor lenge glykol kan ligge i grunnen og være gjenstand for anaerob nedbrytning og en kilde til "løklukt", vil også være avhengig av nedbør og utvasking.

In situ forsøk ved eksisterende Gardermoen Lufthavn, som utføres av NLH, og respirasjonsforsøk ved Jordforsk vil belyse nedbrytning av avisingsvæsker mer i detalj.

### 2.1.3 Toksisitet

NIVA har tidligere gjennomført toksisitetstester av avisingsvæske (Stene-Johansen, Damhaug, 1991; Källqvist, 1992). Testene ble utført på vannorganismer, henholdsvis kreps og alger, og viser at avisingsvæsken er giftigere enn ren monopropylenglykol (ca 100 ganger). Dette skyldes tilsetningsstoffenes effekt, selv om disse kun utgjør 1% av kjemikaliet. Tilsetningsstoffene er relativt lett nedbrytbare (Källqvist, 1992).

### 2.1.4 Mulig virkning i resipient

#### Jord/umettet sone

Avisingsvæske som tilføres grunnen kan stamme fra snødeponi, diffuse utslipp (avisingsvæske som renner av flykropp ved taksing eller take off) og fra lekkasjer på ledningsnett og anlegg. Dersom denne forurensningen siver ned i grunnen kan markvannet (porevannet) bli forurenset. Bakterier og jordorganismer kan bli forgiftet i tillegg til at oksygeninnholdet avtar.

Mesteparten av markvannet siver ned og danner grunnvann.

#### Grunnvann

Dersom avisingsvæske tilføres grunnvannsforekomster, vil vannets oksygeninnhold raskt bli brukt opp. Når dette vannet kommer ut i åpne, hurtigrennende bekker eller vannforekomster med betydelig strøm, tilføres på nytt oksygen, og det organiske stoffet oksyderes eller brytes ned. Bekkens størrelse samt mengde avisingsvæske er bestemmende for omfanget av prosessen. Den største tilførselen av anaerobt grunnvann til bekken skjer om våren under snøsmelting og følgelig når dreneringsbekkene har sin høyeste vannføring. I denne perioden vil det spesielt kunne oppstå en betydelig gifteffekt, som gjør seg gjeldende lokalt, spesielt like nedstrøms grunnvannsutløpet (Stene-Johansen og Damhaug, 1991). Når anaerobt grunnvann når bekken vil det også oppstå "løklukt" og lokal utfelling av f.eks jern. Det organiske stoffet er også grobunn for heterotrof vekst.

Det er ikke registrert noen bekker ved Fornebu Lufthavn som mottar anaerobt grunnvann. Anaerobt grunnvann kan imidlertid tilføres overvannssystemet, dersom dette er av dårlig kvalitet.

#### Strandområder

Tilførselen av avisingsvæske til strandområder kan rent lokalt, i avstengte bukter hvor det er lite vannutskiftning, ha samme virkning som nevnt ovenfor. Sjøvann har et høyt sulfatinnhold, og ved anaerobe tilstander medfører dette betydelig dannelse av sulfidforbindelser. I strandområder ved utløpet av forurensete bekker eller overvannsledninger, som har hatt inntregning av markvann/grunnvann, kan bunnorganismer rent lokalt bli påvirket (Stene-Johansen og Damhaug, 1991).

### 2.1.5 Forbruk av avisingsvæske og forurensete delstrømmer

Fra avisingsvirksomheten ved Fornebu lufthavn er det i dag 3 delstrømmer som kan tilføres resipientene overløp, kondensat og deler av mengden som følger med flyene. For sesongene 91/92, 92/93 og 93/94 har det også vært utslipp av prosessvann fra filtervask som inneholder glykol. I dag er rutine for filtervask lagt om, slik at dette utslippet utgjør svært lite av det totale utslippet.

Forbruket av avisingsvæske, mengde glykol fra avisingsplattformen som er gått i overløp, mengde som er med fly ved avgang og som delvis kan tilføres overvannssystem og grunn, mengde glykol fra filtervask og mengde glykol i kondensat fra gjenvinningsanlegg fremgår av tabell 3. Alle mengder er oppgitt i 100 % glykol, men vanligvis påføres glykolen i blandingsforholdet 40/60 monopropylenglykol/vann.

Tabell 3: Glykolforbruk og forurensede delstrømmer med glykol ved Fornebu

År	Forbruk [m <sup>3</sup> ]*	Overløp [m <sup>3</sup> ]*	Kondensat [m <sup>3</sup> ]*	Filtervask [m <sup>3</sup> ]*	Mengde med fly [m <sup>3</sup> ]*
87/88	51				
88/89	235				
89/90	316	12	4		105
90/91	494	42	19		143
91/92	351	22	14	19	79
92/93	680	22	11	0.5	139
93/94	1082	11	17	0.8	296

\* Tallene representerer 100% glykol og er avrundet til nærmeste m<sup>3</sup>

Kilde: Damhaug og Trandem (1993 og 1992), Taugbøl & Øverland (1992) og Svensson (1994)

## 2.2 Resipienter og grunnforhold

### 2.2.1 Resipienter

Resipienter ved Oslo Lufthavn Fornebu som mottar eller har mottatt glykol er vist på figur 1. Koksabukta, Hundesund, Rolvsbukta, Lysakerfjorden og grunnen ved Fornebu har alle mottatt glykol eller nedbrytningsprodukter av glykol. En detaljert beskrivelse av når og i hvilken utstrekning disse har vært resipienter for forurenset overvann fremgår av kapittel 2. 4.

Koksabukta er grunn med terskler og øyer som begrenser vannutskiftningen i de dypere lag. Området er meget følsomt for forurensninger (Stene-Johansen og Holtan, mars 1991).

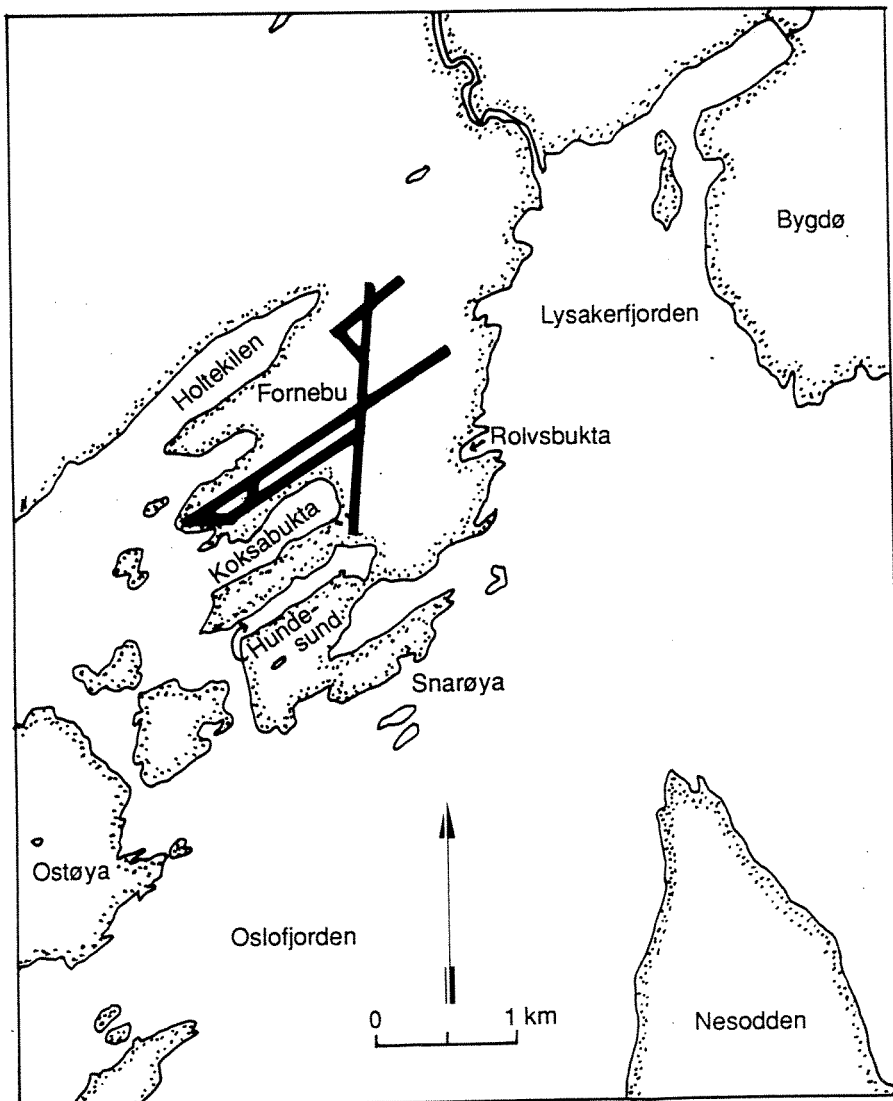
Hundesund er også innestengt med liten vannbevegelse/sirkulasjon.

Lysakerfjorden er en del av Indre Oslofjord. De sentrale områder av Lysakerfjorden er 40-80 meter dype. Fjorden er åpen og vannmassene er i god forbindelse med vannmassen forøvrig i Oslofjorden.

Rolvsbukta er grunn. Ved utløpet av bukta er det fylt ut med stein og fyllmasser som danner en terskel og dermed reduserer vannutskiftningen.

### 2.2.2 Grunnforhold

Grunnforholdene antas å variere betydelig og består mye av marin leire med variert mektighet og steinholdige morenemasser. Det antas også at det er en del kambro-silurske og kalkholdige bergarter i området. Store deler av lufthavnen er fylt opp med sprengstein.



Figur 1. Resipienter ved Oslo Lufthavn Fornebu

## 2.3 Drenering

Av kart i vedlegg 5.1 fremgår det hvilke overvannsledninger/spillvannsledninger som er antatt å ha mottatt glykol, og som mottar glykol i dag. En nærmere beskrivelse fremgår av kapittel 2.4. Nummereringen i teksten nedenfor refererer til vedlegg 1.

### 2.3.1 Spredningsforhold

Grunnvannets hovedstrømningsretninger antas å følge de gjenfylte dalsøkkene mot sjøen i NØ/SV retning. Det er nesten ingen strømning av grunnvann i naturlig leirgrunn, og heller ikke i fjell bortsett fra langs sprekkesoner. Dersom grunnvannsstanden står i fyllmasser av sand/grus og sprengstein kan grunnvannets spredning være betydelig.

Alle ledninger skal i utgangspunktet være tette mot utlekking til grunnen og mot infiltrasjon av grunnvann. Dette er imidlertid ikke alltid tilfelle, og selve ledningsgrøften blir da ofte spredningskanal for eventuelt forurenset grunnvann. Det er som nevnt lite strømming av grunnvann i leirgrunn, men grøfter i leire tilbakefylt med porøse masser vil kunne utgjøre en primær spredningsvei. Det samme gjelder for grøfter i fjell. I områder fylt med sprengstein trenger derimot ikke ledningstraséer utgjøre de viktigste spredningsveier.

Nedsprengte fjellterskler og grøftetraséer kan med andre ord ha endret de opprinnelige grunnvannsstrømmingene. Enkelte av påstandene i de etterfølgende kapitler forutsetter delvis dette, f.eks kan det ikke ha vært spredning i grunnen fra Koksatjernet mot Koksabukta med mindre fjellterskler er nedsprengt eller grøftetraséer er anlagt og fylt opp med sand/grus.

Tidevannet beveger seg fritt i dype overvannsledninger. Tidevannet vil også bevege seg fritt i steinfyllinger mot sjøen. Det blir derfor liten trykkforskjell mellom ledning og omkringliggende grunn og heller ingen fremtredende innpressing av vann fra grunnen i eventuelle utettheter. Der det er tett grunn vil tidevannet ha liten effekt på trykkforholdene i grunnen, bortsett fra lokalt i eventuelle åpne utfyllingsmasser i selve grøften. Forurensning som allerede finnes i grunnen vil kunne bli vasket ut.

