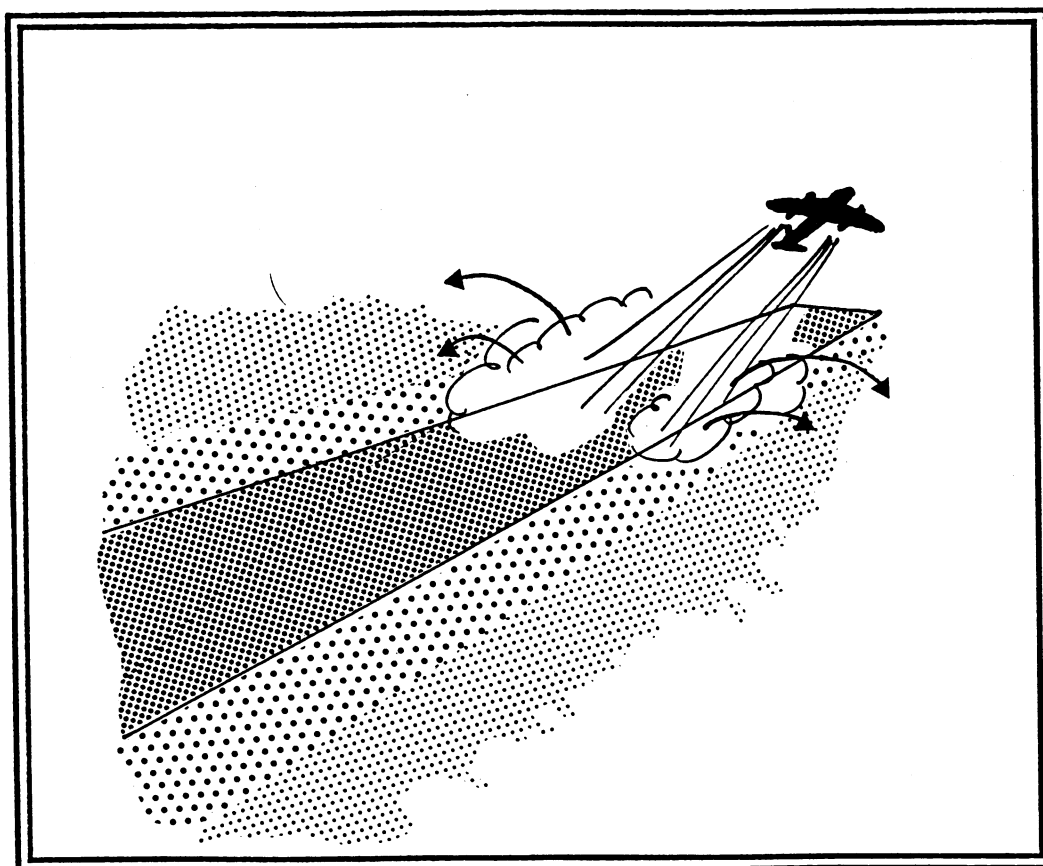


Oslo Hovedflyplass Gardermoen

# Spredning av avisningskjemikalier langs rullebaner og fordelingen av kjemikalier i ulike faser av snøsmeltingen





**Spredning av  
avisingskjemikalier langs  
rullebaner og fordelingen av  
kjemikalier i ulike faser av  
snøsmeltingen**

av:

Helen K. French, Jens-Olaf Englund og Knut-Fredrik Meyer

Institutt for jord- og vannfag, NLH

## Sammendrag

Vinteren 1994/95 ble spredningen av avisingskjemikalier langs takse- og rullebaner på Fornebu og Gardermoen kartlagt. Denne kartleggingen ble utført av Berdal Strømme AS. Spredningen ble kartlagt ved hjelp av nedbørsmålere, prøvetaking av is, snø og slaps, samt ved å måle konsentrasjoner av avisingskjemikalier i jordvann. På forskningsstasjonen Moreppen, Gardermoen, ble en mer detaljert studie av smelteforløp og konsentrasjoner av avisingskjemikalier fra belastet snø studert. Smelteforløp og konsentrasjonsfordeling ble studert ved at smeltevannsbrett ( $0.05\text{m}^2$ ) ble lagt ut under snødekket. Smeltevann ble samlet opp i 10 liters beholdere som ble lagret frostfritt. Konsentrasjoner i ulike deler av smelteperioden ble analysert.

Konsentrasjonen av propylenglykol langs taksebanen på Fornebu varierte mellom 2.5 og 5.0 g/l. Utenfor taksebanen var konsentrasjonen omlag 100 mg propylenglykol/l. Langs rullebanen var konsentrasjonene høyest nær banekanten og ut til 5-10 m. Konsentrasjonen var høyest ved 800 m rullebanelengde. Estimerte belastningstall for grøntarealene ligger mellom 0.1-1.0 kg/m<sup>2</sup>/sesong. Konsentrasjonene av acetat på grøntarealene på Gardermoen var også lave og viste en spredning ut til ca. 30 m fra rullebanekanten. De høyeste konsentrasjonene lå mellom 160 - 10280 mg acetat/l og ble målt direkte på rullebanen rett etter baneavising.

Forsøkene på Moreppen avdekket et ujevnt smelteforløp på forsøksarealet. Noe av forklaringen på dette er antagelig at smeltevannsdrenering i jord med tele samt et overdekkende islag skjer gjennom «dreneringssluk». Disse kan variere i plassering gjennom smelteforløpet. De høyeste konsentrasjonene av avisingskjemikalier ble målt tidlig i snøsmeltingsperioden og viste at mellom 60 og 100 % av kjemikaliene lekket ut med de første 50% av smeltevannet. Snø tilsatt avisingskjemikalier smeltet raskere enn «ren» snø.

Spesielle fortyningstiltak langs rullebanekant, eventuelt i toppsjiktet, vil trolig hindre negative effekter som kan oppstå ved at smeltevann med høye konsentrasjoner infiltreres i konsentrerte punkter, «dreneringssluk», tidlig i smelteperioden. En mer omfattende prøvetaking av jord for analyser av kalium like etter snøsmelting vil trolig gi et sikrere bilde av spredningsmønsteret av kaliumacetat på rullebanenes sidearealer.

# Innhold:

Sammendrag .....	3
Forord.....	5
1. Innledning .....	6
2. Bakgrunn .....	7
2.1. Utslippssøknad .....	7
2.2. Væsketyper .....	7
3. Metodikk .....	9
3.1. Tilsettingsprosedyrer .....	11
4. Resultater og diskusjon .....	13
4.1 Spredning langs rullebaner .....	13
4.1.1. Spredning av propylenglykol.....	13
4.1.2. Spredning av acetat.....	15
4.2 Smelteforløp og konsentrasjoner i smeltevannet.....	18
4.2.1. Smelteforløp .....	18
4.2.2. Kjemikaliekonsentrasjon gjennom smelteforløpet .....	22
4.2.3. Kjemikaliekonsentrasjon i is og slaps.....	31
5. Sammenfattende diskusjon og konklusjon.....	32
Litteratur.....	35

## Forord

Undersøkelsene av smelteforløp og konsentrasjonsfordeling i smeltende snø tilsatt avisingskjemikalier er utført av Institutt for jord- og vannfag (IJVF), NLH, ved forskningsstasjonen, Moreppen, Gardermoen. Berdal Strømme AS (BS) har stått for kartleggingen av spredning av avisingskjemikalier på flyplassene Fornebu og Gardermoen. Resultatene av spredningsundersøkelsene er presentert i en egen rapport, men metode og resultater er også diskutert her. Det har vært fortløpende kontakt mellom IJVF og BS slik at belastninger og prosedyrer kunne sammenholdes.

Forsøkene er for en stor del finansiert av Oslo Hovedflyplass AS, mens Institutt for jord- og vannfag, NLH, har bidratt med en viss egenandel. Forskningsparken i Ås har vært ansvarlig for koordineringen av prosjektet.

# 1. Innledning

Under Oslo Hovedflyplass A/S sitt arbeid med konsesjonssøknaden kom det fram at det var behov for ytterligere dokumentasjon angående spredning av avisingskjemikalier langs rullebaner og konsentrasjonsforløp fra smeltende snø. Et forberedende litteraturstudie ble avsluttet i desember 1994 (French, 1994).

Konsentrasjonene/ belastningene på takse- og rullebanenes sidearealer var viktig å vurdere i forhold til jordas nedbrytningskapasitet som ble undersøkt i prosjektet «Rensekapasitet i jord» (French et al., 1994). Prosjektet konkluderte med at nedbrytningen av acetat og propylenglykol i den umettede sonen raskt kom igang ved konsentrasjoner mindre enn 5 mg/l, men at belastninger over 5 g/l virket hemmende på nedbrytningen. Tre forhold er avgjørende for om avisingskjemikaliene brytes ned før de når grunnvannet; nedbrytningskapasitet, -hastighet og transporthastighet gjennom den umettede sonen. Jordas vannmetningsgrad og infiltrasjonsforløpet avgjør transporthastigheten.

Konsentrasjonen av avisingskjemikalier har betydning for nedbrytningen, derfor er fortykning som følge av spredning langs rullebaner bestemmende for om stoffene vil brytes ned i den umettede sonen. Spredningen av avisingskjemikalier langs rullebaner er lite undersøkt, men ble forsøkt kartlagt av Berdal Strømme AS, vinteren 1994/95. Metoder og resultater fra denne kartleggingen er diskutert under kapittelet «Resultater og diskusjon».

Fordi avisingskjemikalier tilføres i vinterhalvåret og dermed blandes inn i snødekket, er det viktig å vite hvordan snøsmeltingen skjer og hvordan kjemikaliene fordeler seg i smeltevannet. I «Sur nedbør prosjektet» fant man at utlekkingen av ulike ioner fra snø først fant sted under snøsmeltingen og at konsentrasjonen i de første 30% av smeltevannet var 2.0 - 2.5 ganger høyere enn konsentrasjonen i hele snøpakken (Johannesen og Henriksen, 1978). Denne rapporten beskriver undersøkelser knyttet til smelteforløpet av ren snø og snø tilsatt avisingskjemikalier, utført vinteren 1994/95 på forskningsstasjonen Moreppen, Gardermoen.

## 2. Bakgrunn

### 2.1. Utslippssøknad

I utslippssøknaden (Anon., 1994) er det beregnet et årlige utslipp på 83 tonn acetat og maksimum 42 tonn propylenglykol direkte til grunnen langs rullebanene. Tabell 2.1 gir en oversikt av hva disse mengdene vil gi av belastninger på sidearealene ved ulike spredningsavstander fra rullebanen. Beregningene er basert på en total rullebanelengde på 5300 m uten oppsamling til renseanlegg, og at stoffene spres jevnt over hele arealet på begge sider av rullebanen.

*Tabell 2.1. Arealbelastning av ulike avisingskjemikaliekomponenter på rullebanens sidearealer ved ulike spredningsavstander fra rullebanekant.*

Avisings- kjemikalie:	Årlig utslipp til grunnen:	1 m (kg/m <sup>2</sup> /år)	5 m (kg/m <sup>2</sup> /år)	10 m (kg/m <sup>2</sup> /år)	15 m (kg/m <sup>2</sup> /år)	30 m (kg/m <sup>2</sup> /år)
Acetat	83 tonn	7.98	1.60	0.798	0.532	0.266
Propylenglykol	42 tonn	4.04	1.07	0.404	0.269	0.135

### 2.2. Væsketyper

To typer avisingsvæsker med monopropylenglykol som hovedkomponent benyttes ved avising av fly:

#### Type I (Kilfrost DF)

Denne flyavisingsvæsken brukes for å fjerne snø og is. Produktet består av 80 % monopropylenglykol, 19.5 % vann og 0.5 % korrosjonsinhibitor. Den blandes med vann før bruk, slik at væsken som påføres flyene vanligvis inneholder ca. 40 % monopropylenglykol og 60 % vann.

#### Type II (Kilfrost ABC)

Denne brukes for å hindre isdannelse (anti-isingsvæske). Produktet består av 50 % monopropylenglykol, 45 % vann og 5 % fortykningsmidler, korrosjonsinhibitor ol.



Avising med Kilfrost foregår med mobilt utstyr på avisingsplattform. Væskemengden som påføres varierer med størrelsen på flyet og værforholdene. Det er særlig ved snø/sludd at forbruket pr. fly blir stort. Etter påføringen renner det meste av Type I væsken ned fra flyene og samles deretter opp for gjenvinning. Andelen som blir igjen på flyet idet det forlater avisingsplattformen er antatt å være ca 25 %. Påføring og forbrukte mengder er ytterligere beskrevet av Berdal Strømme AS (Frogner, 1995).

For avising av rullebaner brukes Clearway 1, med kaliumacetat som hovedkomponent:

Clearway 1 er en vannløsning bestående av ca. 50 vektprosent kaliumacetat og 1-2 % tilsetningsstoffer.

Før utlegging av Clearway 1 skrapes og børstes rullebanen fri for is og løse partikler. Tykkelse av isdekke og banetemperatur etter forbehandling bestemmer bruk av Clearway på rullebanen. Normal dosering er fra 25 til 35 ml Clearway 1 per m<sup>2</sup> i en bredde fra 36 til 40 m. Under optimale betingelser med tynt flekkete isdekke vil smeltingen skje i løpet av minutter. Ved tykkere isdekke legges Clearway 1 ut i flere omganger til en når et isfritt dekke. Det er viktig å merke seg at det ikke blåses eller børstes etter utlegging, og Clearway 1 blir ikke benyttet under snøvær. Under snøvær blir rullebanen strødd med kalksand. Clearway 1 fester seg i porer i asfalten og hindrer isdannelse på rullebanen så lenge konsentrasjonen av avisingskjemikaliet er over en kritisk grense (Frogner, 1994).

### 3. Metodikk

Undersøkelser av smelteforløpet og fordelingen av avisingskjemikaliene i ulike faser av smelteforløpet ble utført ved lysimetergropa på forsøksstasjonen Moreppen som ligger ca. 1 km nord for eksisterende rullebane på Gardermoen (fig. 3.1.).

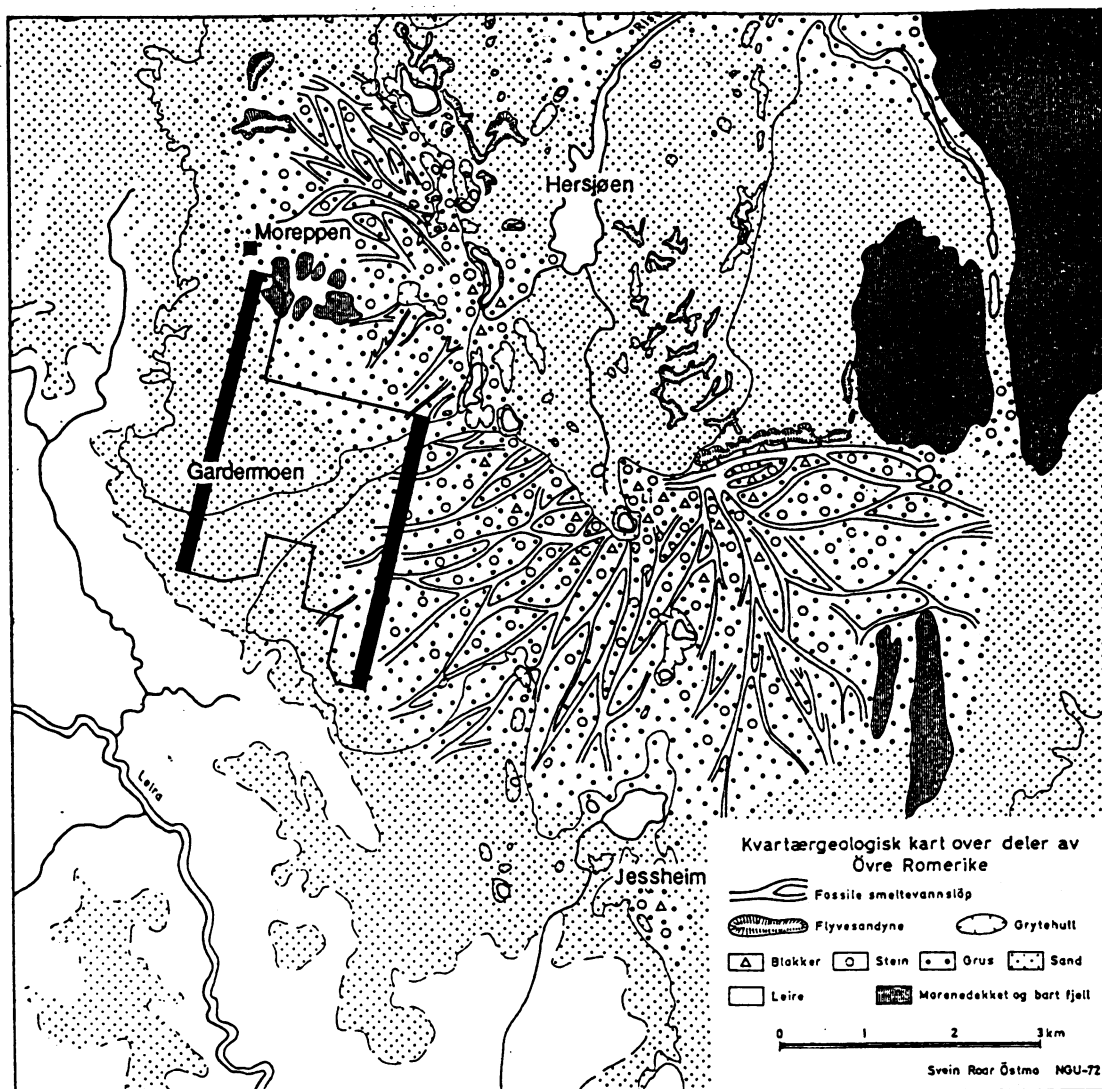


Fig. 3.1. Kart over Gardermoen. Ny rullebane er skissert. Forskningsstasjonen, Moreppen, er plassert nord for eksisterende rullebane.

Ti smeltevannsbrett ble installert på overflaten langs de to kortsidene av lysimetergropa (fig. 3.2.). Platene var 20 x 25 cm, dvs. med et areal på 0.05 m<sup>2</sup>. Brettene bestod av en metallplate i rustfritt stål. De hadde 2 cm høye kanter og et fall på 1:24 ned mot en åpning på 1 cm i

diameter. Smeltevannet ble ledet mellom smeltevannsplatene inn til gropa gjennom kobberør som lå i en ca. 50 cm dyp grøft. En varmekabel ble plassert sammen med kobberørene i grøfta (i tilfelle gjenfrysning av rørene). Brettene og rørsystemet ble installert i november 1994. Kobberørene ledet smeltevannet fra brettene ned i den frostfrie lysimetergrova. Hvert rør ledet vannet ned i 10 l store dunker. For å konservere smeltevannsprøvene den første tiden ble 25 ml av en 2 M løsning saltsyre tilsatt dunkene. I april ble is og slaps som lå på brettene prøvetatt og analysert for de ulike komponentene.

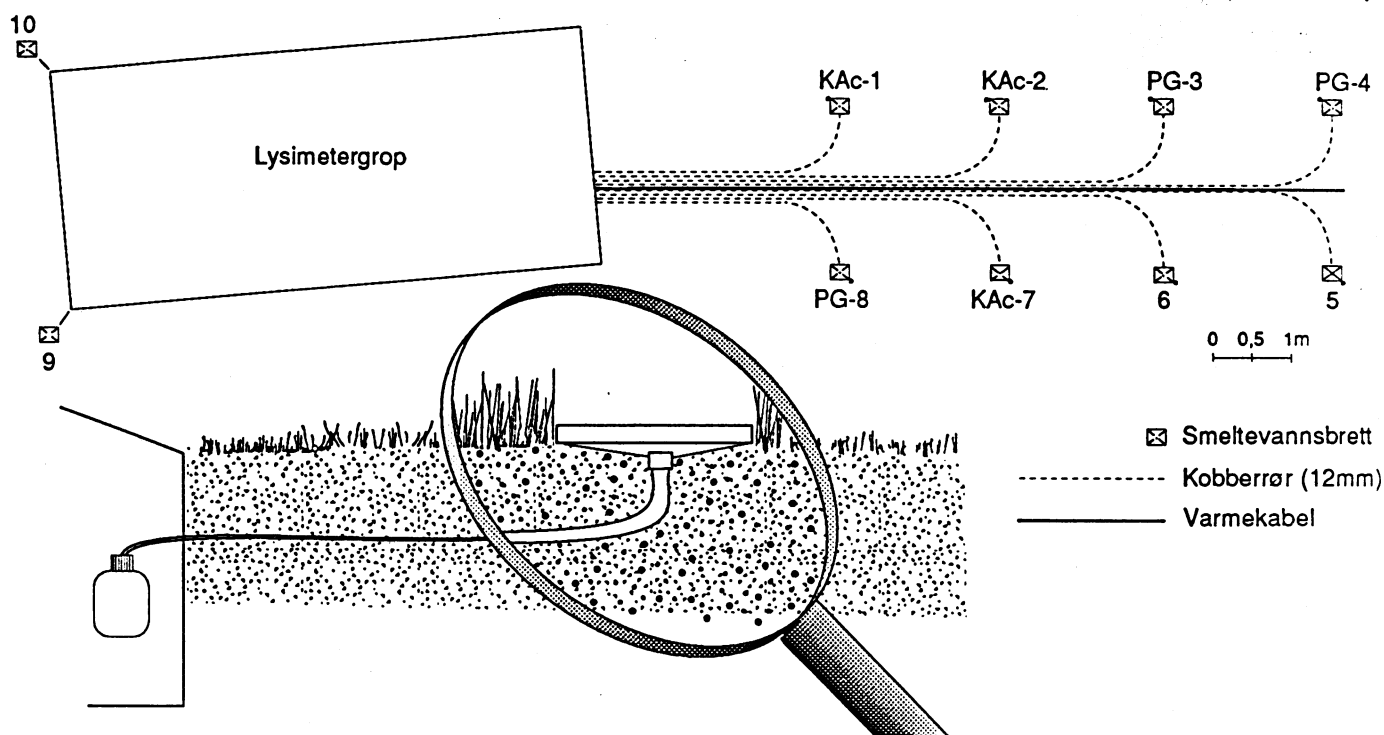


Fig. 3.2. Prinsippkisse av oppsamlingssystemet for avisingskjemikalier benyttet i forsøket. Ti smeltevannsbrett ble plassert langs kortsidene av lysimetergrova. Kaliumacetat (KAc) og propylenglykol (PG) ble tilsatt som vist i figuren. Hvert Brett var  $20 \times 25 \text{ cm}^2$  med 2 cm høye kanter.

### 3.1. Tilsetningsprosedyrer

To ulike prosedyrer ble benyttet ved tilsetning av avisingskjemikalier til snøen over smeltevannsplatene:

1. Den ene metoden søkte å etterlikne forholdene på en flyplass nemlig at avisingskjemikalier blir blandet inn i snømassene. I forsøkene ble overflaten av snødekket tilsatt kaliumacetat og propylenglykol ved hjelp av en pesticidespreder. Natriumklorid ble tilsatt sammen med avisingskjemikaliene for å kunne sammenlikne oppfangingsandelen av de to komponentene. Det ble benyttet en høy og en lav belastning av de to avisingskjemikaliene. Det belastede arealet var på 1 m<sup>2</sup>. Denne metoden ble benyttet for brett 1- 4.
2. Den andre tilsetningsmetoden var lik den som ble benyttet i lysimeterforsøket, (French et al., 1994). To sett med nedfrosne issøyler ble tilsatt under snødekket over 2 av smeltevannsplatene (brett 7 og 8). De nedfrosne issøylene inneholdt hhv. kaliumacetat og propylenglykol (fig. 3.3). Issøylene hadde en diameter på 68.6 mm og en lengde på 1 m. Hvert av brettene ble tilsatt to issøyler.

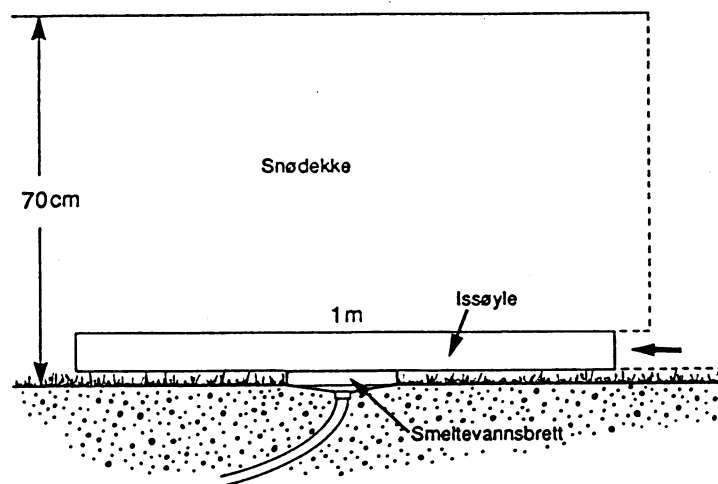


Fig. 3.3. Prinsippskisse for plassering av nedfrosne issøyler over smeltevannsbrett.

Tilsetningsprogram for kjemikalier til snø er vist i tab. 3.1. Smeltevannet ble veid og prøvetatt f.o.m. 28.03.95 og ca en gang pr. uke t.o.m. 10.05.95. Snødybden ved de ulike brettene ble også registrert. Skjematisk fremstilling av belastninger på de ulike brettene er vist i tab. 3.2. Brett 5, 6, 9 og 10 inngår ikke i tabellen fordi kjemikalier ikke ble tilsatt over disse brettene.