Undersøkelsene som foreslås skal kartlegge/belyse spredningsforholdene (se kap 3).

### **2.3.2 Koksabukta**

Til Koksabukta går det en 600 mm betongovervannsledning (nr. 4) som opprinnelig mottok overvann fra flyoppstillingsområdet og Koksatjernet (eksisterende avisingsplattform, nr. 1). I dag fungerer ledningen som et nødoverløp fra avisingsplattformen til Koksabukta i tillegg til at den drenerer områdene rundt avisingsplattformen. Ledningen skulle opprinnelig ha mottatt sommeravløp fra avisingsplattformen, men fordi dette avløpet kan inneholde mindre mengder glykol ledes avløpet til Lysakerfjorden.

Det er gjennomført inspeksjoner av overvannsledningen, men dette er ikke dokumentert. Det er mistanke om brudd på ledningen under rullebane nord-syd. Ved befaring den 30.05.94 (se kap 2.6.2) var det ikke mulig å finne igjen utløpet til den avmerkede overvannsledningen. Det er mistanke om at avløpet går ut i terreng på oversiden av adkomstveien. Det kunne kjennes en meget svak eim av "løklukt" i bukta syd for det avmerkede avløpet.

Status og tilstand til overvannsledningen, og hvilke områder/punkter som har tilført, eventuelt tilfører ledningen eller resipienten glykol/merkaptaner må dokumenteres (se kap 3).

### **2.3.3 Hundesund**

Hundesund mottar overvann fra flyplassen via en 1000 mm betongovervannsledning (nr. 7) som har utløp innerst i bukta, like syd for rullebane nord-syd. Denne overvannsledningen starter under SAS hangaren. Ledningen passerer en idrettsplass som ligger ca. midt mellom SAS hangaren og Hundesund.

Det har tidligere vært lukt ved utløpet til overvannsledningen, og en svak eim kunne også kjennes ved befaring 30.05.94. Likeledes i overvannskummer langs ledningen opp mot flyplassen. Det har tidligere også vært klager fra barnehagen på lukt fra idrettsplassen (barnehagen hadde for inntil noen år siden tilholdssted ved idrettsplassen).

Ledningen har hatt tilførsel av glykolholdig avløpsvann fra grunnvannspumpe i SAS hangaren (nr.9). Det bør undersøkes om glykol/merkaptaner, som ligger i grunnen under Koksatjernet eller i dette området, lekker inn i overvannsledningen. I tillegg kan glykol muligens gå i terreng fra overvannsledning til Koksabukta og ned mot ledning til Hundesund.

Ledningen har også transportert glykolholdig overvann/eventuelt grunnvann fra en lekkasje ved SAS lager for gjenvunnet væske (nr. 20).

Status til overvannsledningen bør sjekkes, likeledes må det dokumenteres fra hvilke områder/punkter ledningen/resipienten har mottatt og eventuelt fortsatt mottar glykol/merkaptaner (se kap 3).

### **2.3.4 Rolvsbukta**

Det er to overvannsledninger som munner ut i Rolvsbukta.

Den ene (1000 mm, nr 12) ligger i dag ca. 40 meter fra den utfylte delen av Rolvsbukta (parkeringsplass utenfor gjenvinningsanlegg). Dette er en betongledning som drenerer området øst for postterminalen og sør for satellitt A.

Under befaring den 30.05.94 (se kap 2.6.3) kunne ikke overvannskummene til ledningen finnes igjen. Ledningen har tidligere mottatt glykolholdig overvann fra avisingsplattformen, glykolholdig overvann fra flyoppstillingsarealet (nr. 2) og muligens overvann fra tidligere snødeponi (nr. 3). Dersom ledningen er utett i skjøter eller den har brudd, kan glykolholdig overvann ha lekket ut i grunnen. Det kan også tenkes at smeltevann fra snødeponiet, som var lokalisert i dette området, har trengt ned i grunnen og kan lekke inn i overvannsledningen. Overvannsledningen kan også ha innlekking av grunnvann fra grunnen under avisingsplattform eller flyoppstillingsområdet.

Den andre overvannsledningen (nr. 15) munner ut ca 5 meter fra parkeringsplassen ved gjenvinningsanlegget ut i strandsonen i Rolvsbukta. Denne ledningen og tilhørende grenledninger består av PEH, PVC og betong. Ved utløpet er dimensjonen 630 mm.

Ledningen drenerer området ved parkeringsplassen og ved gjenvinningsanlegget. Ledningen fortsetter opp mot lufthavnen over Snarøyveien og passerer postterminalen på vestsiden. Her er det i følge gamle kart et knutepunkt, som mottar overvann fra to overvannsledninger. Den ene ledningen drenerer området nord-vest for postterminalen, øst for SAS hangaren og sør for terminal A. Den andre drenerer området nord-øst for postterminalen og sør for terminal A.

Forurenset vann med glykol/merkaptaner kan ha nådd Rolvsbukta pga:1) Overvannsledningen har, via de to øverste forgreininger oppe ved flyplassen, mottatt overvann fra flyoppstillingsplass og snødeponi, 2) Overvannsledningene kan ha hatt inntrengning av forurenset grunn- eller porevann som har drenert fra grunnen under flyoppstillingsområdet, Koksatjernet, snødeponi eller parkeringsplass og 3) Ledningen ble benyttet for utslipp av kondensat fra gjenvinningsanlegg og for utslipp fra grunnvannspumpe i SAS hangaren.

Under befaringen 09.05.94 og 30.05.94 (se kap 2.6.2 og 2.6.3) luktet det "løk" i overvannskummer fra og med Rolvsbukta, forbi gjenvinningsanlegget og til Snarøyveien. Det luktet ikke løk i kum vest for postterminal, og vi fant ikke overvannskum i knutepunkt langs de to forgreiningene. Det er mulig at disse ledningene er avviklet.

### 2.3.5 Lysakerfjorden

I dag går det en pumpeledning (nr. 21) som fører glykolholdig overløpsvann fra avisingsplattformen. Konsentrasjonen (glykol) på dette avløpet er mindre enn 3 %. I tillegg fører ledningen kondensat fra gjenvinningsanlegget og sommeravløp fra avisingsplattformen. Sommeravløpet kan også inneholde mindre mengder med glykol. Ledningen benyttes i tillegg til utslipp av kjølevann fra gjenvinningsanlegget. Dette kjølevannet inneholder ikke glykol og virker fortynnende på utslippet.

Glykolholdig avløpsvann pumpes fra avisingsplattformen til en kum ved gjenvinningsanlegget. Dersom avløpet holder en lav konsentrasjon blir avløpet pumpet direkte ut i fjorden via en pumpestasjon ved gjenvinningsanlegget. Hvis avløpet går til gjenvinning er det kondensatet som blir pumpet ut.

Alle ledningene som fører glykol i dette systemet er blitt tetthetsprøvet i løpet av de siste årene.

Det alvorligste bruddet ble oppdaget mellom avisingsplattform og pumpestasjon ved flyplassen (nr.17).

Det ene av de to andre mindre bruddene ble også oppdaget på transportledning fra avisingsplattformen i et bend ved Snarøyveien og asylmottak (nr. 18). I tillegg har det vært et mindre brudd på ledning som fører ferdig produsert glykol fra gjenvinningsanlegg til lufthavnen. Bruddet var like ved gjenvinningsanlegget (nr. 19).

I fase 2 foreslås det at ledninger som fører glykol i dag blir merket spesielt, og dokumentasjon fra tetthetsprøving systematiseres/oppsummeres. Eventuelt at ytterligere tetthetsprøving foretas. (se kap 3).

## 2.4 "Løkluktproblemet ved Fornebu" - Historiske opplysninger

For om mulig å kunne finne årsaken til at det fortsatt i perioder lukter "råtten løk" ved Fornebu har det vært nødvendig å gjennomgå avisingspraksis og avrenningsforhold ved lufthavnen de seneste år. I tillegg er alle uhell eller spesielle hendelser som kan ha medvirket til at avisingsvæske er tilført grunnen kommentert. Viktige opplysninger/påstander som omtales i dette kapittelet er også kodet i vedlegg 5.1.

### 2.4.1 Perioden 1970-1983

#### Koksatjernet

Avisingsaktivitetene med kjemikalier ved lufthavnen startet tidlig på 70 tallet, før den tid ble mekanisk utstyr benyttet. Avisingen foregikk på flyoppstillingsplassen før avgang. Koksatjernet (nr.1), som er lokalisert like Nord for SAS Hangaren, øst for nord-syd rullebanen og sør for øst-vest rullebanen, mottok både glykol via overvannssystemet fra flyoppstillingsarealet (nr. 2) og ved at glykolholdig brøytesnø ble lagret på myra /eller ved de allerede oppfylte deler av myra (Koksatjernet, som ble tappet ned i 1956 var på dette tidspunktet blitt omdannet til myr).

I forbindelse med oppgraving av myrmasser og gjenfylling av Koksatjernet i 1986 gjennomførte NGI en undersøkelse av grunnforholdene (NGI, 1985). Deler av myra var allerede oppfylt i ytterkant, og helt gjenfylt i øst mot ekspedisjonsbygget. Myrlaget varierte fra 0.3 meter i ytterkant til 2.5 meter i senteret.



Under myrlaget fant en meget bløt plastisk leire. Det øverste laget av leira var humusholdig og stedvis gytjig ned til ca 10 meter. Under dette nivået økte fastheten til leira ned mot fjell. Fjellet var dekket av et tynt sand/gruslag. I Koksatjernet ble det funnet to dyprener adskilt med en smal fjellrygg nær midten av tjernet (fjellryggen hadde hoveddrag i retning NØ-SV). Dybden til fjell varierte fra 5-17 meter. Avisingsvæsken kan ha blitt drenert fra flyoppstillingsplassen til begge sider av denne ryggen. Grunnforholdene i Koksatjernet var slik at det er lite trolig at avisingsvæsken har trengt dypt ned i leirgrunnen under kote 7-8 (dette gjelder spesielt etter at det ble lagt en ringledning rundt tjernet i 1983). Selv om bunnen av leiravsetningene i tjernet går ned til kote 17 har det aldri vært kommunikasjon mellom tjernet og sjøen.

I myra var det gunstige betingelser for at merkaptaner kunne bli dannet, anaerobt miljø og i tillegg tilgang på marine avsetninger ved flyplassen med mye sulfater.

#### Avrenning fra øvrige deler av flyoppstillingsplassen

Som nevnt foregikk all avising på flyoppstillingsarealet i tillegg til at noen fly ble påsprøytet væske inne i SAS hangaren. Avrenningen fra flyoppstillingsarealet, som ikke gikk i grunnen eller til Koksatjernet, ble ledet til Rolvsbukta i en overvannsledning/ åpen kanal. Denne eksisterer ikke i dag. En del gikk også i terreng mot Rolvsbukta (p.m., Svevad, 1994).

#### Snødeponi

For 15-20 år siden var det anlagt et snødeponi i skråning ned mot postterminalen (nr. 3). Her ble glykolinfisert snø fra flyoppstillingsarealet lagret. Avrenning fra dette deponiet kan ha nådd overvannssystemene som leder til Rolvsbukta, enten ved overflateavrenning eller via grunnen.

#### De første luktp problemer

Det har siden 1975-76 vært klager på "løklukt" fra beboere ved Fornebu lufthavn, men det var først på 1980-tallet at klagen ble rettet mot lufthavnen. De første luktp problemene ble oppdaget i SAS hangaren som hadde innlekking av grunnvann fra Koksatjernet.