*Tabell 3.1. Dato for tilsetting av kjemikalier over de ulike smeltevannsbrettene.*

*Smeltevannsbrettene er merket med nummer og tilsatt kjemikalie, kaliumacetat (KAc) eller propylenglykol (PG).*

Brettnr.\ Dato:	09.02.95	02.03.95	28.03.95
KAc -1	x	x	
KAc -2	x	x	
PG -3	x	x	
PG -4	x	x	
KAc -7			x
PG -8			x

*Tabell 3.2. Belastning av kaliumacetat (KAc), acetat (Ac<sup>-</sup>), og kalium (K<sup>+</sup>), propylenglykol (PG), natrium (Na<sup>+</sup>) og bromid (Br<sup>-</sup>) over de ulike smeltevannsbrettene oppgitt som belastning pr. m<sup>2</sup> og belastning pr. brett.*

Brett-nr.	PG (g/m <sup>2</sup> )	PG (g /brett)	KAc (g/m <sup>2</sup> )	K <sup>+</sup> (g /brett)	Ac <sup>-</sup> (g/brett)	Na <sup>+</sup> (g/brett)	Br <sup>-</sup> (g /brett)
KAc-1			1332	25.97	39.29	1.227	
KAc-2			166.5	3.25	4.91	0.042	
PG-3	100	5				0.020	
PG-4	800	40				1.200	
KAc-7			637	12.70	19.17	0.333	1.158
PG-8	462	23.13				0.617	2.143

## 4. Resultater og diskusjon

### 4.1 Spredning langs rullebaner

#### 4.1.1. Spredning av propylenglykol

Spredningen av propylenglykol på Fornebu ble undersøkt av Berdal Strømme AS (Frogner, 1995). De samlet opp og analyserte nedfall av snø fra snøbrøyting, direkte nedfall fra fly, samt nedfall som skyldtes oppvirvlet stoff fra bane. Ukentlige målinger ble gjennomført i nedbørsprøver samlet opp i 40 nedbørsmålere plassert langs takse- og rullebanene. Analyser ble også tatt av 7 snø/slaps prøver fra taksebanen.

Kartleggingen viste at konsentrasjonen av propylenglykol på taksebanen avtok lineært fra avisingsplattformen til starten på rullebanen. Konsentrasjonen av propylenglykol i snø/slaps i på taksebanen var 5.0 g/l nær plattformen. Etter kjørte 400 meter på taksebanen, var konsentrasjonen halvert. Utenfor taksebanen var propylenglykolkonsentrasjonen i størrelsesorden 0.1 g/l. Målepunktene var lokalisert 50 og 100 meter fra avisingsplattformen, med en avstand fra taksebanekanten på 5 og 15 meter.

Langs sør-østre del av rullebanen var konsentrasjonene høyest nærmest kanten av banen (5-10 meter fra banekant). Den avtok med økende avstand fra banen. Ved 30 og 50 meters avstand fra banekanten var konsentrasjonene gjennomgående lave. Kartleggingen viste videre at konsentrasjonene var høyest omkring 800 meter (600-1000 meter) fra rullebanestart. Høyeste målte konsentrasjoner av ukesprøver var i størrelsesorden 1 g/l (1 ‰). Høyeste målte gjennomsnitt av ukesprøver var i størrelsesorden 0.5 g/l. Den maksimale døgnkonsentrasjonen var i størrelsesorden 1 - 2 g/l.

Volum nedfall var høyest nær banekanten og avtok med økende avstand fra banen. Forskjellen mellom mengde propylenglykol akkumulert nær banekanten og i en viss avstand fra banekanten var dermed relativt større enn tilsvarende forskjeller i konsentrasjoner. Estimerte belastningstall basert på maksimale ukesverdier ga akkumulerte maksimaltall for sesongen 1994/95 på 0.1-1.0

kg/m<sup>2</sup>/sesong. Gjennomsnittlige verdier lå betydelig lavere (Frogner, 1995). Dette belastningsintervallet er i samsvar med teoretisk beregnede belastninger i tabell 2.1.

Tålegrensene oppgitt i utslippssøknaden kan diskuteres, spesielt i forhold til rensekapasiteten i et naturlig jordsmonn. Derfor bør man søke å oppnå lavest mulig belastning på grøntarealene over uforstyrrede jordprofil. Forbruket av propylenglykol på Fornebu sesongen 1994/95 var 975 tonn. Beregnet belastning på Fornebu for sesongen 1994/95 er basert på dette forbruket. Utslippssøknaden for Gardermoen oppgir et gjennomsnittlig forbruk på 1.300 tonn propylenglykol pr. sesong (Frogner, 1995). Det økte forbruket samt at det ikke er drenerende asfalt på Gardermoen slik som på Fornebu, vil trolig gi noe høyere maksimalverdier på den fremtidige hovedflyplassen. De estimerte belastningene ligger under tålegrensene som angis i utslippssøknaden, likevel bør man forsøke å samle opp vann ev. anlegge spesielle jordrenseanlegg der de høyeste belastningene fra rullebanen forventes å oppstå.

Den gjennomførte kartleggingen ga ikke grunnlag for å forkaste fordelingstallene (2 % utslipp i banenære områder og 5 % diffus spredning) som utslippssøknaden er basert på. Kartleggingen viste imidlertid at arealet langs banene hvor 2 % andelen spres, er større enn tidligere antatt. Så lenge vi kun ser på nedfall av propylenglykol og ikke direkte avrenning, indikerer kartleggingen videre at andelen som ble spredt i banenære områder var mindre enn 2 % av totalt forbruk (Frogner, 1995). Belastningsmengdene presentert i tab. 2.1., som baserer seg på denne fordelingen, ser derfor ut til å være realistiske.

I NIVA's undersøkelser av overvann fra flyplassen på Gardermoen i perioden 1986/87 fant man maksimale konsentrasjoner på 52.78 g propylenglykol /l. Den maksimale døgn-avrenningen, som opptrådte 11.04.87 var på 4798.4 kg propylenglykol (Moxnes & Stene-Johansen, 1987). Dette var før propylenglykol ble samlet opp og sendt til gjenvinning. Den nevnte kartleggingen foretatt av Berdal Strømme AS (Frogner, 1995) tyder på en betydelig forbedring siden 1987.

Ved den finske flyplassen Helsinki-Vantaa, ble BOD<sub>7</sub> verdier målt i forurenset overvann som inneholdt både glykol og urea. Målinger i 5 ulike utslippspunkter gjennom 4 vintersesonger viste en variasjon på 1,8 - 46,9 mg/l (Anon., 1992).

#### 4.1.2. Spredning av acetat

Spredningen av acetat kan skje på flere måter. Nedbør i form av regn kan vaske ut acetaten på rullebanen for så å renne ut over rullebanekanten. Dette kan forårsake isdannelse langs lysrekker og banekant. Forurenset is skrapes av rullebanene og kastes 0 - 7.5 m ut fra banekanten, mens snøfresing kan gi en spredning på 30 - 40 m.

Spredningen av acetat på Gardermoen vinteren 94/95 ble kartlagt av Berdal Strømme AS. Snøprøver i området 1 - 30 m fra rullebanekanten ble analysert for innhold av acetat. Jordprøver, totalt 22, ble tatt i ulike avstander fra rullebanekanten. De høyeste konsentrasjonene av acetat opptrer sannsynligvis dersom det regner like etter utleggingen av Clearway 1. Prøver av overflatevann tatt 2 dager etter avising etterfulgt av nedbør viste svært lave konsentrasjoner av acetat (Frogner, 1995). Den lave konsentrasjonen kan skyldes at store mengder overflatevann allerede hadde drenert av banen.

Målinger gjort på isslaps langs lysrekkene rett etter baneavising gav konsentrasjoner av acetat fra 160 til 10280 mg/l. Det ble observert opphopning av is langs lysrekkene på rullebanen og ut mot rullebanekanten. Med unntak av en vannprøve var innholdet av acetat i is, vann og snø langs lysrekkene og utenfor rullebanen lavere enn 2 mg/l (Frogner, 1995). Svært lave konsentrasjoner av acetat i is langs rullebanene kan skyldes at det skjer en utfrysning av acetat i selve isvolumet. Prøvene ble tatt fra noen timer til dager etter spredning av Clearway 1. Dette kan ha medført at noe acetat «unnslett» prøvetakingen. Outcalt et al. (1989) viste at jord under innfrysing kan karakteriseres av islinser og mobilt porevann. Forurensninger i vannfasen gir et frysepunkt lavere enn 0° C. Ved kombinerte målinger av temperatur og elektrisk potensiale (indirekte mål på ionekonsentrasjon) i de øverste 15 cm av et jordprofil ble effekten av frysing og tining undersøkt. Man fant at to prosesser forekom; en initiell innfrysingsfase der isformasjonen ikke var tett nok til å avvise ionerikt vann og et kaldere regime der forløpet for temperatur og ionekonsentrasjon fulgte hverandre (Outcalt et al., 1989). Fordi det kan være vanskelig å fange opp pulsen med høyest konsentrasjon bør man gå ut i fra at konsentrasjoner målt i isslaps direkte etter avising (160 - 1028 mg Ac/l) også kan opptre langs rullebanekanten under enkelte episoder. Det vil være fordelaktig å anlegge spesielle fortynningskonstruksjoner for å redusere de antatt høye belastningene langs banekanten.



Teledannelsen vinteren 94/95 startet i desember og det var tele i bakken ut april. Områdene 1 m fra rullebanekanten ble tidligst snøfrie (5 april), mens områder 30 m fra rullebanekanten ble snøfrie først i begynnelsen av mai. Dette medførte at telen gikk raskest i overflatelaget (10 - 15 cm) nær rullebanekanten og holdt seg lenger med økende avstand fra rullebanekanten. En stor andel av grus/sand langs rullebanekanten bidro trolig til den raskere smeltingen av telen nær rullebanekanten. Resultatene viser at konsentrasjonene av acetat i jordvannet fra 0 - 30 m fra rullebanekanten var svært lave. De varierte fra mindre enn 2 mg/l til 69 mg/l og økte med økende avstand fra rullebanekanten (Frogner, 1995). En spredning av acetat ut til 30 m fra rullebanekanten kan derfor se ut til å være sannsynlig, altså gi gjennomsnittlige belastningsmengder på ca. 0.266 kg/m<sup>2</sup>/år (tab. 2.1.).

Ved Arlanda flyplass er det gjennomført enkeltundersøkelser av spredningen av avisingskjemikalier langs rullebanen. I 1989 ble snøprøver tatt i ulike avstander fra rullebanen. Snødekke var da ca. 20 cm tykt. Urea ble brukt som avisingskjemikalie på dette tidspunktet og spredningsteknikken var lik den som er beskrevet for norske flyplasser. Total nitrogenkonsentrasjon ble målt i snøen. Konsentrasjoner og avstander fra banekanten var som følger: 110 mg/l ved banekanten, 230 mg/l ved 10 m, 15 mg/l ved 20 m og 12 mg/l ved 30 m (P. Vickström, pers med. 1994). Fordi vannmengdene og mengde urea brukt på rullebanen i den foregående perioden ikke er kjent, er det vanskelig å bruke disse tallene kvantitativt. De må ses på som relative verdier for spredning ved ett bestemt tilfelle. Blant annet vil vindforhold ha stor betydning for fordelingen av avisingskjemikaliene.

Vannprøver fra rullebaner ved Manchester Airport inneholdt konsentrasjoner av glykol i størrelsesorden 100 mg/l på typiske vinterdager, men konsentrasjoner opp til 1000 mg/l ble målt (Anon., 1990).

Ved Göteborg-Landvetter Flygplats ble det målt kaliumkonsentrasjoner i overflatevann i området 2.2 - 12.0 mg K/l og COD verdier mellom 10 - 70 mg COD/l. Dette tilsvarer 5.5 - 30.0 mg KAc/l. Gjennomsnittlig forbrukt kaliumacetatmengde på rullebanen var 15 g/m<sup>2</sup>, men 30 g/m<sup>2</sup> ble benyttet ved enkelte tilfeller. Totalt forbruk varierte mellom 3 - 120 tonn per måned (Helin, 1992).

I en vurdering av kalsiummagnesium-acetat (CMA) til bruk som avisingsmiddel ved amerikanske motorveier, fant man at konsentrasjonene av CMA varierte fra 100 mg /l i en "normal" vannsprut og opp til 5000 mg /l ved ekstremtilfeller ved en årlig belastning på 6 kg/m veibane (Anon., 1988). Til sammenlikning ble det benyttet en dosering på 10 - 18 g acetat /m<sup>2</sup> på Gardermoen. Clearway 1 ble lagt ut 12 ganger i løpet av vinteren 1994/95 (Frogner, 1995). Dersom vi regner med en rullebanebredde på Gardermoen på 38 m gir dette et årlig forbruk på 4.56 - 8.21 kg/m rullebane. Undersøkelsene skulle derfor være gjort under forhold sammenliknbare med forholdene funnet på Gardermoen. Resultatene fra andre flyplasser kan gi en indikasjon på variasjonen man kan forvente å finne på Gardermoen.

Berdal Strømme AS fant at acetatkonsentrasjonene i jordvann økte med økende avstand fra rullebanekanten. Dette er overraskende sett på bakgrunn av resultatene fra Arlanda (P. Vickström, pers med. 1994). I en annen svensk undersøkelse av natriummengden i jord langs veier fant man lavere mengder natrium nær kanten av veien enn ca. 2 m lenger ut. Dette ble forklart med at man hadde størst avrenning nær veibanen, også av «rent» vann, og at dette vasket vekk mer av natriumet (Bäckman et al., 1979). Dette kan være en av forklaringene på økningen i mengde acetat med økende avstand fra rullebanen. Den økte mengden acetat med økende avstand fra rullebanen kan også skyldes tilfeldigheter og at antall jordprøver ikke er representativt for den virkelige fordelingen av belastningene. En mer omfattende jordprøveundersøkelse av kaliummengden i jord vil kunne klarlegge spredningsmønsteret fordi kalium adsorberes og «konserveres» i jord. Planteopptak kan påvirke kaliummengden i jord, så derfor bør undersøkelsen gjøres før vekstsesongen starter. Dersom drenering skjer gjennom konsentrerte punkter «dreneringssluk» vil det være nødvendig med et langt større antall jordprøver for å unngå tilfeldigheter i resultatene. Prøvetakingshyppighet og tidspunkt i forhold til utlegging av Clearway 1 kan ha medført at avrenningen med høyest konsentrasjon ikke er registrert. En kan derfor ikke forkaste hypotesen om at acetatbelastningen på sidearealene avtar med økt avstand fra rullebanekanten.

## 4.2 Smelteforløp og konsentrasjoner i smeltevannet

### 4.2.1. Smelteforløp

Generelt kan smelteforløpet beskrives som uensartet over forsøksarealet. Noen brett hadde store pulser med smeltevann enkelte perioder, men svært liten tilførsel i andre perioder. Andre brett fanget totalt sett opp små mengder smeltevann. Snødybden før smelting var 70 cm, noe som tilsvarte et vannvolum på 14 liter over hvert brett. På grunn av fordampning var det forventet en noe lavere oppsamlet smeltevannsmengde. I en laboratorieundersøkelse utført av NIVA fant man at kun 5-10 % av propylenglykolen i et smeltende snøvolum sublimerte (dvs. fordampet direkte fra snøen) i løpet av 2- 4 mnd. lagring (Moxnes & Stene-Johansen, 1987). Ut i fra denne undersøkelsen var det forventet en relativt stor oppsamlingsandel av kjemikalier. Totale smeltevannsmengder og oppfangingsandelen av tilsatt propylenglykol og acetat er vist i figur 4.1.

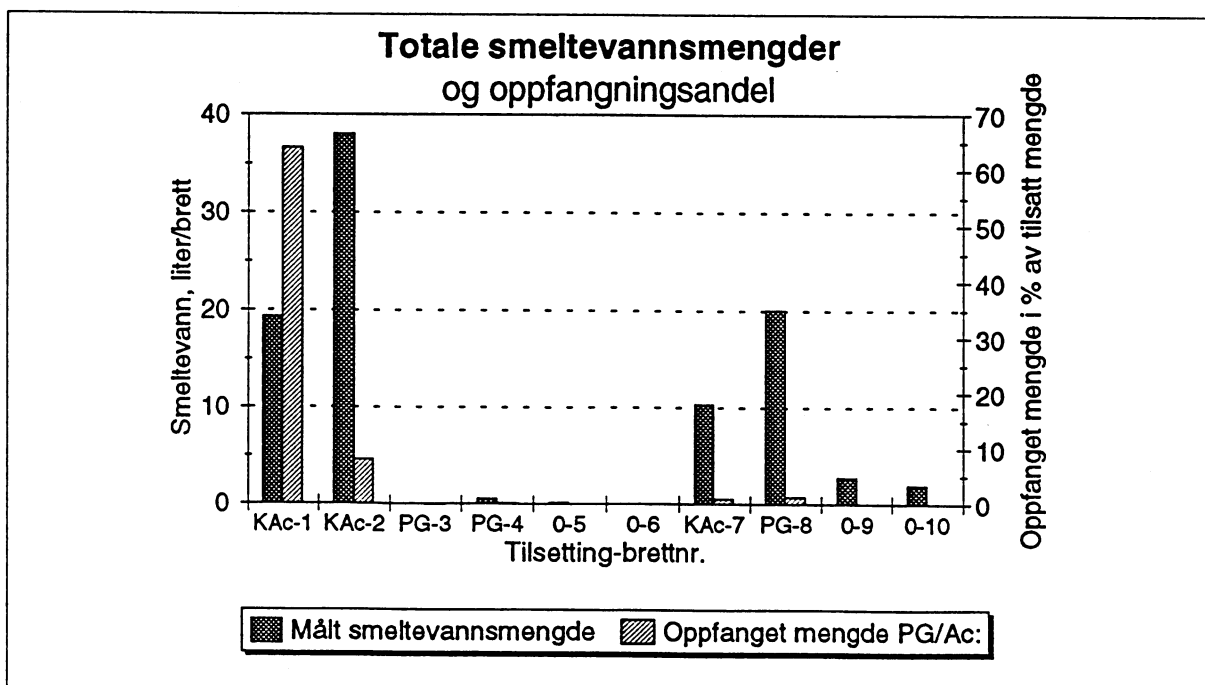


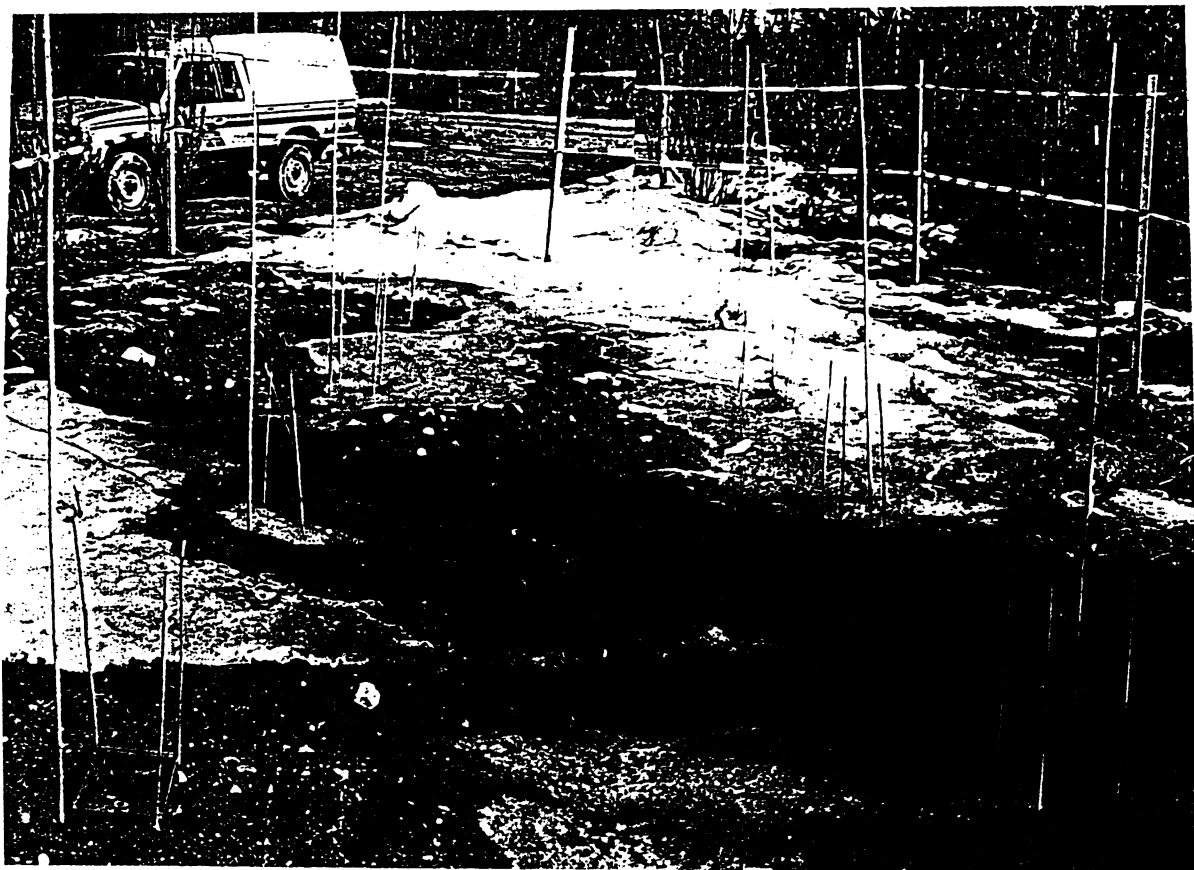
Fig. 4.1. Totale smeltevannsmengder samlet opp fra hvert brett. Oppfanget mengde propylenglykol og acetat i % av tilsatt mengde over hvert brett er også vist. Tilsetningskjemikalie og brettnummer er vist langs x-aksen, kaliumacetat (KAc), propylenglykol (PG) og 0 (ingen tilsetning).

Det så ut til at den totale mengden oppsamlet vann fra brett 7 og 8 var noe lavere enn den fra brett 1 og 2. Dette kan ha sammenheng med tilsetningsmetoden. Et større snøvolum ble tilsatt kjemikalier og dermed påvirket over brett 1 og 2 (tilsetning i snø, metode 1) enn over brett 7 og 8 (tilsetning som issøyler under snødekket, metode 2). Det var stor variasjon i oppsamlet mengde smeltevann. Brettene lengst unna lysimetergropa, brett 3 -6, hadde imidlertid gjennomgående lavest oppsamlingsandel. Årsaken til dette kan være at varmekabelen ikke ga tilstrekkelig varme til å smelte eventuelle isplugger i tilførselsrørene. Den ujevne fordelingen kan også skyldes at infiltrasjon av smeltevann foregikk i enkelte «sluk». Disse «slukene» kan ha oppstått som følge av ujevnheter i topografi, vegetasjon, samt ulik tykkelse og porøsitet av islaget under snøen. Smeltende snø som lå på brettene kan ha drenert til slike «sluk». Dersom «slukene» lå utenfor selve brettet ville dette ha ført til lav oppfangingsandel. Vekslede temperaturer gjennom vinteren og i snøsmeltingsperioden (mars - mai) ga tele i jorda. Nittende april kunne telen registreres fra 10 cm dyp og noe nedover. Langs rullebanene på Gardermoen ble tele registrert fra desember til april (Frogner, 1995). Antagelig er denne teledannelsen mest virksom i nærheten av snøfrie flater som f.eks. rullebaner. Telen førte til at et islag ble dannet på markoverflaten under snøsmeltingen. Smeltende vann fra snøoverflaten rant gjennom snølaget og frøs igjen ved markoverflaten. Trolig har enkelte dreneringshull i isen blitt dannet og dette kan ha ført til at smeltevann rant av på overflaten av dette islaget. Et slikt forløp kan virke sannsynlig ut fra tilstanden omkring smeltevannsbrett 1 - 8, fotografert 3. mai (fig. 4.2).

Det var en klart lavere oppsamlet smeltevannsmengde fra brettene uten tilsetning av avisingskjemikalier enn fra brettene med tilsetning av avisingskjemikalier, bortsett fra brett 3 og 4. Det er naturlig at smeltevannsmengden øker ved tilsetning av avisingskjemikalier ettersom smelting av snø fremskyndes av disse kjemikaliene. Den store variasjonen i oppsamlet mengde smeltevann, samt lav oppfangingsandel av tilsatte kjemikalier, utgjør et usikkerhetsmoment i tolkningen av resultatene.

Med unntak av brett nr. 4 så det ut til at de høyeste kjemikaliebelastningene ga raskest avsmelting (fig. 4.3, A). For brett 1,7 og 8 hadde mer enn 90 % av smeltevannet drenert gjennom systemet etter ca. 20 døgn (dvs. 17. april). For de øvrige brettene skjedde dette mellom 27 og 40 døgn (dvs. mellom 24. april og 7. mai). Formen på smeltevannskurven var lik

for de fleste av brettene, med relativt store pulser innen et avgrenset tidsrom. Korrelasjonen mellom temperatur, innstråling og smelting er vanligvis stor ( Anon., 1956). Denne var ikke like klar ved vurdering av tilførselen av smeltevann i isolerte punkter (infiltrasjonen). Sammenhengen mellom temperatur og reduksjon i snødyb er vist i fig. 4.3, B.



*Fig. 4.2. Snø-/ isdekke omkring smeltevannsbrett 1 - 8, fotografert 3. mai -95.*

Best sammenheng mellom reduksjon i snødyb og kumulative smeltevannsmengder, dvs. økning i totale smeltevannsmengder ved minkende snødyb, ble funnet i brettene med lavest eller ingen belastning med avisingskjemikalier (brett 2, 3, 5, 9 og 10). Det at man fortsatt hadde et snødyb på ca 60 cm da 90% av oppsamlet smeltevannsmengde var oppnådd er en indikasjon på at

smeltevann har drenert gjennom ulike «sluk» som har variert i plassering gjennom smelteperioden.