Innlekking av grunnvann i hangaren er påstått å ha sammenheng med en bortsprengning av en fjellrygg i forbindelse med bygningsarbeider ved SAS hangaren. Det er mulig at dette medførte at grunnvannsstrømmene fra Koksatjernet ble endret, og at glykol/ merkaptaner i myra ble drenert mot hangaren.

Overflateavrenning fra Koksatjernet ble ledet i en 600 mm overvannsledning (nr.4) under rullebane nord-syd og ut i Koksabukta (deler av overvannsledningen fra Koksatjernet og til rusegropa er lagt som en underjordisk tunnel). Like etter at lukten var oppdaget i SAS hangaren begynte det også å lukte ved utløpet av overvannsledningen til Koksabukta. Årsaken til dette kan være kompleks. Vi har fremsatt tre forskjellige teorier som alle helt eller delvis kan være årsaken;

1) Glykolinfisert avløpsvann fra Koksatjernet kan ha blitt ledet via grunnvannet og markvannet til Koksabukta. Det er imidlertid lite sannsynlig at grunnvannet går denne veien. Koksatjernets naturlige drenering til Lysakerfjorden lå på kote 7-8, og det kan ikke være spredning til grunnen mot Koksabukta med mindre fjellterskler er nedsprengt eller det er sprengt ned grøftetraséer.

2) Overvannsledningen mellom Koksatjernet og Koksabukta kan være av dårlig kvalitet: Det er indikasjoner på at denne ledningen kan ha brudd (nr.5) under rullebane nord-syd (p.m, Svevad, 1994). Overvann som har lekket ut kan derfor ha blitt lagret i jorda og blitt tilført Koksabukta spesielt ved store regnskyll.

3) Overvann fra Koksatjernet kan ha blitt ført til Koksabukta direkte, men pga dårlig vannutskifning ha blitt utsatt for anaerob nedbrytning i resipienten.

At grunnen rundt ledningstraséen var/er forurenset merktes også ved bygging av SAS hangar 4 og rusegropa (nr 6).

I tillegg til luktproblemer i Koksabukta og SAS hangaren oppsto det også luktproblemer i Hundesund (nr. 7). Dette kan delvis være et resultat av at grunnvannstilsiget i SAS Hangaren ble pumpet inn på overvannsledningen som munner ut i denne bukta. Ca plassering av grunnvannspumpen og påslipp til overvannsledning er vist i vedlegg 5.1 (nr. 8 og 9). Grunnvannspumpen pumpet anaerobt og delvis nedbrutt glykol til Hundesund fram til 1988, og ble da omkoblet til Rolvsbukta. Overvannsledningen til Hundesund kan også ha hatt tilsig via grunnvann/markvann fra Koksatjernet, eller fra de øvrige områder ved flyoppstillingsarealet hvor det ble foretatt avising. Hundesund kan også tenkes å ha mottatt glykolholdig/merkaptanholdig grunnvann via terreng fra overvannsledning til Koksabukta, dersom det var brudd på denne.

#### **2.4.2 Perioden 1983-1989**

##### De første tiltakene 83-86

I 1982 ble årsaken til luktproblemene klarlagt og tiltak for å bekjempe problemet ble foreslått. (From, 1982). Tiltakene var både kortsiktige og langsiktige.

De kortsiktige tiltakene gikk i korthet ut på å sikre en hurtig avrenning fra Koksatjernet for om mulig å unngå oksygenfrie tilstander og dannelse av merkaptan. Det ble lagt en ringledning rundt Koksatjernet. En løsning av jernklorid ble injisert for å felle ut  $SO_4$ , slik at sulfat ble utilgjengelig i resten av prosessen. Løklukten oppsto igjen når virkningene av de kortsiktige tiltakene opphørte. De langsiktige tiltakene omfattet etablering av en permanent avisingsplattform innen 01.10.86 som forutsatt i lufthavnens utslippstillatelse. Avløpet var tenkt ledet til kommunalt spillvannnett.

##### Utgraving og gjenfylling av Koksatjernet med etablering av et midlertidig asfaltdekke 86-89

Etableringen av plattformen ble utsatt i påvente av en avklaring om Fornebus rolle som flyplass (hovedflyplassdebatten pågikk). Istedet ble det etablert en midlertidig løsning. I 1986 ble myrmassene i Koksatjernet fjernet og fylt igjen med sprengstein. Tjernet ble asfaltert med et midlertidig dekke. Ved utgravingen luktet det "løk". Massene ble delvis deponert i en støyvoll som ble bygget langs øst-vest rullebanen mot Koksabukta (nr 10). Det har ikke vært registrert lukt i dette området.

Det er påstander om at deler av myren, som var gjennomsyret med glykol, ikke ble masseutskiftet. Dette betyr at glykol, som helt eller delvis var omdannet til merkaptan eller andre anaerobe sluttprodukter, fortsatt kunne/kan bidra til forurensning. Ved gjenfylling av Koksatjernet ble det også etablert et system for dyp vertikaldrenasje av leira. Overfyllingen og drenasjen førte til en oppadrettet gradient, dvs utstrømning av grunnvann/ porevann. Spredningsforholdene for det utpressete grunnvann/ porevann er ikke kjent. Nå er forholdene trolig normalisert, og dette vil kunne avklares i den foreslåtte miljøundersøkelsen.

Avrenningen av glykol på det midlertidige asfaltdekket ble for sesongene 1987/88 og 1988/89 samlet opp med sugebil og tømt i en overvannskum (nr. 11) på den ene overvannsledningen (1000 mm) til Rolvsbukta (nr.12). Overvannsledningen lå på denne tiden ca 100 meter fra enden av bukta.

Det var ikke mulig å samle opp all glykol fra det midlertidige asfaltdekket med glykol, og dette betyr at deler av glykolholdig overvann fortsatt ble ledet til Koksabukta.

Rolvsbukta gikk på dette tidspunktet noe lengre inn mot gjenvinningsanlegget enn i dag. Det var først i 1988/89 at deler av bukten ble fylt igjen, ca 50 meter, og parkeringsplassen utenfor gjenvinningsanlegget ble etablert (nr. 13). Sedimentene i bukta ble ikke skiftet ut og vannet ble stengt inne mens utfyllingen startet. Dette betyr at dersom glykol eller mercaptaner lå i sedimentene, kan disse fortsatt bidra til forurensning dersom disse skyldes ut ved høyvann.

### **2.4.3 Perioden 1989-1993**

#### Etablering av den første permanente avisingsplattformen og bygging av gjenvinningsanlegg

I 1989 ble en egen avisingsplattform bygget. Plattformen besto av drenerende asfalt, med et underliggende grus- og sandlag som væsken skulle passere før den ble samlet opp i drensledninger. Plattformen var membransikret mot grunnen. Væsken ble ledet til gjenvinningsanlegget for glykol. Anlegget ble tatt i bruk samme år (nr. 14). Ved lavere glykolkonsentrasjoner enn 3% ble det forurensede overvannet ledet direkte til overløp i Rolvsbukta. Dette skjedde via den samme overvannsledningen som i de to foregående sesongen og som delvis også i 1989 hadde mottatt all avisingsvæske fra den midlertidige avisingsplattformen. Etter etablering av parkeringsplass lå dette utslippet ca 40 meter fra land. Det første året med den nye avisingsplattformen i drift fikk en problemer med gjentetting av drencrørene under plattformen, og NIVA tok blant annet prøver av sandlaget (NIVA, juli 1990) i plattformen. Begroingen indikerte et redusert miljø og rustbrun avleiring (jern og mangan utfelling) Jern og mangan forbindelsen kom av at sanden som var brukt var rik på disse forbindelsene.

Problemet med løst (dvs toverdige) jern og mangan i gjenvinningsanlegget tyder også på reduktive forhold. Reduksjonen av tungt løselig jern (III) og mangan (III)- forbindelser til lett løselige II-forbindelser vil bare kunne skje under anaerobe forhold ved eksisterende pH.

Gjenvinningsanlegget er bygget på prinsippet inndampning med atmosfærisk trykk, dvs at vannet som har et lavere kokepunkt enn glykol blir dampet av fra den oppsamlede væsken. Dette kondensatet, som også inneholder mindre mengder med glykol (fra 1992/93 i gjennomsnitt ca 0.7%, og tidligere 1%), ble også sluppet ut i Rolvsbukta i overvannsledningen (600 mm), som lå kun 5 meter fra land (nr. 15).

#### De første "løkluktproblemer" i Rolvsbukta og gjennomføring av nye tiltak

De første klager på løklukt i Rolvsbukta kom allerede sesongen 1990/91. Da hadde bukten mottatt glykolholdig overvann fra og med sesongen 1986/87. NIVA og Taugbøl & Øverland AS ga en utredning om årsaken til problemet og tiltak for å bedre situasjonen (NIVA og T&Ø, 1991).

Årsaken til problemet ble i korthet antatt å være store tilførsler med glykol til Rolvbukta som hadde dårlig vannutskifting.

De store mengdene med glykol var antatt å skyldes at alt avløpet fra avisingsaktiviteten ble ledet direkte til Rolvsbukta i sesongene 1986/87, 1988/89 og deler av 1989. I tillegg kom kondensat fra gjenvinningsanlegget og overløpsvann fra avisingsplattformen i sesongen 1989/90 og 1990/91. Det var også mistanke om at en del av glykolen som var sluppet ut via overvann i 1986/87 og 1988/89 kunne ligge i sedimentene under parkeringsplassen som ble lagt i 1988/89.

I tillegg hadde grunnen rundt gjenvinningsanlegget også mottatt glykol fra utette lagertanker ved gjenvinningsanlegget, og kunne derfor bidra til anaerob nedbrytning av glykol som etterhvert ble presset ut i Rolvsbukta ved høyvann.

Kondensatet fra gjenvinningsanlegget gikk som nevnt i overvannsledning (630 mm PEH og PVC ledning) til Rolvsbukta i sesongen 1989/90 og 1990/91 og følgelig etter at parkeringsplassen var lagt. Det er også mulig at det kan ha vært brudd på denne ledningen eller utette skjøter som har ført til at glykol ligger i grunnen her.

I tillegg hadde bukta i perioden 1988-89 mottatt glykolholdig grunnvann fra SAS hangaren via denne overvannsledningen (det går ikke klart frem av kartmaterialet hvor avløpet fra SAS hangaren ble ledet).

Området øst for postterminalen og like sør for satellitt A, ble tidligere benyttet som snødeponi for blant annet glykolinfisert snø fra oppstillingsplattformen. Tilførselen av glykol/merkaptaner til Rolvsbukta kan også tenkes å ha sammenheng med dette deponiet. Overvannet fra deponiet kan ha blitt ledet til samme overvannsledning (1000 mm) som overvannet fra avisingsplattform, men også til overvannsavløpet som passerer gjenvinningsanlegget. Det er også muligheter for at smeltevannet fra glykolinfisert snø har trengt ned i grunnen og har fulgt grunnvannsstrømmingen ned mot bukta eller trengt inn i overvannsledningene. Det anses som mindre sannsynlig at forurensning fra snødeponiet fortsatt ligger i grunnen. Det er ca 15 år siden deponiet var i bruk (p.m. Svevad, 1994).

Det er mer sannsynlig at overvannsledningen også kan ha hatt innlekking av forurenset grunnvann/markvann fra grunnen i området rundt avisingsplattformen, eventuelt også fra andre deler av flyoppstillingsarealet.