Permeabiliteten i smeltende snø er undersøkt av bl.a. Gerdel (1954), Colbeck & Davidson (1973), Dunne et al. (1976), Denoth et al. (1978), Denoth et al. (1979), Colbeck & Anderson (1982). Colbeck og Anderson (1982) fant at den mettede permeabiliteten i snø lå mellom  $10 - 40 \times 10^{-10} \text{ m}^2$  og at den var lavest ved størst snøtetthet. Den umettede permeabiliteten i snø økte omtrent med metningsgraden i snø opphøyd i 3. Dette kan være noe av forklaringen på at smeltevannsmengden fra brett med høye konsentrasjoner av avisingskjemikalier var størst tidlig i smelteperioden selv om dette ikke samsvarte med reduksjonen i snødyb. Avisingskjemikalier holder seg flytende ved lavere temperaturer enn rent vann. Når kjemikaliene har smeltet en del av omgivende snø øker vannmetningsgraden og permeabiliteten i snø øker. Dette skjer mens snøen har en lav tetthet. Etter at en stor del av avisingskjemikaliene har passert gjennom snøpakka reduseres vannmetningsgraden og permeabiliteten minker. Senere følger den «normale» smelteprosessen som først øker vannmetningsgraden og dermed permeabiliteten. Etterhvert øker snøtettheten (ev. et isdekke dannes) og permeabiliteten minker.

På samme måte som jordas matriks-potensial kan beskrives ved hjelp av forholdet mellom luftvolum og vanninnhold, kan matriks-potensialet også beskrives ved hjelp av isvolum og vanninnhold (Koopmans & Miller, 1966). En modell for vanntransport og dannelse av islinser under innfrysing av jord er utviklet av Konrad og Duquenois (1993). Dette er verktøy som kan brukes for å si noe om smelteforløp og infiltrasjon. Dersom man ikke oppnår tilstrekkelig rensing gjennom et jordreanseanlegg /naturlig jordprofil til tross for at gjennomsnittlige belastninger ligger godt under «tålegrensen», kan årsaken ligge i forhold som oppkonsentrering gjennom smelteforløpet, samt drenering gjennom «sluk». Nevnte modellverktøy kan benyttes ved utvikling av tiltak for å bedre på en uønsket situasjon.

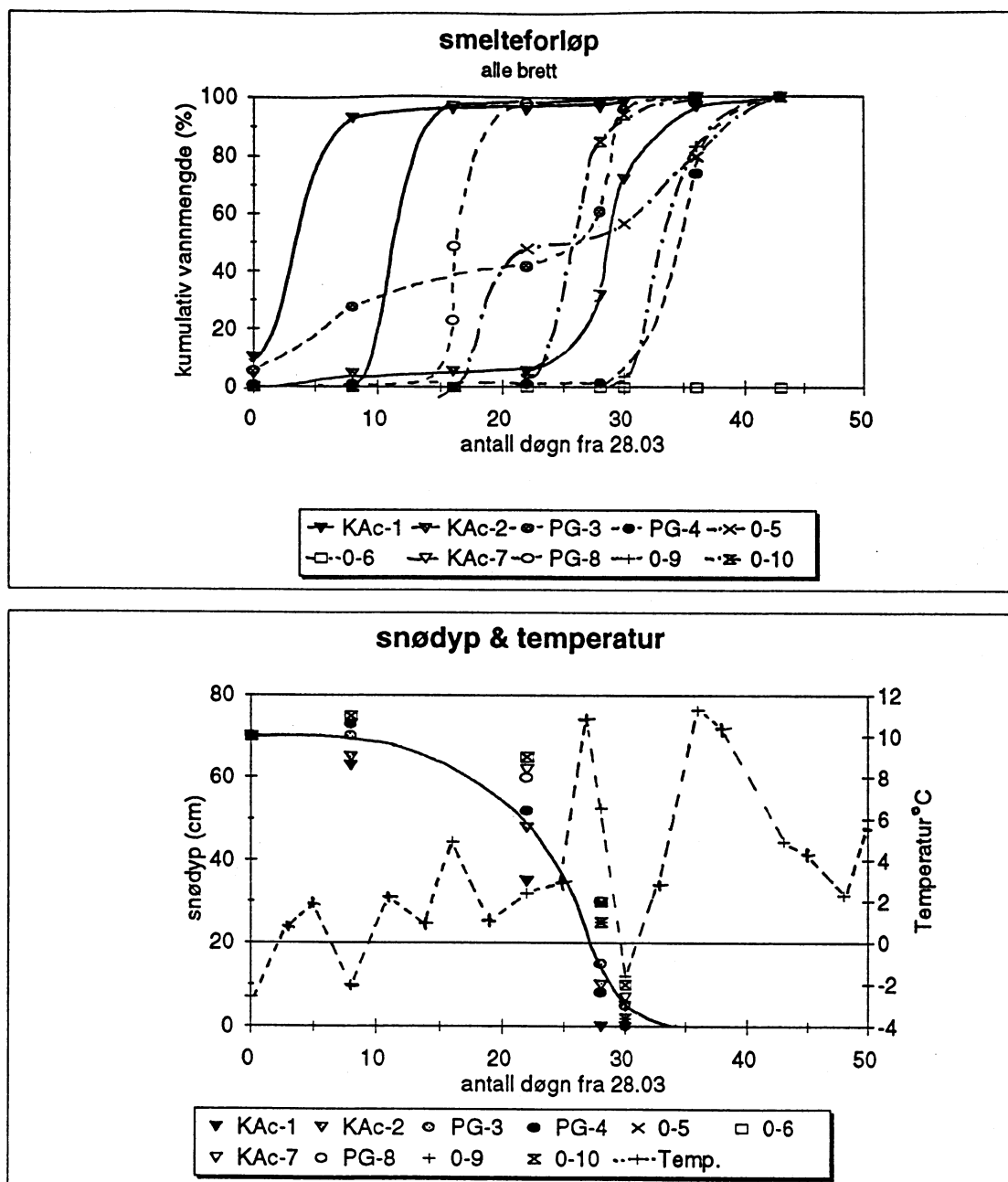


Fig. 4.3. Smelteforløp (kumulative vannmengder i % av total oppfanget mengde) ved hvert Brett (A). Snødybde og døgnmiddeltemperatur gjennom forsøksperioden (B). Gjennomsnittlig snødybde for alle brettene er vist med en sammenhengende kurve (Kac-1 til 0-10: Siste siffer er brett nummer og KAc=kaliuacetat, PG=propylenglykol, 0= ingen tilsetning).

#### 4.2.2. Kjemikaliekonsentrasjon gjennom smelteforløpet

I smeltevann fra brettene som lå nær lysimetergropa, Brett 1-2 og 7-8, var konsentrasjonen av kaliuacetat og propylenglykol høyest tidlig i smelteperioden. Et av formålene med smeltevannsundersøkelsen var å se om infiltrasjon av avisingskjemikalier tilført fra snø iblandet avisingskjemikalier (metode 1) var forskjellig fra infiltrasjon av kjemikalier fra issøyler plassert

direkte på markoverflaten (metode 2). Metode 2 ble benyttet under lysimeterforsøkene (French et al. 1994). Det var ingen stor forskjell i smelteforløp eller konsentrasjonsfordeling mellom brettene med ulik tilsetningsmetode. Tilsetting av avisingskjemikalier som issøyler under snødekket ser derfor ut til å være en god metode for å etterlikne utlekking av kjemikalier fra snø.

Kumulative vannmengder og mengder kalium, acetat og propylenglykol er vist i figur 4.4 - 4.9. Det var brukbar sammenheng mellom natriumkonsentrasjon og konsentrasjonen av avisingskjemikalier for brett 1, 2, 7 og 8. I smeltevann fra enkelte brett var den høyeste konsentrasjonen av avisingskjemikalier noe i forkant av den høyeste natriumkonsentrasjonen. Smeltevann fra brett 3 og 4 viste ingen tydelig trend i konsentrasjonsendringer gjennom smelteforløpet. Akkumulerte natriummengder er kun vist for brett 3 og 4 fordi det her var en dårligere sammenheng mellom de ulike komponentene. Andelen av avisingskjemikaliene som lekket ut med de første 50 % av smeltevannet er vist i tabell 4.1.

*Tabell 4.1 Andel av avisingskjemikalier som lekket ut med de første 50 % av smeltevannet.*

Brettnr.	Andel
1-KAc	58 %
2-KAc	90 %
3-PG	22 %
4-PG	68 %
7-KAc	50 %
8-PG	100 %

Når det gjaldt brett 1 og 7 fulgte andelen av utlekket kaliumacetat forløpet til smeltevannet. Går vi tilbake til figur 4.3 A og B ser vi at smeltevannsforløpet ikke stemte overens med reduksjonen i snødyb. Vi må derfor anta at en høyere andel av kaliumacetaten lekket ut med de første 50% av smeltevannet enn det som kommer frem i tabellen ovenfor.



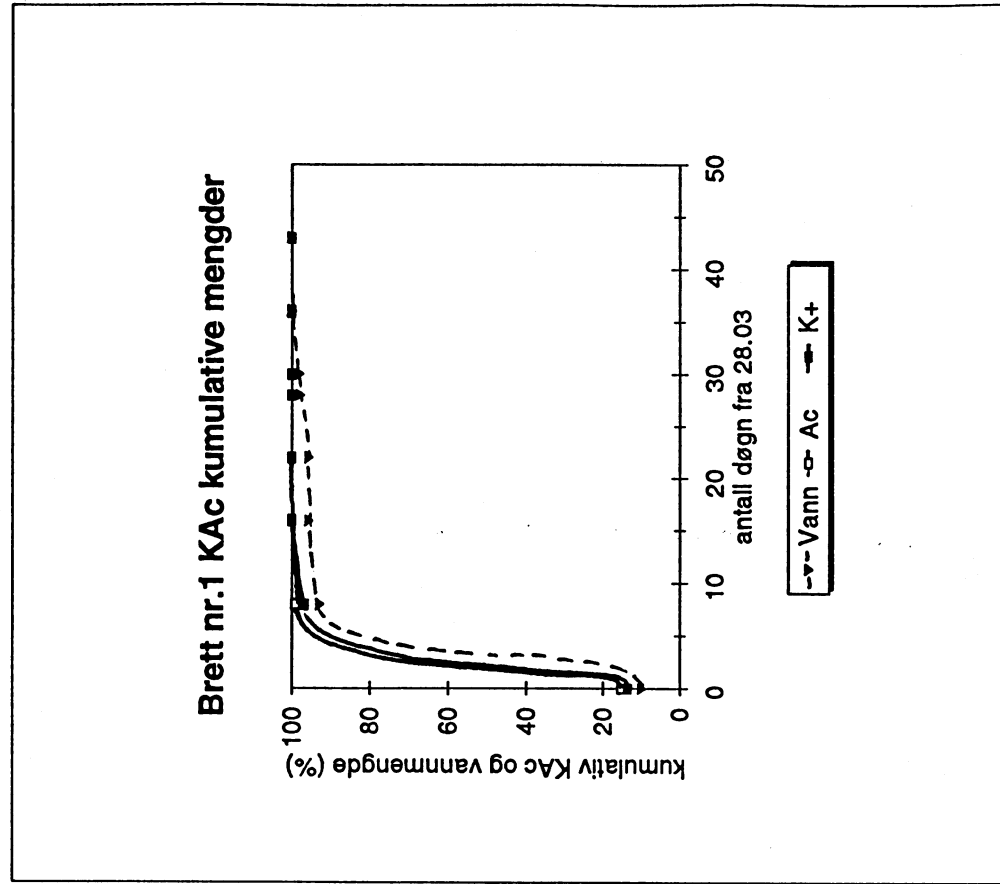
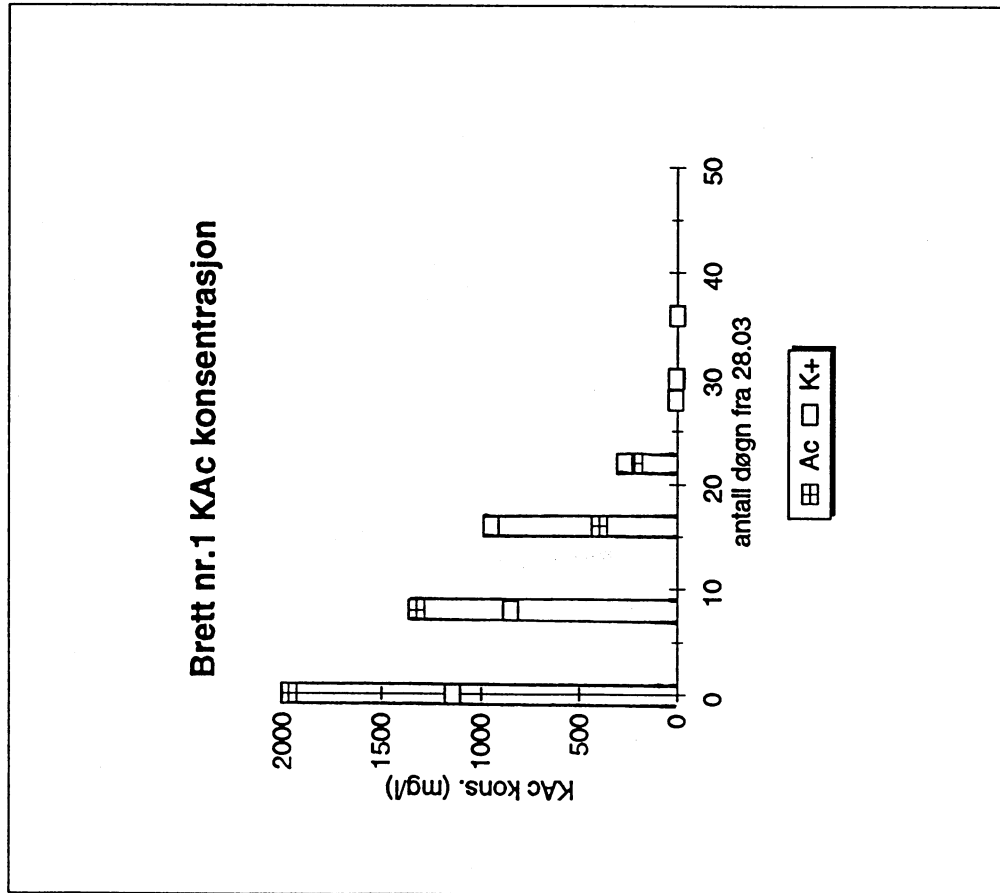