De foreslåtte tiltakene for å bedre problemet i Rolvsbukta gikk blant annet ut på å tette den drenerende avisingsplattformen, slik at en unngikk en oppmagasinering av avisingsvæske i sandlaget under plattformen. Dette skulle medføre en hurtig oppsamling av væsken, at den gjennomsnittlig konsentrasjon på oppsamlet væske økte og at mindre mengder dermed ble ledet til overløp. I tillegg ble det mindre risiko for anaerob nedbrytning i massene under det drenerende asfaltdekket.

Lekkasjene fra lagertanker ved gjenvinningsanlegget ble utbedret, og det ble lagt en utslippsledning ca 180 meter fra land hvor både overløpsvann fra avisingsplattformen, kondensat og kjølevann fra gjenvinningsanlegget ble koblet på. Utslippet av kjølevann førte til at utslippet ble fortynnet i tillegg fortynningseffekten fra diffusoren på utslippsledningen. NIVA hadde gjort beregninger for å sikre et mest mulig gunstig utslippspunkt i forhold til oksygeninnholdet i fjorden.

Det ble også etablert en pumpestasjon ved gjenvinningsanlegget for å pumpe avløpet ut i fjorden, (nr.16). I forbindelse med gravearbeidene for denne pumpestasjonen oppsto det luktp problemer, og de oppgravde massene var gjennomsyret av glykol/merkaptaner. Ved nedgraving av utslippsledning under parkeringsplassen ble det ikke meldt om spesielle luktp problemer, men sedimentene var/er forurenset av olje.

De nye tiltakene var gjennomført før sesongstart 1991/92.

### Tetthetsprøving av ledningsnett

Alle ledninger som fører glykol er tetthetsprøvet i løpet av de par siste år. Det ble funnet tre lekkasjer (1990/91), hvor den mest alvorlige var ved overføringsledning fra plattform til gjenvinningsanlegg. Mellom avisingsplattform og pumpestasjon var to ledninger ikke skjøtet tilstrekkelig. Det vil si at store deler av glykolen den første sesongen 1989/90 ble tilført grunnen (nr. 17). To mindre lekkasjer ble funnet på pumpeledning for ferdig glykol fra gjenvinningsanlegg til avisingsplattform (i bend like ved gjenvinningsanlegg nr.19) og på transportledning fra plattform i bend ved Snarøyveien/asylmottaket (nr. 18).

### Uhell med lagertank for ferdig glykol ved SAS, utslipp til Hundesund

I 1990/91 var det også et uhell ved SAS lagertanker for ferdig glykol, hvor ca 8 tonn 100 % glykol gikk i overløp og sannsynligvis også delvis i grunnen. Væsken drenerte til overvannsledningen mot Hundesund (nr. 20).

#### **2.4.4 Dagens situasjon**

Hundesund og Koksabukta skal ikke lenger motta glykolholdig overvann (kun dersom overløp mot Koksabukta trer i funksjon). Befaringer har vist at det fortsatt lukter "løk" i overvannssystem og ved utløp av dette. Beboerne i området uttaler at problemet er betydelig forbedret, og at lukten ikke lenger oppfattes som sjenerende lenger.

Det meste av væsken som faller av flyene på avisingsplattformen blir samlet opp enten via selvfall til avløpsrenner eller med sugebil. Det er imidlertid noe glykol som blåser utenfor plattformen. Dette blir ledet i eksisterende overvannssystem til Koksabukta (p.m Svensson, 1994). I tillegg kan overvannssystemet motta glykolholdig overvann idet flyene forlater plattformen og takser til rullebanen.

Som nevnt er alle ledninger som fører glykol til Lysakerfjorden tetthetsprøvet (lufthavnen har også lagt opp til et program for årlig gjennomgang av alle anlegg og ledninger med glykol, inklusiv overvannsledning til Koksabukta).

Alle målinger/beregninger som er foretatt tyder på at utslippet til Lysakerfjorden ikke fører til problemer i fjorden. Det er også lite sannsynlig at avløpet blir ført inn i Rolvsbukta igjen.

Luktproblemene sesongen 1993/94 i Rolvsbukta må derfor skyldes glykol som allerede er tilført eller som tilføres grunnen.

## 2.5 Tidligere miljøundersøkelser

De fleste miljøundersøkelser som er gjennomført ved Fornebu lufthavn er nevnt i kapittel 2.1. Under omtales kort resultater fra tidligere grunnundersøkelser, resipientundersøkelser og oksygenmålinger.

### 2.5.1 Grunnundersøkelser

I 1992 ble det gjennomført grunnundersøkelser ved Fornebu (Stene-Johansen og Holtan, 1993). Hensikten med undersøkelsene var å kartlegge hvorvidt grunnen langs takse- og rullebaner var påvirket av glykol. I tillegg var en spesielt interessert i området ved gjenvinningsanlegget (parkeringsplass) og ved idrettsbanen (nr. 22) som ligger i dalsøkket ned mot Hundesund. Ved begge de to sistnevnte plassene hadde det vært klager på lukt. I tillegg til 7 grunnvannsetableringer ble det tatt prøver av 7 overvann/sigevann lokaliteter.

Det ble ikke funnet spor av glykol hverken i overvannsprøver eller grunnvannsprøver. Jord og steinprøver som ble tatt opp i forbindelse med brønnetableringene viste heller ingen tegn til glykolforurensning eller merkaptaner. Disse jordprøvene ble senere analysert, men innholdet av glykol var mindre enn deteksjonsgrensen (Stene-Johansen, 93).

Det ble også tatt prøver av snø fra idrettsplassen som er nevnt ovenfor, av kommunen i 1991, etter klager om vond lukt og gule flekker i snøen (Bærum kommune, 1991). Rapporten konkluderte med at den vonde lukten stammet fra flynedfall. Rapporten ble kommentert av NIVA (Stene-Johansen, juli 1991). NIVA var uenig i konklusjonene til Bærum kommune og påpekte at den mikrobiologiske aktiviteten kunne skyldes forurensede fyllmasser, opptrengning av grunnvannsstrømmer fra rusegropa eller Koksatjernet, hvor grunnen har vært forurenset med glykol, eller inntrengning av forurenset sjøvann/slam fra Hundesund.

### 2.5.2 Resipientundersøkelser

Det er gjennomført resipientundersøkelser av Hundesund, Koksabukta og Rolvsbukta ( Helland og Walday, 1992/Stene-Johansen og Holtan, 1991).

#### Koksabukta

Strandsonen og bunnsedimentene i Koksabukta er undersøkt (Helland og Walday, 1992). Et av prøvepunktene, ble pekt ut av lokalkjente og det var her observert en gulaktig tyktflytende væske. Etter stedsangivelsen i rapporten kan det se ut som om dette var omtrent på det samme stedet, hvor det også var svak lukt på befarings den 30.05.94 (nr. 23), se kap 2.6.3.

Det var ikke mulig å påvise glykol i noen av prøvepunktene, men sedimentet var svartere ved det nevnte prøvepunktet.

#### Hundesund

I Hundesund ble det også tatt prøver av sedimentene langs en gradient i fortsettelsen fra overvannsutløpet. Sedimentene bestod av gråsvart leire og ble lysere nedover i kjernen. Det ble påvist glykol i prøvene (Helland og Walday, 1992).

## Rolvsbukta

Også sedimentprøvene i Rolvsbukta bestod av gråsvart leire, og det ble påvist glykol. Det er ikke avmerket i rapporten hvor prøvene er tatt.

I tillegg til sedimentprøvene som ble tatt i 1992 (Helland og Walday, 1992), ble det også gjennomført en biologisk befaring i strandsonen i 1991 (Stene-Johansen og Holtan, 1991). Bunnforholdene innerst i Rolvsbukta bestod i vesentlig grad av leire, og er lite egnet for fastsittende organismer. Strendene utover i Rolvsbukta skilte seg ikke nevneverdig ut fra områdene utenfor. Det ble også foretatt en dykkerbefaring. Det ble tatt ut sedimentprøver som var dominert av et relativt bløtt gråsvart sediment. Sedimentene inneholdt mye olje.

## Generelt

Det ble med andre ord påvist glykol i Hundesund og Rolvsbukta, hvor de høyeste verdiene ble observert i Rolvsbukta (Helland og Walday, 1992). Et hydrokarbon, som muligens kunne være propylenglykol, ble påvist på alle tre lokaliteter. De høyeste verdiene var i Rolvsbukta. I Koksabukta og Hundesund ble de høyeste konsentrasjonene observert et stykke ned i sedimentene (5-10 cm), mens i Rolvsbukta ble den høyeste verdien registrert i overflatesediment (0-5 cm). Det betyr at tilførselen av glykol til Hundesund og Koksabukta er avtatt med tiden, og at glykol kan ha en viss bestandighet i sedimentene.

Resultatene indikerer også at Hundesund har blitt tilført glykol i senere tid.

I rapporten ble det konkludert med at PAH og olje syntes å være et større miljøproblem. Innholdet av olje og fett var høyt i alle prøver.

### **2.5.3 Oksygenmålinger**

NIVA har foretatt fortynningsberegninger av forventet mengde avisingsvæske ved utslipp fra Fornebu Lufthavn gjennom diffusoren til pumpeledning i Lysakerfjorden. I tillegg er opptak av oksygen beregnet samt hydrauliske dimensjonering av diffusor (Stene-Johansen og Holtan, 1991). NIVA valgte å se på to utslippsalternativer, hvor den mest konservative var beregnet til å representere et oksygenforbruk på 82 tonn. Den mest ugunstige hydrografiske vintersituasjonen var lagt til grunn for beregningene. Resultatene fra beregningene tydet på at selv med laveste anslag for utveksling mellom atmosfære og vann og gjennomstrømning, ville selv et oksygenforbrukende utslipp på 82 tonn gi svært små utslag i oksygenbalansen. Verdiene lå i størrelsesorden innenfor oksygensondens nøyaktighet.

Det er gjennomført målinger for overvåking av oksygenbalansen (Stene-Johansen og Holtan, 1992 og 1993).

Det må imidlertid nevnes at målingene som ble gjennomført i 1993 ikke har samme gyldighet som målingene i 1992. Målingene i 1993 ble gjennomført svært sent på året, og i denne perioden var utslippet til Lysakerfjorden svært lite. Målingene for sesongen 1991/92 derimot ble gjennomført fra november, 1991 (hvor utslippet var størst) og til og med juli 1992. Denne sesongen var utslippet av glykol også høyt og representerte et oksygenforbruk på ca 94 tonn (dvs noe høyere enn det mest konservative anslaget som NIVA la til grunn ved beregningene i 1991). Resultatene fra overvåkingen i 1991/92 konkluderte med at utslippet var av liten betydning for oksygenbalansen i fjorden (Stene-Johansen og Holtan, 1992).

Det er også gjennomført 9 tokt i 1994 (15.04-20.06). Også disse målingene er tatt noe sent på året i forhold til måneder hvor en vanligvis har maksimale utslipp. Resultater fra undersøkelsene vil foreligge i løpet av juli og skal sammenstilles med utslippstall for perioden.

## **2.6 Befaringer våren 1994**

Ved utforming av forslag til måleprogram ble det gjennomført befaringer til Fornebu Lufthavn 09.05.94 og 30.05.94. I tillegg ble en innledende befaring ved lufthavnen foretatt den 26.04.94.

### **2.6.1 Innledende befaring 26.04.94**

Strandsonen i Rolvsbukta og overvannskummer ved gjenvinningsanlegget ble befart. Det var en klar tendens til "løklukt".

### **2.6.2 Befaring 09.05.94**

Den 09.05.94 kjentes løklukt i Rolvsbukta, i overvannskummer ved parkeringsplass og i overvannskummer like ved gjenvinningsanlegget. Både Rolvsbukta og siste overvannskum på overvannsledningen til Rolvsbukta (630 mm) var tilgriset av olje. Noe av oljen kan stamme fra grunnen under parkeringsplassen hvor det tidligere er oppdaget olje. Grunnen har sannsynligvis hatt tilsig fra oljetanker i området.

### **2.6.3 Befaring 30.05.94**

Den 30.05.94 ble Koksabukta og Hundesund inkludert overvannsdrenering for overvann til Hundesund befart. I Koksabukta var det ingen synlige tegn til forurensning, men en svak lukt kunne kjennes meget lokalt (nr. 23). Dette stedet ble utpekt av en lokalkjent som fortalte at lukten ikke hadde vært et problem de seneste år, og at tendenser til lukt først kunne merkes etter kraftige regnskyll. Dette kan tyde på at rester av glykol eller merkaptaner fortsatt kan finnes i grunnen mellom Koksabukta og flyoppstillingsområdet. Overvannsledning fra flyoppstillingsområdet til Koksabukta ble ikke befart.

I Hundesund var det, som NIVA tidligere har observert, lukt i overvannskulvert. Det var også begroing (heterotrof vekst og alger) samt et rustbrunt belegg på steinene ved utløpet. Ved befaringen var det stillestående vann i kulverten og sjøvannsintrengning.

Overvannsledning fra Hundesund ble befart i hver enkelt kum opp til SAS hangaren, og det var klar "løklukt" i alle kummer samt tegn til oljeforurensning. Vi forsøkte å følge overvannsledningen til utgangspunktet, men var ikke i stand til å finne igjen den første inntegnede overvannskummen. Kartene over avløpsledninger er ikke ajourført, og det kan tenkes at kummene er ute av bruk. Området skal etter alle utsagn ikke få tilført glykol i dag. Lukten må derfor i såfall skyldes forurensning i grunnen som presses inn i overvannskummene.

De to overvannssystemene fra flyplassen som munner ut i Rolvsbukta ble også befart. Spesielt interessant var det å følge overvannsledning fra parkeringsplassen, hvor lukt var registrert under befaring 09.05.94. Denne ble befart frem til utgangspunktet. Etter kartgrunnlaget var dette oppe på flyplassen. Det lyktes ikke å finne alle kummer, men det var verken lukt ved Snarøyveien eller ved Postterminalen. Dette tyder på at området i grunnen rundt denne overvannsledningen ikke er forurenset, og at forurensningen sannsynligvis stammer fra grunnen lokalt rundt gjenvinningsanlegget.



Det andre overvannssystemet som vi har mistanke om kan ha mottatt forurenset overvann fra gammelt snødeponi, og som tidligere har ført forurenset overvann fra flyoppstillingsarealet og avisingsplattform, skulle også befares. Vi kunne imidlertid ikke gjenfinne de avmerkede overvannskummer.

#### **2.6.4 Konklusjoner fra befaring**

De umiddelbare konklusjoner fra befaringen indikerer at det er rester av glykol/merkaptaner i jordsmonnet rundt overvannsledningstraséen fra lufthavnen til Hundesund, og rundt overvannsledningstrasé til Koksabukta. Luktproblemene i Rolvsbukta synes først og fremst å være konsentrert om strandområdet innerst i selve bukta og ut mot sjøflyhavna. Grunnen under parkeringsplassen og ved gjenvinningsanlegget synes å være forurenset og kan medføre et jevnt tilsig av lukt ut i Rolvsbukta. Det ble ikke funnet tegn til lukt i overvannskummer opp mot lufthavnen på oversiden av Snarøyveien. Det var imidlertid ikke mulig å lokalisere alle overvannskummer i dette området, og det kan derfor tenkes at det i tillegg er tilsig fra området på oversiden av Snarøyveien.

Befaringen bekrefter at det er nødvendig å få kartlagt alle overvannsledninger, dreneledninger eller spillvannsledninger som mottar eller har mottatt glykol ved lufthavnen. Status og tilstand til disse ledningene må kartlegges. Det eksisterende vann og avløpskartet må oppdateres, hvor overvannsledninger, dreneledninger eller spillvannsledninger som har eller har mottatt glykol må merkes spesielt.

I tillegg er det nødvendig å få kartlagt grunnforhold og grunnvannsstrømninger for å vite hvor forurenset markvann eller grunnvann tar veien.

## 3 Miljøtekniske undersøkelser, fase 2

### 3.1 Mål og rammer

#### 3.1.1 Generelt

De miljøtekniske undersøkelser skal kartlegge "løkluktproblemet" ved Fornebu.

Programmet skal gi svar på hvor problemomfanget er størst og hvorvidt forekomster av glykol eller merkaptaner bidrar til forurensning av resipienter. Undersøkelsen skal også gi svar på om problemet vil vedvare og dermed være et problem for naboer til lufthavnen, eventuelt om forurensningen kan føre til arealbruksrestriksjoner for fremtidig bruk av Fornebu.

Alle arbeider i grunnen forutsettes gjennomført etter SFTs veiledning 91:01. De foreslåtte undersøkelser tilsvarer blant annet fase 2 i veiledningen.

De ulike faser i SFTs undersøkelsesstrategi for miljøtekniske grunnundersøkelser er som følger (SFT, 1991):

#### Fase 1: Innledende undersøkelser

Fase 1 består av innsamling og gjennomgang av alle bakgrunnsdata m.h.t aktivitetene på stedet, de fysiske og kjemiske egenskapene til en mulig forurensning samt naturgrunnlaget.

Denne fasen er allerede gjennomført og er beskrevet i kapittel 2 i denne rapporten.

#### Fase 2: Avklarende undersøkelser

I fase 2 skal det gjennomføres undersøkelser som avklarer om det finnes forurensning i grunnen og om det foregår en spredning av forurensningen.

#### Fase 3: Utvidete undersøkelser

Fase 3 vil bestå av detaljert undersøkelse av kilde og omfanget av spredningen for å bestemme om forurensningen kan påvirke omgivelsene i en slik grad at det er behov for tiltak.

#### Fase 4: Tiltaksundersøkelse

I fase 4 vil detaljevurdering og pilottesting av alternative tiltak bli foretatt mht. tekniske muligheter, miljøteknisk effektivitet og kostnader.

#### Fase 5: Gjennomføring av tiltak

Tiltak kan gjennomføres på forskjellige måter med ulike teknikker og kan være av permanent eller midlertidig art .

#### Fase 6: Overvåking

Overvåking utføres dersom det er påvist miljøgifter og tiltak foreløpig ikke er vurdert som aktuelt, eller dersom tiltaket ikke er en permanent løsning av problemet.

### **3.1.2 Rammer for fasene i undersøkelsen**

De foreslåtte undersøkelser baserer seg hovedsakelig på undersøkelser i grunnen hvor både analyser av jord (porevann), jordgass og grunnvann skal utføres. I tillegg skal det tas prøver i overvannsledninger som det er mistanke om har innlekking av forurenset markvann eller grunnvann. Jordgassmålinger foretas i felt, mens jord og grunnvann analyseres i laboratoriet.

Måleprogrammet omfatter også prøvetaking av bunnsedimenter i Rolvsbukta, Hundesund og Koksabukta. Undersøkelsene vil bli sammenholdt med resultater fra tidligere resipientundersøkelser.

Status og tilstand til ledningsnett som har ført eller fører glykol skal dokumenteres. Grunnforhold og grunnvannsstrømninger vil også bli kartlagt for å bestemme spredningsveier for glykol.

Jordgassmålinger, tilstandskartlegging av ledningsnett og kartlegging av spredningsforhold vil være styrende for prøvetakende boringer og plassering av grunnvannsbrønner. Undersøkelsene er foreslått delt inn i en fase A og B, hvor rammeplaner for prøvetaking for hver fase er utarbeidet (kap. 3.3.1). Analysene forutsettes utført umiddelbart etter prøvetaking, med en maksimum leveringstid på 2 uker. Fortløpende analyser vil gi opplysninger som kan påvirke programmet i de foreslåtte rammeplanene. Det forutsettes et nært samarbeid med oppdragsgiver og SFT slik at omfanget av undersøkelsene til enhver tid blir tilpasset problemomfanget.

I fase 2 har vi også foreslått at anaerob nedbrytning av avisingsvæske i grunnen beskrives. Dette baseres på eksisterende litteratur, og suppleres med eventuelle erfaringer/resultater som har fremkommet fra forskningsarbeidet ved Gardermoen.

Som en del av fase 2 skal tiltak vurderes. Nødvendigheten av å gjennomføre eventuelle utvidete undersøkelser samt en detaljertredning av tiltak skal vurderes og begrunnes.

## **3.2 Potensielle lokaliteter med forurensning**

Historiske opplysninger, tidligere miljøundersøkelser og befarings har identifisert potensielle lokaliteter som kan være forurenset og som bør undersøkes nærmere. Alle lokaliteter er ikke like viktige, og dette gjenspeiler seg i forslag til miljøundersøkelser.

Nedenfor er de ulike lokalitetene gruppert.

### **3.2.1 Ledningssystemer**

#### **Trasé for overvannsledning til Koksabukta OV/K**

Dette er et potensielt område hvor det kan være forurensning. Undersøkelsene bør først og fremst begrense seg til jordgassmålinger og overvannsprøvetaking. Spesielle punkter langs ledningstraséene vil være ved et eventuelt brudd under rullebane nord-syd, ved rusegropa og ved SAS hangar 4.

Ved de to sistnevnte lokalitetene er det registrert lukt i forbindelse med gravearbeider. I tillegg kan andre punkter fremkomme etter tilstandsvurdering av ledningsnett eller ved kartlegging av grunnforhold/grunnnvannsstand. Forslag til undersøkelser for fase A og B er nærmere spesifisert i kapittel 3.3

#### Trasé for overvannsledning til Hundesund OV/H

Dette er på samme måte som for overvannsledningen til Koksa, et potensielt område hvor det kan forekomme forurensning i grunnen. Undersøkelsene bør også her begrense seg til jordgassmålinger (fase B) og overvannsprøvetaking (fase A). Spesielle punkter langs overvannsledningstraséen vil være ved påslipp av grunnvann fra SAS hangaren og i nærheten av uhell ved lagertanker for ferdig glykol. Ledningene kan også være utsatt for grunnvannsinntrengning. Potensialet for forurensning vil bli ytterligere belyst etter at grunnforhold og ledningssystem er kartlagt.

#### Traseér for overvannsledning til Rolvsbukta OV/R

Begge overvannssystemene til Rolvsbukta kan ha vært potensielle kilder til forurensning av grunnen.

Overvannsledning som munner ut innerst i Rolvsbukta (630 mm) er antatt å være mest utsatt ved parkeringsplassen, men eventuelt også lenger opp mot lufthavnen som et resultat av grunnvannsinntrengning fra Koksatjernet. Inntrengning av grunnvann fra flyoppstillingsareal og snødeponi synes å være av mindre betydning.

Overvannsledning lenger ut i Rolvsbukta (1000 mm) er sannsynligvis mest påvirket av forurenset overvannspåslipp fra avisingsplattformen fra sent på 1980 tallet til begynnelsen på 1990 tallet. Eventuell inntrengning av grunnvann fra en eventuell forurensning i Koksatjernet kan også være av betydning. Inntrengning av grunnvann fra flyoppstillingsareal og snødeponi synes å være av mindre betydning.

Også her bør prøvetakingen først og fremst begrenses til jordgassmålinger (fase B) og overvannsprøvetaking (fase A). Potensialet for forurensning vil bli ytterligere belyst etter at grunnforhold og ledningssystem er kartlagt.