Fig. 4.4. Data fra smeltevannsbrett 1. Konsentrasjon av kalium (K+) og acetat (Ac) gjennom forsøksperioden (A) og kumulative mengder kaliumacetat (Kac) og vannmengder i % av total oppsamlet mengde (B).

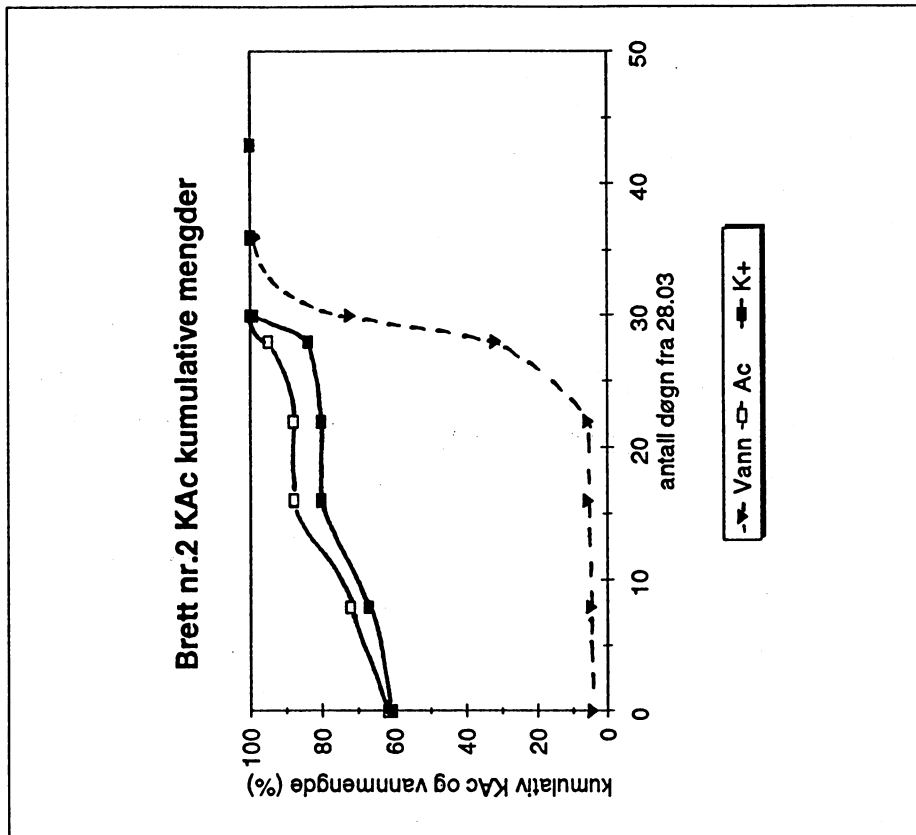
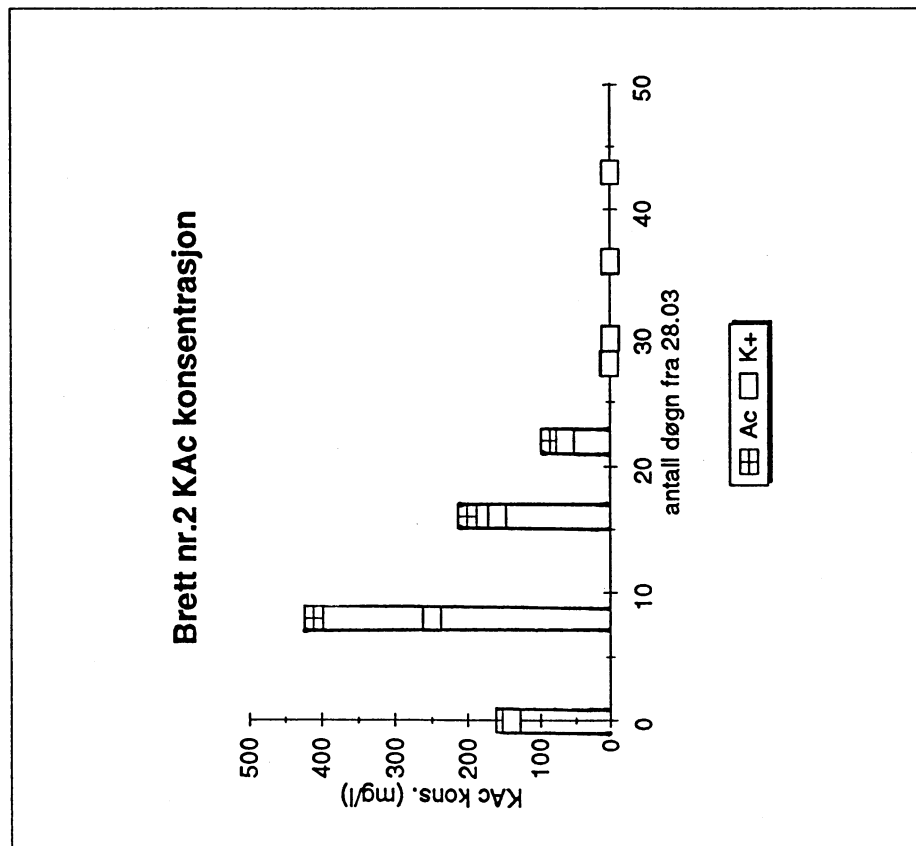


Fig. 4.5. Data fra smeltevannsbrett 2. Konsentrasjon av kalium (K+) og acetat (Ac) gjennom forsøksperioden (A) og kumulative mengder kaliumacetat (KAc) og vannmengder i % av total oppsamlet mengde (B).

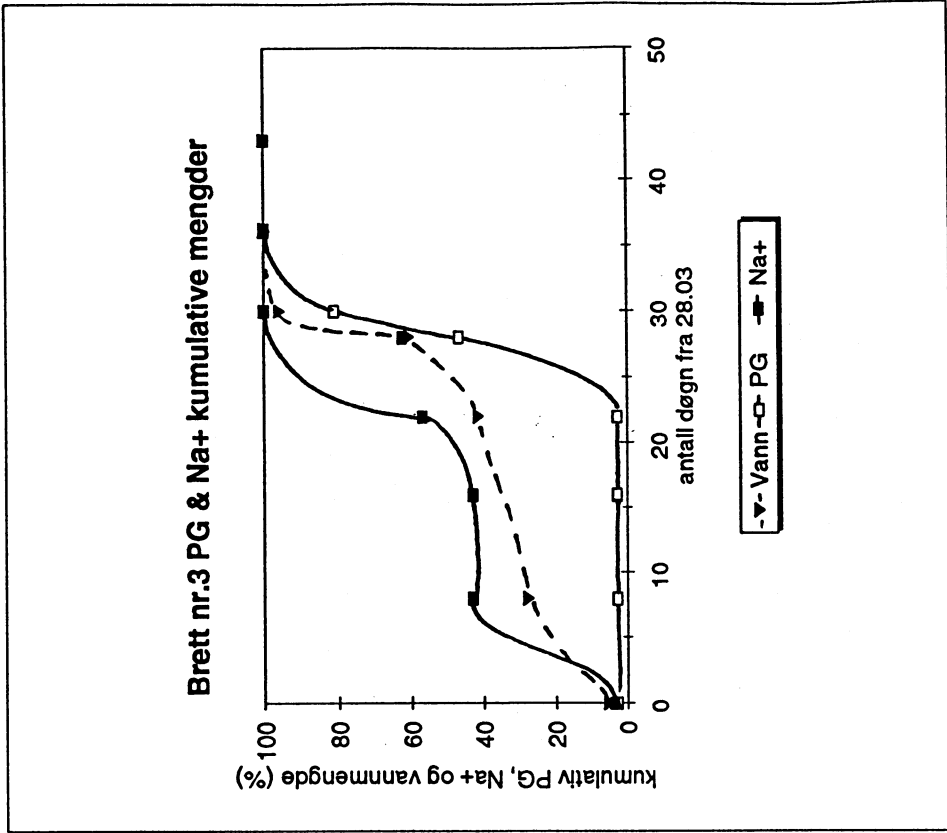
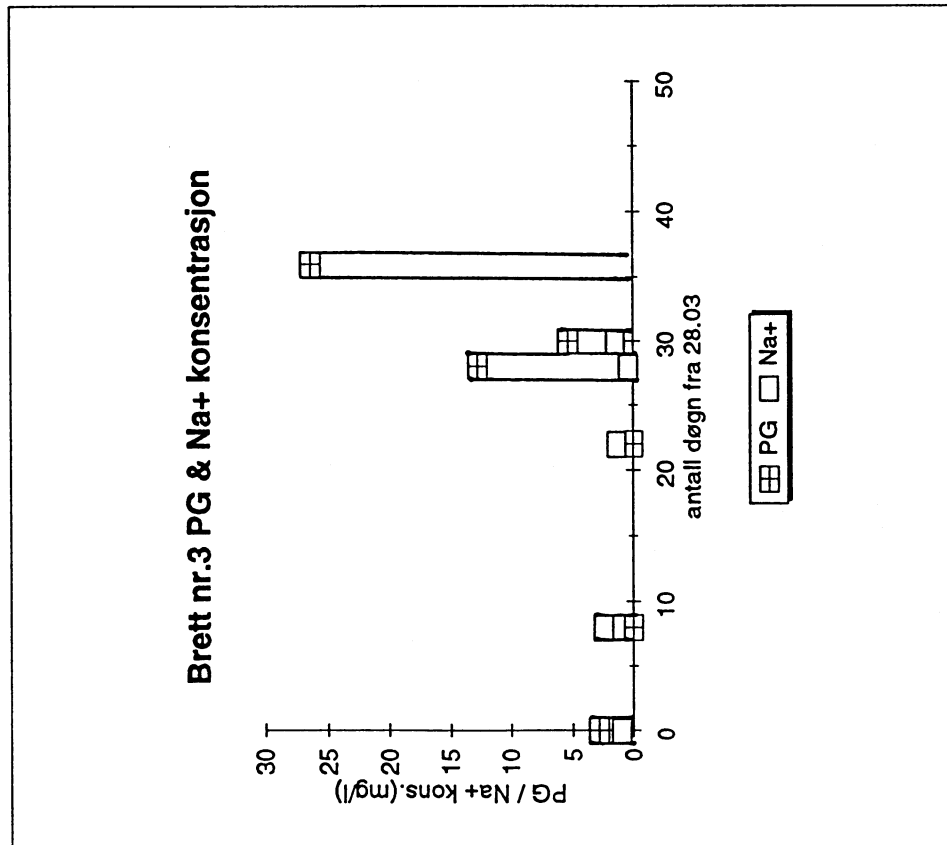


Fig. 4.6. Data fra smeltevannsbrett 3. Konsentrasjon av propylenglykol (PG) og natrium (Na+) gjennom forsøksperioden (A) og kumulative mengder propylenglykol (PG), natrium (Na+) og vannmengde i % av total oppsamlet mengde (B).