#### Trasé for pumpeledning for transport av gjenvunnet væske til SAS lager SP/L

Pumpeledningen fører ferdig glykol fra gjenvinningsanlegget til lager for ferdig glykol ved lufthavnen. Ved tetthetsprøving (1990/91) ble det oppdaget et mindre brudd i et bend like utenfor gjenvinningsanlegget. Det er ikke rapportert om andre brudd som skulle tilsi at det er tilført forurensning til grunnen. Prøvetakingen bør begrenses til jordgassmåling i dette punktet (fase A). Potensialet for forurensning vil bli ytterligere belyst etter at resultater fra tetthetsprøvinger foreligger.

#### Trasé for pumpeledning med transport av forurenset overvann fra avisingsplattform, SP/A

Pumpeledningen transporterer oppsamlet glykol fra avisingsplattformen til gjenvinningsanlegg eller til Lysakerfjorden. Det er rapportert om to punkter ved ledningen hvor det har vært brudd/utglidninger. Spesielt alvorlig kan bruddet mellom avisingsplattform og pumpestasjon ved lufthavnen ha vært. Prøvetakingen bør begrenses til jordgassmåling i disse punktene (fase A). Potensialet for forurensning vil bli ytterligere belyst etter at resultater fra tetthetsprøvinger foreligger.

### **3.2.2 Koksattjernet og avisingsplattform**

Koksattjernet og området rundt avisingsplattformen anses som hovedkildene til forurensning i grunnen. Gamle masser i tjernet samt drenering av sandlag under gammel plattform kan være potensielle kilder til forurensning av grunnvannet i området. I tillegg kan noe av avisingsvæsken som sprøytes på flyene falle av eller blåses utenfor plattformen.

Det foreslås først og fremst at det tas jordgassmålinger. Etter at grunnforhold/grunnvannsnivå og eventuelle spredningsveier er kartlagt, er det også aktuelt å ta prøver av porevann fra jord samt grunnvannet (se forøvrig kapittel 3.3).

### **3.2.3 Gammelt snødeponi**

Det er 15-20 år siden snødeponiet var i bruk. Det antas derfor at deponiet er av mindre betydning for forurensningen som finnes i grunnen i dag.

Vi foreslår at det ikke tas prøver i området.

### **3.2.4 Gjenvinningsanlegg og andre tekniske anlegg**

#### Gjenvinningsanlegget

Området rundt gjenvinningsanlegget er et viktig område å få undersøkt, og det har tidligere vist seg å være forurenset.

Vi foreslår at det tas jordgassmålinger i et nett av brønner som plasseres rundt gjenvinningsanlegget. Spesielt utenfor lagertanker hvor det tidligere har vært lekkasje.

Med bakgrunn i disse målingene, og dokumentasjon av tetthetsprøvinger som er utført ved anlegget eller på ledningssystemet i tilknytning til anlegget, er det også aktuelt å plassere grunnvannsbrønner og ta prøver av jord.

#### Lagertanker for glykol ved lufthavnen

Området rundt lagertanker for glykol ved lufthavnen kan være et potensielt område hvor det ligger forurensning i grunnen, pga ulykke ved lagertankene i 1990/91.

Vi foreslår at det tas jordgassmålinger i dette området. Det er også aktuelt å sette ned grunnvannsbrønner og ta prøver av jord i området.

### **3.2.5 Rolvsbukta**

I tillegg til området rundt gjenvinningsanlegget, og ved overvannsledningstrasé gjennom parkeringsplass, kan det ligge forurensning i grunnen for øvrig, eksempelvis i gamle sedimenter under parkeringsplassen. Det er også indikasjoner på at det kan ligge rester av glykol i grunnen i strandsonen/skråning ut mot sjøflyhavna.

Det foreslås i første omgang at det tas jordgassmålinger. Med bakgrunn i disse målingene settes det ned grunnvannsbrønner og det skal tas prøver av jord. Det foreslås også at det tas noen sedimentprøver i bukta.

### 3.2.6 Koksabukta og Hundesund

Med bakgrunn i de tidligere resipientundersøkelser og at det fortsatt lukter i områdene, foreslår vi at det i første omgang (fase A) tas sedimentprøver.

### 3.2.7 Konklusjon

- Kartlegging av grunnforhold, spredningsforhold, prøvetaking av jord/jordgass, grunnvann og sedimenter bør konsentreres i området rundt avisingsplattform og Rolvsbukta (inkludert parkeringsplass og området rundt gjenvinningsanlegg).
- Enkelte lokaliteter hvor det har vært uhell (brudd på ledninger og ved tanklager for glykol) bør undersøkes spesielt. Det kan på slike steder være tildels store mengder glykol som er tilført grunnen.
- Det bør også tas prøver i områdene rundt ledningstraséene som har ført glykol til Rolvsbukta. I tillegg bør det tas prøver av overvannet.
- Ledningstraséer til Hundesund og Koksabukta synes å være av mindre betydning. Det er imidlertid viktig å få undersøkt områdene rundt ledningstraséene på eventuelle bruddsteder. I første omgang bør det kun tas prøver av overvann i ledningstraséene.
- Lukt i Hundesund og Koksabukta opptrer sporadisk, men oppfattes ikke som et problem for beboere. Det anbefales at det tas sedimentprøver ved to stasjoner på hvert sted.
- Det er ikke indikasjoner på at avrenning fra takse- og rullebane fører til luktproblemer. Det er store mengder glykol som følger med flyene, men dette spres over et relativt stort område. Vi foreslår at det ikke legges opp til prøvetaking.
- Oljeinnholdet bør undersøkes i tillegg til relevante parametre som skal bestemme glykolforurensning. Det ble funnet olje ved flere av lokalitetene i tillegg til at det luktet "løk".

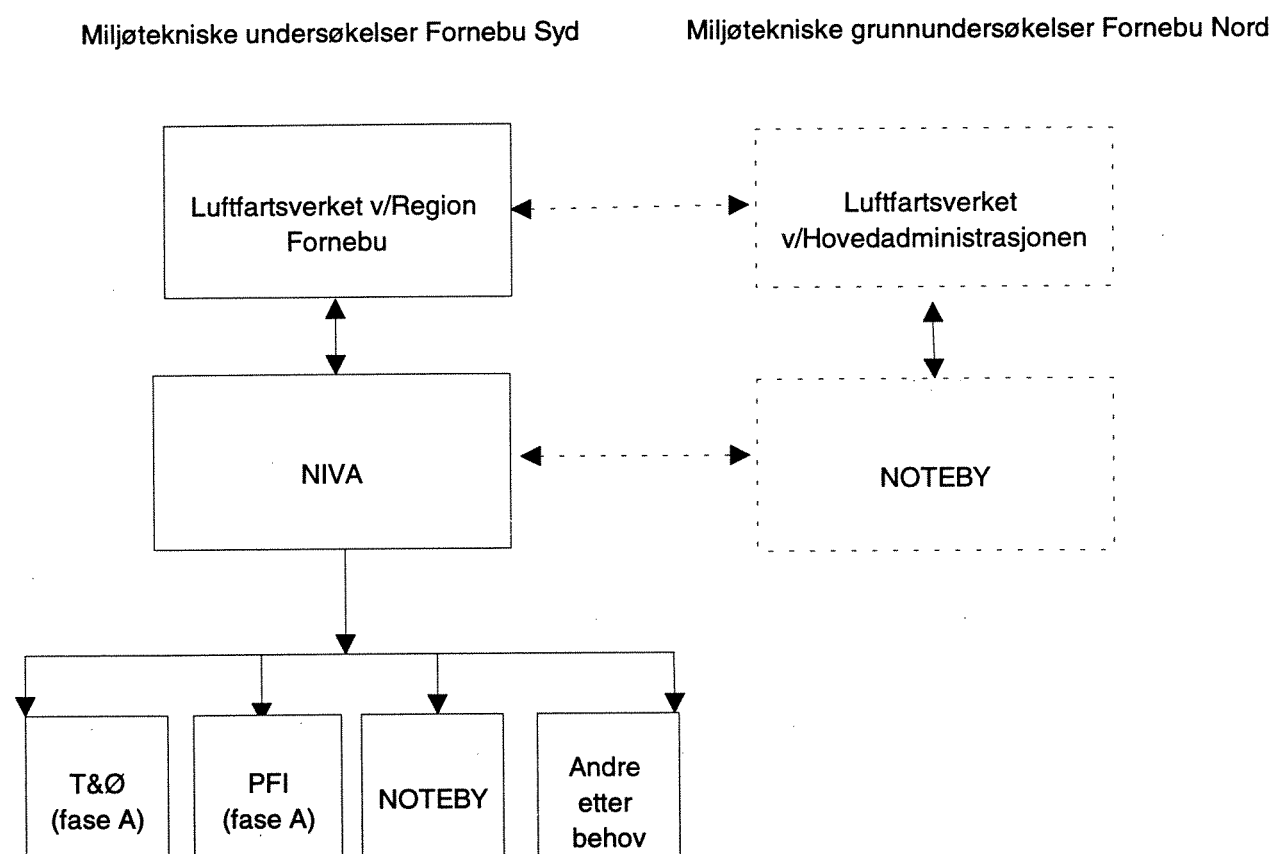
## 3.3 Gjennomføring

### 3.3.1 Aktiviteter og ansvarlige

#### Organisering

Fase 2 er som nevnt delt inn i en fase A og en fase B, og anbefales gjennomført som et samarbeidsprosjekt mellom ulike fagmiljøer.

Figur 2 viser foreslått prosjektorganisasjon.



Figur 2: Forslag til prosjektorganisasjon

Miljøundersøkelsene ved Fornebu Syd, som omfatter avisingsvæske, er forutsatt utført i tett samarbeid med NOTEBY AS, Luftfartsverket Region Fornebu og Luftfartsverket Hovedadministrasjonen. Sistnevnte har ansvaret for grunnundersøkelser ved Fornebu Nord.

Det er videre foreslått å engasjere konsulenter for løsning av spesialoppgaver, med NIVA som koordinator/prosjektleder og ansvarlig for sluttrapportering. NIVA skal også ta prøver og analysere overvann og sedimenter samt være tilstede ved øvrig feltarbeid. Analyse av jordgass vil bli utført av Papirindustriens forskningsinstitutt (PFI).

NOTEBY vil utføre prøvetaking av jord og grunnvann, og skal i tillegg vurdere grunnforhold, grunnvannsstrømmer og grunnvannsnivå. NOTEBY vil stå som ansvarlig for at feltundersøkelsen utføres i henhold til SFTs veiledning 91/01 og at kvalitetskontroll og sikkerhet er tilstrekkelig ivare tatt ved prøvetakingen.

En del områder ved Fornebu lufthavn er vernet, og før feltarbeider i fase A igangsettes kan det være nødvendig å innhente tillatelser fra Bærum kommune. Søknaden sendes fra Luftfartsverket, men grunnlagsmaterialet (inkludert beskrivelse av undersøkelsesutstyr og naturinngrep) skal utarbeides av NOTEBY.

I fase A vil det også være nødvendig å få kartlagt alle overvannsledninger, drensledninger eller spillvannsledninger som mottar eller har mottatt glykol ved lufthavnen. Status og tilstand til disse ledningene må kartlegges. Disse ledningene skal avmerkes spesielt på kartmaterieell som viser det øvrige vann- og avløpsnett. Taugbøl & Øverland (T&Ø) vil stå som ansvarlig for denne delen av oppdraget.

NIVA vil om nødvendig kontakte andre fagmiljøer for støtte i faglige vurderinger angående forurensning, spesielt m.h.t kriterier/vurderinger av forurensning i jord.

### Aktiviteter

Aktiviteter i fasene A og B er beskrevet nedenfor.

<i>Aktiviteter:</i>	<i>Fase</i>
• Forarbeider	A
• Status og tilstandsbeskrivelse av ledningsnett	A
• Prøvetaking og analyse av jordgass	A og B
• Prøvetaking og analyse av overvann	A
• Prøvetaking og analyse av sedimenter	A
• Prøvetaking av jord og analyse av jordprøver	A og B
• Brønnetablering for grunnvann, prøvetaking og analyse	A og B
• Kartlegging av grunnforhold/hydrogeologi	A og B
• Vurdering av spredningsforhold	A og B
• Vurdering og rapportering.	A og B

Både prøvetaking og analyser av jord, grunnvann og jordgass for fasene A og B vil kunne være gjenstand for endringer dersom øvrige undersøkelser skulle tilsi at dette er hensiktsmessig. Både kartlegging av spredningsforhold/grunnforhold og ledningskartlegging vil gi nye opplysninger som kan påvirke programmet i de foreslåtte rammeplanene. Programmet skal justeres fortløpende i den grad det er nødvendig og i samarbeid med oppdragsgiver og SFT.

Nøyaktig plassering av prøvetakingspunkter vil bestemmes etter at ledningsnett er gjennomgått, og etter befarung av NOTEBY i forbindelse med kartlegging av strømningsforhold-grunnforhold.

Rammeplan for feltundersøkelser for fasene A og B fremgår av tabellene 4 og 5. Dersom det er nødvendig å gjennomføre alle de beskrevne arbeider, blir det totale undersøkelsesopplegget som vist i tabell 6.



Tabell 4: Rammeplan for feltarbeider og prøvetaking i fase A

	Sondering (stk)	Poretrykk (stk)	Jordprøvetaking(porevann) (pkt)	Jordprøvetaking(porevann) (stk)	Jordgassmåling (stk)	Brønnetabling (grunnvann) (pkt)	Prøvetaking (grunnvann) (stk)	Prøvetaking (overvann) (pkt)	Prøvetaking (overvann) (stk)	Sedimentprøver (pkt)	Sedimentprøver (stk)
Overvann-Koksa								4	4		
Overvann-Hundesund								4	4		
Overvann-Rolvsbukta								4	4		
Pumpeledning, plattform					2						
Pumpeledning, gjenvanl					1						
Koksatjern/plattform	6	6	4	8	6	2	2				
Gjenvinninganlegg	2	1	1	2	5	1	1				
Lager	1		1	2	2	1	1				
Rolvsbukta	3	1	2	4	10	1	1			2	4
Koksabukta										2	4
Hundesundet										3	6
Sum	12	8	8	16	26	5	5	12	12	7	14

Tabell 5: Rammeplan for feltundersøkelser og prøvetaking, fase B

	Sondering (stk)	Poretrykk (stk)	Jordprøvetaking(porevann) (pkt)	Jordprøvetaking(porevann) (stk)	Jordgassmåling (stk)	Brønnetabling (grunnvann) (pkt)	Prøvetaking (grunnvann) (stk)	Prøvetaking (overvann) (pkt)	Prøvetaking (overvann) (stk)	Sedimentprøver (pkt)	Sedimentprøver (stk)
Overvann-Koksa					2						
Overvann-Hundesund					2						
Overvann-Rolvsbukta					2						
Pumpeledning, plattform											
Pumpeledning, gjenvanl											
Koksatjern/plattform	2		2	4		1	3				
Gjenvinninganlegg	1		1	2		1	2				
Lager							1				
Rolvsbukta	1		1	2		1	2				
Koksabukta	2		1	2							
Hundesundet	2		1	2							
Sum	8	0	6	12	6	3	8	0	0	0	0

En eventuell 3. runde med grunnvannsprøver kan være nyttig å gjennomføre dersom effekten av høy grunnvannsstand ikke er fanget opp i de to første rundene. Dette tas det stilling til etter at resultat fra 2. prøvetakingsrunde foreligger og på grunnlag av grunnvannsstandsmaalinger.

Tabell 6: Antatt omfang av feltundersøkelser og analyse, fasene A og B

	Sondering (stk)	Poretrykk (stk)	Jordprøvetaking (porevann) (pkt)	Jordprøvetaking (porevann) (stk)	Jordgassmåling (stk)	Brønnetabling (grunnvann) (pkt)	Prøvetaking (grunnvann) (stk)	Prøvetaking (overvann) (pkt)	Prøvetaking (overvann) (stk)	Sedimentprøver (pkt)	Sedimentprøver (stk)
Overvann-Koksa					2			4	4		
Overvann-Hundesund					2			4	4		
Overvann-Rolvsbukta					2			4	4		
Pumpeledning, plattform					2						
Pumpeledning, gjenvanl					1						
Koksatjern/plattform	8	6	6	12	6	3	5				
Gjenvinninganlegg	3	1	2	4	5	2	3				
Lager	1	0	1	2	2	1	2				
Rolvsbukta	4	1	3	6	10	2	3			2	4
Koksabukta	2	0	1	2	0	0	0			2	4
Hundesundet	2	0	1	2	0	0	0			3	6
Sum 1	20	8	14	28	32	8	13	12	12	7	14
Sum 2	20	8	14	28	32	8	21	12	12	7	14

Sum 1 forutsetter at det er nødvendig med to prøvetakingsrunder for grunnvann; en i hver fase. "Sum 2" viser omfanget av undersøkelsene dersom det tas en ekstra prøvetakingsrunde for grunnvannet i forbindelse med høy grunnvannsstand.

### Vurdering og rapportering

- Dokumentasjon av hvordan felt- og analysearbeid er gjennomført.
- Resultater fra litteraturgjennomgang og igangsatte forskningsprogram/forsøk
- Resultater fra kartlegging av grunnforhold og grunnvannsstrømninger skal dokumenteres, og mulige spredningsveier for glykol/merkaptaner skal beskrives med bakgrunn i prøvetakingsprogram.
- Resultater fra prøvetakingsprogram skal vurderes m.h.t hvilken potensiell forurensningsfare som eksisterer både av jord og omkringliggende resipienter. Det skal gis en foreløpig vurdering av tiltak
- Status og tilstand for eksisterende ledningssystemer som har transportert glykol eller som fortsatt transporterer glykol skal dokumenteres.
- Rapporten må også vurdere hvorvidt rester av glykol/merkaptaner i grunnen ved Fornebu kan medføre restriksjoner ved anleggsarbeider eller ved fremtidig arealbruk.
- Behovet for ytterligere undersøkelser både m.h.t å bestemme konsekvenser og for å detaljeutrede tiltak skal vurderes og begrunnes.

### 3.3.2 Tidsplan

Planlagt fremdrift fremgår av tabell 7. Dette er en generell fremdriftsplan som viser fremdrift i forhold til oppstart i en definert uke 1. Perioden fra start til endelig rapportering er 24 uker.

Tabell 7: Milepælsplan

Aktivitet	UKE																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Prosjektstart	█																								
Tilstandskartlegging, ledningsnett m/rapp.				█																					
Prøvetaking, overvann**				█																					
Analyse av overvannsprøver				█																					
Prøvetaking, sedimenter				█																					
Analyse av sedimenter				█																					
Forarbeider til jord- og grunnv. prøvetaking				█																					
Prøvetaking, jordgass						█																			
Prøvetaking, jord fase A						█																			
Analyse av jordprøver, fase A*						█																			
Brønnetablering/ prøvetakingsrunde, fase A							█																		
Prøvetaking grunnvann, 1. runde, fase A							█																		
Analyse av grunnvann, 1. prøvetakingsrunde*								█																	
Prøvetaking, jord fase B									█																
Analyse av jord, fase B*										█															
Brønnetablering, grunnvann fase B											█														
Prøvetaking, grunnvann, 2. runde fase B												█													
Analyse av grunnvann, 2. runde, fase B*													█												
Foreløpig rapport																									
3. prøvetakingsrunde grunnvann, fase B																									
Analyse av 3. prøvetakingsrunde grunnvann*																									
Endelig rapportering																									

\*Fremdriftsplanen er basert på en analyse tid på maksimum 2 uker

\*\* Forutsatt at det er overvann å prøveta i perioden

## 3.4 Prøvetakingsmetodikk, analyseparametre og analysemetodikk

### 3.4.1 Prøvetakingsmetodikk

NOTEBY vil gjennomføre prøvetakingen i henhold til SFTs veiledning 91:01.

Det er sannsynlig at prøvetakingen må gjennomføres ved odexboring. Der det ikke er steinfylling kan imidlertid skovlboring benyttes. Prøvetakingsmetodene tilpasses grunnforholdene, og de forurensningsproblemer som vi ønsker å avdekke (det finnes spesielle metoder for prøvetaking for ikke å forstyrre prøvene).

### 3.4.2 Oversikt over forurensningsparametre

Prøvene kan deles inn i 5 forskjellige grupper: Jordprøver (porevann), sedimenter, jordgasser, grunnvann og overvann. Avhengig av de stedlige forhold hvor vi har mistanke om forurensning, vil det være nødvendig å analysere på en eller flere medier og på en eller flere parametre.

I tabell 8 er det gitt en oversikt over hvilke analyser som kan være aktuelle. Metodene er kort beskrevet i kapittel 3.4.3

Tabell 8: Oversikt over analyser

Parameter	Jord/ porevann	Sedimenter	Grunnvann	Overvann	Jordgass
Glykol	J1	S1	G1	O1	
Propylmerkaptan	J2 <sup>1)</sup> og 2)	S2 <sup>1)</sup> og 2)	G2 <sup>1)</sup> og 2)	O2 <sup>1)</sup> og 2)	A1
Metylmerkaptan	J3 <sup>1)</sup> og 2)	S3 <sup>1)</sup> og 2)	G3 <sup>1)</sup> og 2)	O3 <sup>1)</sup> og 2)	A2
Dihydrogensulfid (H <sub>2</sub> S)	J4 <sup>1)</sup>	S4 <sup>1)</sup>	G4 <sup>1)</sup>	O4 <sup>1)</sup>	A3
Flyktige fettsyrer (C2-C5)			G5 <sup>1)</sup> og 3)	O5 <sup>1)</sup> og 3)	
Sulfat, SO <sub>4</sub>	J5		G6	O6	
Klorid	J6		G7	O7	
TOC	J7	S5	G8	O8	
TOT. Tørrstoff	J8	S6	G9	O9	
Gløderest	J9	S7	G10	O10	
pH	J10	S8	G11	O11	
Redokspotensial	J11	S9	G12	O12	
Olje (Total hydrokarboner)	J12 <sup>4)</sup>	S10 <sup>4)</sup>	G13 <sup>4)</sup>	O13 <sup>4)</sup>	

1) Analysene skal kun tas dersom prøvene lukter

2) Parametrene skal ikke analyseres separat, men forutsetter å fremkomme ved analyse av propylmerkaptan.

3) Analysene kan opptre ved anaerob nedbrytning av avisingsvæske. I første omgang foreslås det å analysere på vann. Analysene kuttes ut etterhvert dersom merkaptaner men ikke fettsyrer blir påvist.

4) Analysene er inkludert i merkaptananalysene dersom disse allikevel skal tas.

Glykol og de mellomproduktene som dannes er lett løselig i vann og vil i liten grad bindes til jordpartiklene.

Analyse av glykol vil indikere om det fortsatt kan dannes "løklukt". Finner vi rester av glykol vil dette også indikere at grunnen eller resipienten er blitt tilført avisingsvæske i den senere tid.

"Løklukten" ved Fornebu antas å skyldes merkaptaner, og det er mistanke om at propylmerkaptan vil være hovedbestandelen. Analyse av jordgasser samt analyser av merkaptaner i vann og jord vil derfor si noe om hvor mye "løklukt" som finnes ved hver lokalitet. Vi antar at mye av merkaptanene vil foreligge løst i vannet ved normal pH, men en del vil også frigis til atmosfæren.