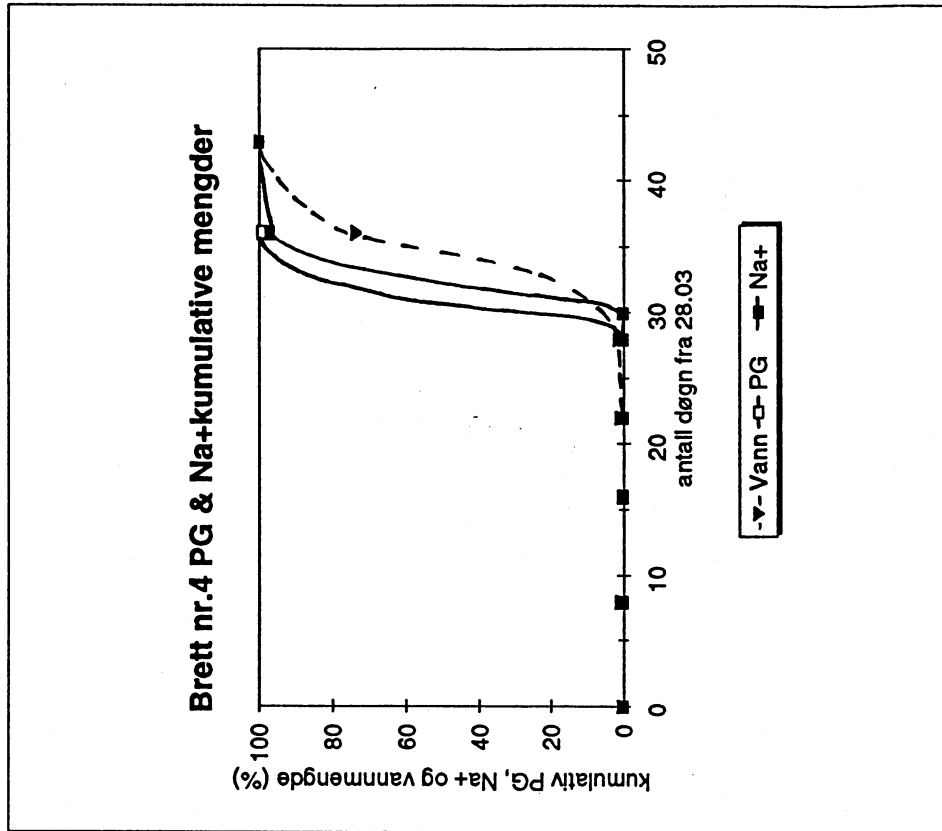
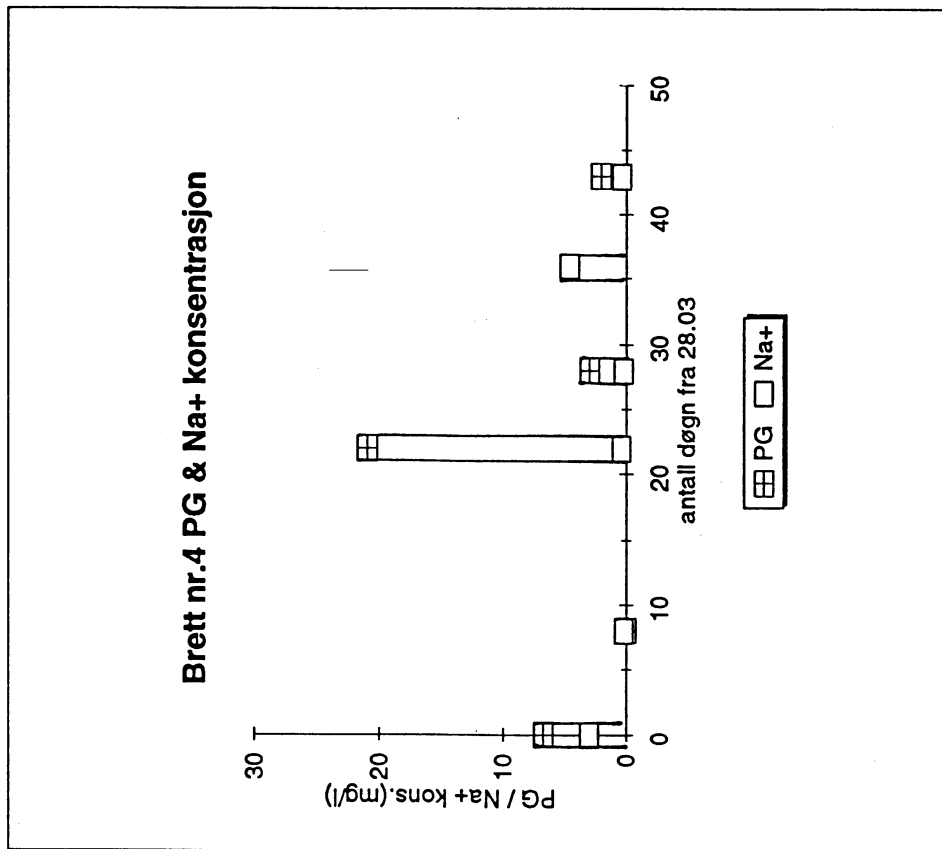


Fig. 4.7. Data fra smeltevannsbrett 4. Konsentrasjon av propylenglykol (PG) og natrium (Na+) gjennom forsøksperioden (A) og kumulative mengder propylenglykol (PG), natrium (Na+) og vannmengde i % av total oppsamlet mengde (B).

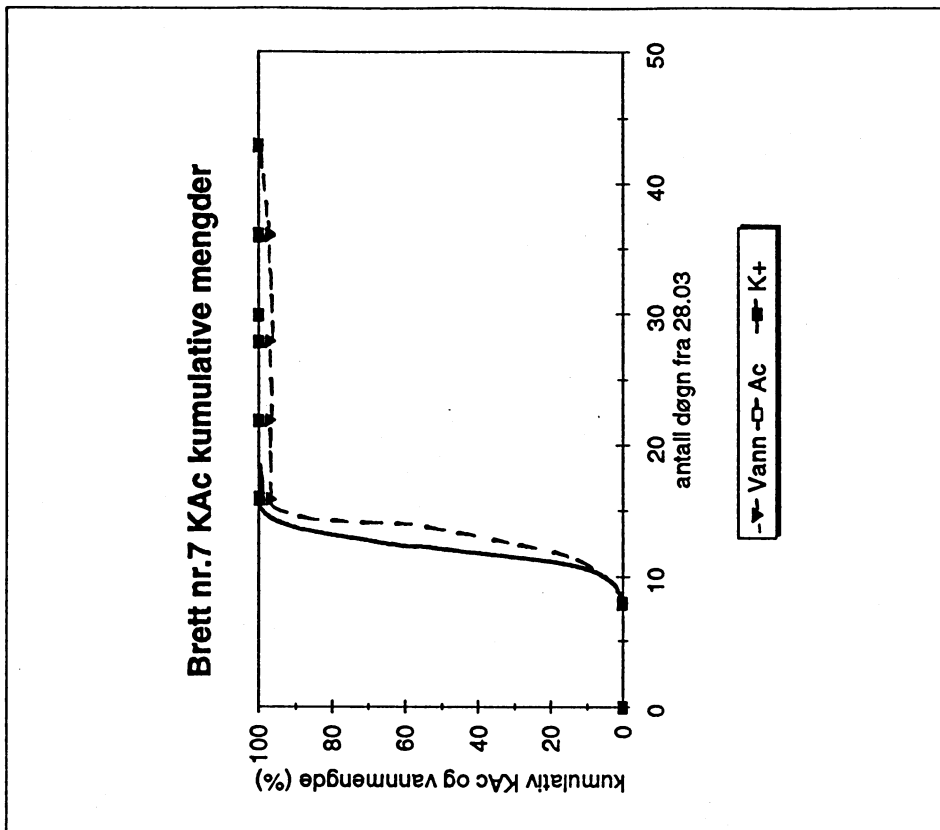
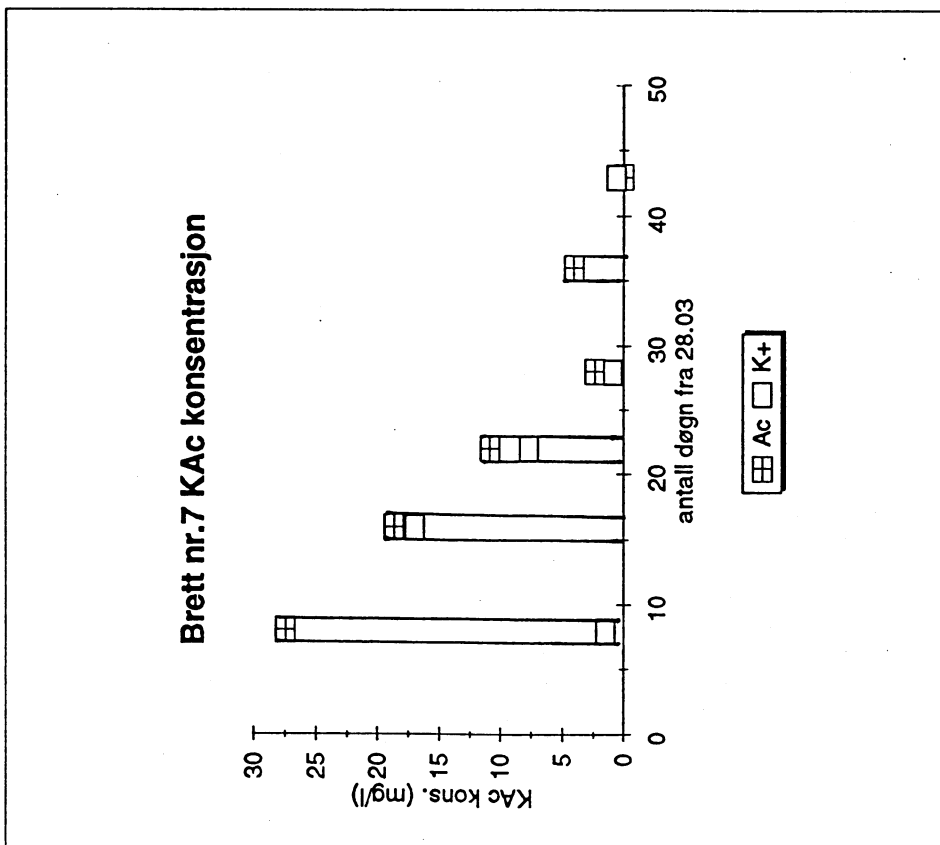


Fig. 4.8. Data fra smeltevannsbrett 7. Konsentrasjon av kalium (K+) og acetat (Ac) gjennom forsøksperioden (A) og kumulative mengder kaliumacetat (KAc) og vannmengde i % av total oppsamlet mengde (B).