Samtidig som det dannes merkaptaner vil også andre sulfidforbindelser, som f.eks hydrogensulfid, dannes. Med hensyn til jordgasser foreslår vi at det analyseres på propylmerkaptan, metylmerkaptan og dihydrogensulfid.

Flyktige fettsyrer dannes også under anaerob nedbrytning av organisk stoff, og disse syrene har en søtlig kvalmende lukt. Det er mulig at disse syrene kan tenkes å bidra til noe av lukten ved Fornebu. Vi foreslår at det kun analyseres på propylmerkaptan, hydrogensulfid og flyktige fettsyrer dersom prøvene lukter. For flyktige fettsyrer foreslår vi i første omgang at det analyseres i vann. Analysene kuttes ut dersom det ikke er sammenheng mellom "løklukt" og tilstedeværelse av disse komponentene. Analysene vil også bli vurdert for jord dersom det er en sammenheng.

Sulfat vil indikere om det fortsatt kan dannes mer sulfidgasser sammen med den mengden glykol som er igjen, og analyse av klorid i prøvene vil indikere sjøvannsinntrængning. TOC, total tørrstoff og gløderest er støtteparametre i vurderingene. Redokspotensial og pH vil også være støtteparametre, men vil også si noe om potensialet for at anarobe gasser kan dannes.

Som nevnt tidligere, anbefaler vi også at det analyseres på olje (total hydrokarboner). Denne analysen kan være inkludert i merkaptananalysene dersom disse tas.

### **3.4.3 Analysemetodikk**

Det er som nevnt lite glykol som skal til for at "løklukt" dannes. I tillegg har merkaptanene og de øvrige sulfidgassene veldig lav lukterskel, slik at lukten kjennes før den kan registreres på et måleinstrument. Enkelte av komponentene er også svært flyktige. Alle disse forholdene kompliserer analysearbeidet.

Noen av analysene benyttes sjelden i Norge og en tillempning av ordinære analysemetoder foreslås. Nedenfor er noen aktuelle analysemetoder beskrevet. De foreslåtte metodene er begrunnet ut fra deteksjonsgrense og tilgjengelig utstyr ved aktuelle laboratorier. Planlagt analysemetodikk kan være gjenstand for revisjon.

#### Analyser for glykol i vann (J1, S1, G1 og O1)

NIVA har to analysemetoder for bestemmelse av glykol, og med mest erfaring på analyse i vann. Jord og sedimentprøvene kan imidlertid ekstraheres v.h.a ultralyd, og de samme analysene kan benyttes.

#### *Metode 1 (deteksjonsgrense 2mg/liter):*

Vannet injiseres direkte på gasskromatograf med flammeionisasjonsdetektor. Glykoler bestemmes ut fra retensjonstid. Nødvendig prøvevolum er 0.01 liter.

*Metode 2 (deteksjonsgrense 0.1 mg/liter):*

Glykoler ekstraheres først med en væske ekstraktor. Deretter analyseres ekstraherte glykoler som i metode 1. Deteksjonsgrensen er 0.1 mg/liter, men nødvendig prøvevolum er 1 liter. Analysekapasiteten er begrenset p.g.a lang ekstraksjonstid, dvs 1 døgn.

Metoden er god med hensyn til deteksjonsgrense, men analysene tar lang tid og forutsetter et stort prøvevolum. Metoden vil derfor være mindre egnet for dette formålet. Det foreslås at metode 1 benyttes.

#### Analyser for merkaptaner og sulfider ("Sulphurgases") direkte i luft (A1, A2, A3)

Det finnes to hovedprinsipp som er vurdert for å bestemme disse gassene.

#### *Metode 1 (drægerrør)*

Med drægerrør bestemmes gassene ved å pumpe et bestemt luftvolum gjennom et glassrør som gir fargeutslag. Ved å koble rørene på jordspyd, kan gassen i jord bestemmes in situ.

Deteksjonsgrensen for merkaptaner er 0.5 ppm. Luktgrenseverdien for disse stoffene er imidlertid mye lavere 0.0001-0.0005 ppm. Det vil si at lukten kan kjennes lenge før drægermåleren gir utslag.

#### *Metode 2 (Bærbar gasskromatograf)*

Papirindustriens forskningsinstitutt har en bærbar gasskromatograf utstyrt med fotionisasjonsdetektor som kan benyttes i felten for analyse av luft. Analysemotodikken er innarbeidet for dihydrogensulfid og metylmerkaptan. Deteksjonsgrensen oppgitt til ca 0.1 ppm. Dette er også noe høy deteksjonsgrense i forhold til luktterskelen, men slike gassmålinger kan benyttes til semi-kvanitative bestemmelser. Det vil si metoden kan gi en indikasjon på at svovelgasser er tilstede, og det vil sannsynligvis være mulig å lokalisere de områdene hvor gassdannelse er størst.

Selv om de ovennevnte gassene vil opptre, vil sannsynligvis propylmerkaptan være dominerende og være hovedårsaken til luktproblemene. PFI har imidlertid ikke innarbeidet standarder for denne parameteren, men vil forsøke å innarbeide en metode for analyse av propylmerkaptan i ppb området. Det tas imidlertid forbehold om metoden, fordi den tidligere ikke er benyttet.

Den bærbare gasskromatografen kobles til jordspydene, og det vil foretas en tilpasning slik at falsk luft i prøvene unngås.

#### Analyser for merkaptaner og sulfider i vann og jord med Head space teknikk (J2, J3, J4, S2, S3, S4, G2, G3, G4 og O2, O3, O4)

Svovelgasser i jord og vann kan bestemmes med gasskromatograf (GC/MS) v.h.a Head Space teknikk.

Det finnes ulike detektorer for å bestemme merkaptaner, men metoden som synes å være best egnet pr i dag utføres ved SINTEF-SI. Deteksjonsgrensen i vann er 0.020 ppm for de mest flyktige forbindelsene (deriblant merkaptaner). Det opplyses at analysen kan være problematisk p.g.a stoffenes ustabilitet. Det er propylmerkaptan det i utgangspunktet skal analyseres på, men en slik metode vil også gi en oversikt over metylmerkaptan og dihydrogensulfid.

Denne metoden kan også benyttes for å analysere hydrokarboner i prøven.

### Flyktige fettsyrer C2-C5 (G5 og O5)

NIVA har innarbeidet en metode for analyse av flyktige fettsyrer i vann. Deteksjonsgrensen er 2 mg/liter. Metoden er ikke innarbeidet for jord, og dessuten er det ikke sikkert at det finnes en sammenheng mellom "løklukten" og disse flyktige fettsyrene. Dersom det skulle vise seg å være en sammenheng kan vi også vurdere å analysere på jord. Analysene i vann vil bli kuttet ut dersom det ikke finnes noen sammenheng.

### Olje (Hydrokarboner)

Det finnes flere metoder for analyse av oljer. Vi anbefaler at olje (total hydrokarboner) analyseres på GC/MS. Analysen kan inkluderes i merkaptanalysene dersom disse tas.

### Øvrige analyser

Metodene for de øvrige analyser er mer "vanlige" og vil ikke bli kommentert nærmere her.

## 4. Referanser

- Bredveld, G., Laake, M., (1992b): Biodegradation of organic pollutants in soil and groundwater. Pp.12. Chapter 15, In: Englund, J., O og Moseid, T. (eds.). Research Programme. The environment of the Subsurface, Part I: The Gardermoen Project, 1992-94. Preliminary Report: Literature Review and Project Catalogue, March 1992. The Norwegian Committee for Hydrology (NHK)
- Damhaug, H., Johansen S., Holtan H., (1991): Oslo Lufthavn Fornebu, Forebyggende tiltak, Luktproblem i området gjenvinningsanlegg-Rolvbukta, august 1991
- Damhaug, H., Trandem, J., (1992) : Oslo Lufthavn-Fornebu. Søknad om endret konsesjon for utslipp av flyavisingvæske for perioden 1992/1993-1999/2000. Taugbøl & Øverland, Luftfartsverket.
- Damhaug, H., Trandem J. (1993): Oslo Lufthavn Fornebu; Oppsamling og behandling av flyavisingvæske, målerapport for 1992/93. Taugbøl & Øverland. Luftfartsverket/Oslo Lufthavn Fornebu-Lufthavnforvaltningen.
- Efraimsen, H., (1990): Mikroskopiering av 3 slamprøver, Brev fra NIVA til Ingeniør Grøner AS, 10. juli 1990.
- From, O., (1982): Tiltak mot "løklukt" ved Fornebu
- Helland, A., Walday, M., (1992): Undersøkelse av strandsonen og bunnsedimenter i Hundesund og Koksabukta, NIVA Notat O-92047, 27.11.92.
- Källqvist, T., (1992): Toxicity tests of De-Icing Fluids, NIVA rapport O-91047
- Laake, M., Efraimsen, H., (1992): Nedbrytning av avisingvæskene Kilfrost og Clearway1 i lysimeterforsøk med jord som resipient, NIVA rapport O-91114
- Mørkved, K., Laake, M., Aasgaard, G., (1992): Biologisk rensing av avisingvæske, O-92036, NIVA Løpenr. 2737, ISBN 82-577-2109-3
- NGI, (1985): Gjenfylling av Koksatjernet, Fornebu, Grunnforhold, Oppdragsrapport/Luftfartsverket 77030-4
- SFT, (1991): Veiledning for miljøtekniske grunnundersøkelser, Veiledning 91:01, SFT
- Skaarnæs, K. (1992): Anaerobic Degradation of Deicing Chemicals, a diploma work done in cooperation between The department of Biotechnology, University of Lund, Sweden and NIVA, Norwegian Institute for Water Research, June-December 1992
- Stene-Johansen, S., (1993): Grunnundersøkelser ved Oslo Lufthavn, Fornebu, Brev fra NIVA til Luftfartsverket av 14.04.94
- Stene-Johansen, S., (1991): Kommentarer vedrørende luktproblemer på Snarøya- Rapport 1991 utarbeidet av Bærum kommune, Telefax fra NIVA til Luftfartsverket 24.07.91.



- Stene-Johansen, S., Damhaug H., (1991) Glykolavrenning ved lufthavnene - vurdering av resipienter og behov for reparerende -forebyggende tiltak-Fase 1, NIVA O-90219/ Taugbøl & Øverland O-151340, Luftfartsverket/Hovedadminstrasjonen.
- Stene-Johansen, S., og Holtan, H., (1992): Glykolavrenning ved lufthavnene - vurdering av resipienter og behov for reparerende -forebyggende tiltak-Fase 2, NIVA O-91047, Luftfartsverket/Hovedadminstrasjonen.
- Stene-Johansen, S., Holtan, H., (1992): Avisingsvæskens virkning på miljøet, Notat O-91047
- Stene-Johansen, S., Holtan, H., (1993): Forurensning av grunnen ved Fornebu Lufthavn, NIVA Notat O-91047, 15.02.93.
- Stene-Johansen, S., Holtan, H., (1992): Notat, Overvåkning av oksygenbalansen i Lysakerfjorden 1991/92, 13.10.92.
- Stene-Johansen, S., Holtan, H., (1993): Notat, Overvåkning av oksygenbalansen i Lysakerfjorden i perioden 26.03.93-19.04.93 og 26.04.93-24.05.93.
- Svensson, B.,(1994): Personlig meddelelse vedrørende nåværende drift av avisingsanlegg og historisk grunnlagsmateriell. 03.06.94.
- Svevad, O.: Personlig meddelelse vedrørende historisk grunnlagsmateriell, 03.06.94
- Ugland-Sogn, K., (1991): Rapport 1991, Luktproblemer på Snarøya, 17.06.91, Bærum kommune

## **5. Vedlegg**



---

**NIVA**



**Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2559-5