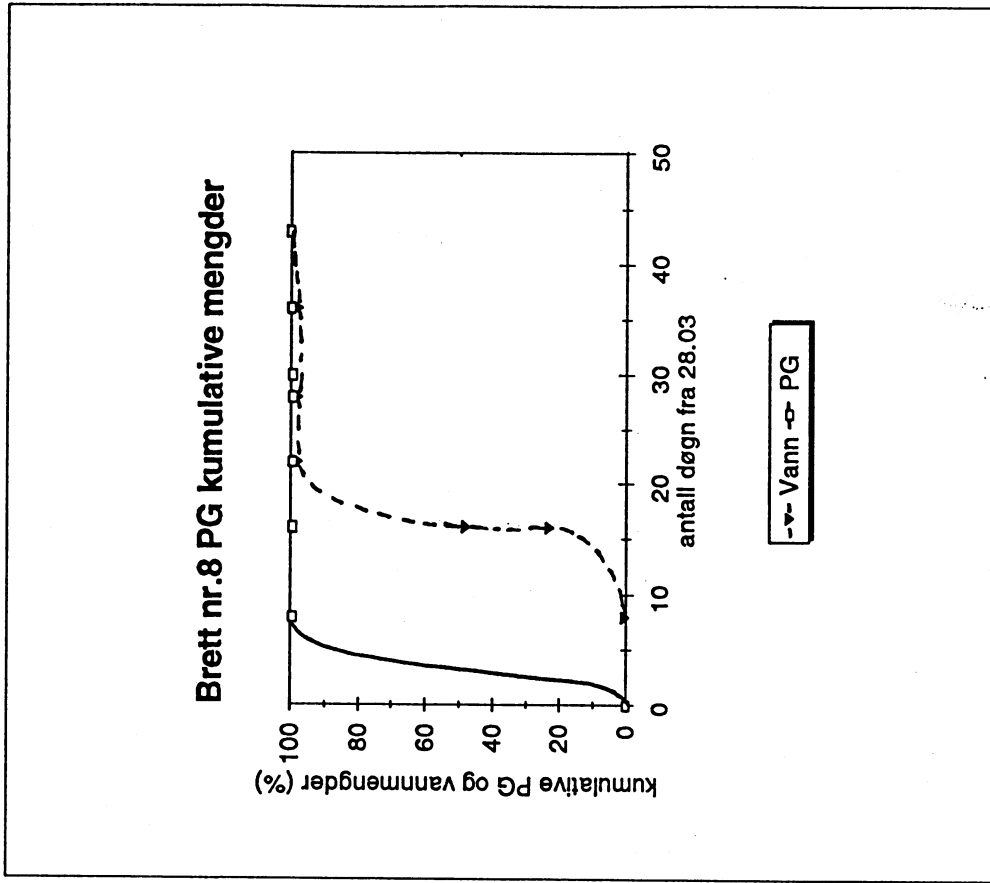
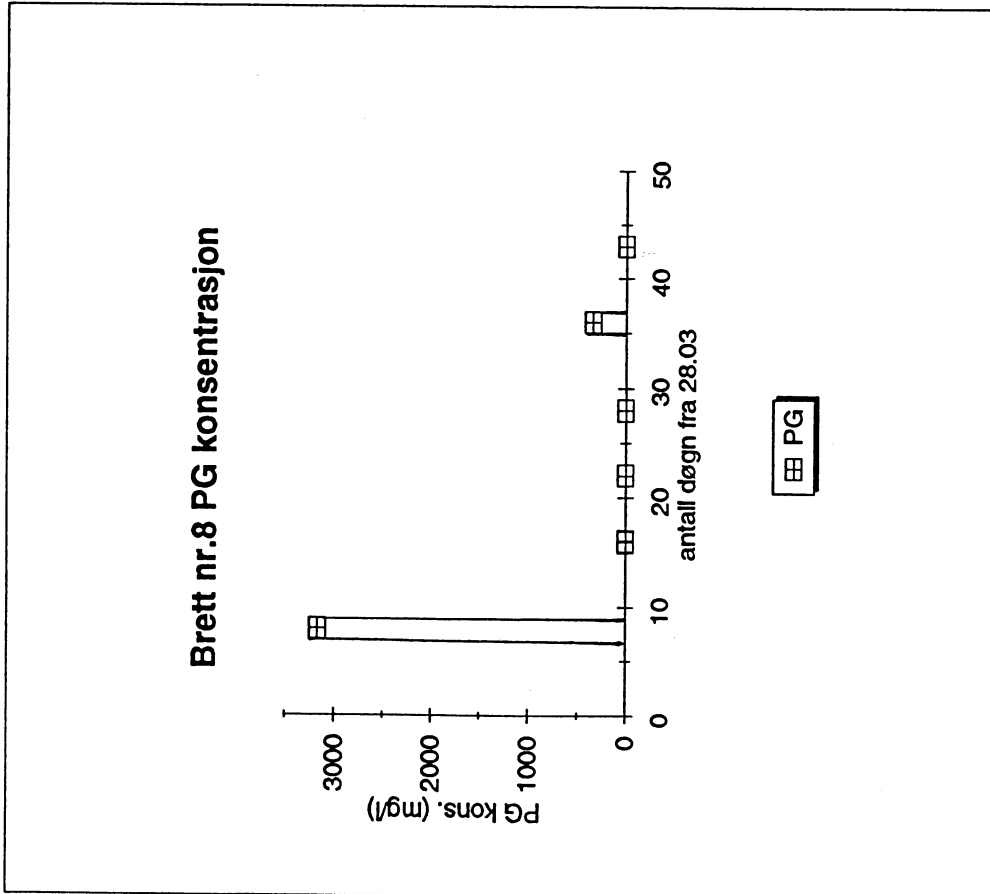


Fig. 4.9. Data fra smeltevannsbrett 8. Konsentrasjon av propylenglykol (PG) gjennom forsøksperioden (A) og kumulative mengder propylenglykol (PG) og vannmengder i % av total oppsamlet mengde (B).

I «Sur nedbør prosjektet» (SNSF- Sur nedbørs virkning på skog og fisk) som ble gjennomført i Norge på 70-tallet, ble sulfat ( $\text{SO}_4$ ,  $^{35}\text{SO}_4$ ), kalsium ( $\text{Ca}$ ,  $^{45}\text{Ca}$ ) og tritiert vann (HTO) tilsatt på overflaten av et snødekke ved begynnende snøsmelting. Konsentrasjonen av ulike forurensninger og tritiert vann (HTO) som er en inaktiv tracer, ble målt i smeltevannet over tid. Forsøkene viste at med de første 30% av smeltevannet fulgte ca. 90% av  $^{35}\text{SO}_4$ , ca. 60% av  $\text{SO}_4$  og ca. 35% HTO. Tilsvarende tall for kalsium var ca. 80% av  $^{45}\text{Ca}$ , ca. 50% av  $\text{Ca}$  og ca. 35% HTO (Dahl et al., 1979). Dette indikerer at forurensninger vil kunne bryte gjennom snødekket raskere enn rent vann (HTO), og at den ønskede fortykning med smeltevann ikke vil forekomme. Liknende resultater ble funnet av Johannesen & Henriksen, (1977). Videre fant man at utlekkingen av ulike ioner først fant sted ved snøsmeltingen om våren. Johannesen og Henriksen (1978) konkluderte med at konsentrasjonen i de første 30% av smeltevannet var 2-2,5 ganger høyere enn konsentrasjonen i snøpakken. Den første smeltevannsfraksjonen kunne ha en konsentrasjon mer enn 5 ganger så høy som konsentrasjonen i snøpakken.

I 1986/87, ved overvannskulvertens utløp i en av ravinene på Gardermoen, ble konsentrasjonen av propylenglykol registrert. Man fant at hovedmengden av propylenglykol rant av under den første halvdel av snøsmeltingen. Man fikk en oppkonsentrering av avisingsvæske i smeltevannet. I et smelteforsøk utført av NIVA, ble ca. 600 g propylenglykol /l påført lagvis i en snøpakke. Smelteforløpet ble observert i et klimarom med konstant temperatur på 3°C (Moxnes & Stene-Johansen, 1987).

Det er godt samsvar mellom disse resultatene og utlekkingsandeler i smelteforsøkene på Moreppen. Dersom infiltrasjonen skjer gjennom «sluk» kan dette gi infiltrasjonspunkter som har høye konsentrasjoner ved begynnelsen av infiltrasjonsperioden, «punktutslipp». Ved å utnytte jordas egen spredningsevne (dispersivitet) kan en horisontal spredning motvirke slike uheldige effekter. Et tiltak for å øke den horisontale spredningen vil være å sørge for at topplaget i jordprofilen virker som et fordelingslag. Et lag av finsand under vegetasjonsdekket vil kunne ha denne virkningen (P. Kraft, pers. med. 1995).

### 4.2.3. Kjemikaliekonsentrasjon i is og slaps

Prøvene av is og slaps fra smeltevannsbrettene ble analysert for propylenglykol, kalium, acetat, natrium og bromid. Over brett 1-4 var konsentrasjonene av acetat og propylenglykol i deteksjonsgrenseområdet (2 mg/l). Høyere konsentrasjoner ble observert i «rester» etter issøyler over brett 7 og 8 (tab. 4.2). De svært lave konsentrasjonene i is og slaps sammenliknet med tilsatte mengder (g/brett), viser usikkerheten i prøvetaking av is og slaps. Dette betyr at målinger langs rullebaner for å beskrive totale belastninger er usikre.

Tabell 4.2. Konsentrasjonen av propylenglykol (PG), acetat (Ac), kalium (K<sup>+</sup>) natrium (Na<sup>+</sup>) og bromid (Br<sup>-</sup>) målt i is og slaps fra ulike smeltevannsbrett 25.04.95. Tall i parentes viser % av tilsatt mengde (kons. (g/l): mengde (g/brett) \* 1000).

Brett nr.	Kons. PG/Ac (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Br <sup>-</sup> (mg/l)
1-KAc	3.1 (0.08)	0.12 (0.10)	1.4 (0.05)	
2-KAc	3.9 (0.80)	0.41 (9.76)	3.0 (9.23)	
3-PG	<2	0.21 (10.5)	0.3	
4-PG	<2	0.12 (0.10)	0.9	
7-KAc	10.1 (0.53)	0.19 (0.06)	0.2 (0.02)	8.5 (7.34)
8-PG	102.0 (4.41)	0.17 (0.28)	0.2	6.5 (3.03)

Mot slutten av smelteperioden viste det seg at den målte acetatkonsentrasjonen ikke stemte overens med den forventede mengden acetat i forhold til målt mengde kalium. Den forventede mengden acetat over brett 1, 2 og 7 (tab. 4.2) var hhv. 3.5, 7.5 og 0.5 mg/l. Konsentrasjoner i smeltevannsprøver tatt samtidig som is og slaps, viste et mer entydig avvik der målt acetatmengde konsekvent var lavere enn forventet mengde ut i fra kaliumkonsentrasjon. Dette skyldtes trolig at acetat lekket ut på et tidligere tidspunkt enn kalium. I felt/laboratorieforsøk og rene laboratorieforsøk med homogene snø- og isprøver fant man en fraksjonering av ioner i smeltevannet. Man fant også at dominerende ion varierte med ulike tidspunkt i smelteforløpet. Fraksjoneringen av ioner i smeltevannet var tydeligere i eldre enn i yngre laboratorie-is (Pringlecombe et al., 1987). Fraksjoneringen av kalium og acetat ser likevel ikke ut til å være av en så stor betydning at den bør taes hensyn til ved beregning av konsentrasjoner i ulike deler av smelteforløpet.



## 5. Sammenfattende diskusjon og konklusjon

Konsentrasjonen av propylenglykol i snø/slaps på taksebanen på Fornebu var 5 g/l nær avisingsplattformen. Etter 400 meter på taksebanen, var konsentrasjonen halvert. Utenfor taksebanen var konsentrasjonen i gjennomsnitt 0.1 g/l.

Langs sør-østre del av rullebanen var propylenglykolkonsentrasjonene høyest nærmest kanten av banen (5-10 meter fra banekant) og avtok med økende avstand fra banen. Konsentrasjonene var høyest omkring 800 meter (600-1000 meter) fra rullebanestart. Høyeste målte konsentrasjoner av ukesprøver var ca. 1000 mg/l. Høyeste målte gjennomsnitt av ukesprøver var omlag 500 mg/l. Estimerte belastningstall basert på maksimale ukesverdier ga akkumulerte maksimaltall for sesongen 1994/95 på 0,1-1,0 kg propylenglykol/m<sup>2</sup>/sesong (Frogner, 1995).

Nedbrytningskapasiteten for acetat og propylenglykol i jord (tålegrensene) oppgitt i utslippssøknaden kan diskuteres, spesielt i forhold til renskapasiteten i et naturlig jordsmonn. Man bør derfor søke å oppnå lavest mulig belastning på grøntarealene over uforstyrrede jordprofil. De estimerte belastningene lå under nedbrytningskapasiteten som angis i utslippssøknaden, men man bør likevel forsøke å samle opp vann eventuelt anlegge spesielle jordreanseanlegg der de høyeste belastningene på rullebanen forventes å oppstå.

Analyser av isslaps langs lysrekkene rett etter baneavising på Gardermoen ga konsentrasjoner mellom 160 til 10280 mg acetat/l. Innholdet av acetat i is, vann og snø langs lysrekkene og utenfor rullebanen målt noen dager etter baneavising, var stort sett lavere enn 2 mg/l (Frogner, 1995). Disse resultatene bør imidlertid brukes med varsomhet da det kan ha vært en utfrysning av acetat slik at konsentrasjonene i selve isvolumet er lave. Prøvetakingstidpunktet kan ha medført at noe av acetatmengden «unnslopp» prøvetakingen.

Det er usikkert om man klarte å fange opp pulsen med høyest konsentrasjon i undersøkelsene på Gardermoen. Man bør derfor gå ut i fra at maksimale konsentrasjoner målt i isslaps direkte etter avising (160 - 1028 mg Ac/l) også kan opptre langs rullebanekanten etter enkelttilfeller av

avising med Clearway 1. Spesielle fortyningstiltak langs banekanten for å redusere de antatt høye belastningene her er fordelaktig.

Konsentrasjonene av acetat i jordvannet fra 0 - 30 m fra rullebanekanten var svært lave, og de varierte fra mindre enn 2 mg /l til 69 mg /l . Konsentrasjonen av acetat i jordvannet økte med avstanden fra rullebanekanten (Frogner, 1995). En mer omfattende jordprøveundersøkelse av kaliummengden i jord før vekstsesongen vil kunne avdekke spredningsmønsteret bedre fordi kalium adsorberes og «konserveres» i jord. Dersom drenering skjer gjennom «dreneringssluk» vil det være nødvendig med et langt større antall jordprøver for å unngå tilfeldigheter i resultatene.

Generelt kan smelteforløpet på forskningsstasjonen, Moreppen, beskrives som ujevnt fordelt over forsøksarealet. Dersom det er tele i bakken er det sannsynlig at smeltevann vil dreneres gjennom «sluk». Det er mulig at slike «sluk» også er virksomme når det er liten eller ingen tele i bakken p.g.a. ujevnheter i mikrotopografi og vegetasjonsdekke. Dreneringspunktene som er aktive tidlig i smelteperioden vil sannsynligvis inneholde de høyeste konsentrasjonene av avisingskjemikalie.

Dersom man ikke oppnår tilstrekkelig rensing gjennom et jordreanseanlegg /naturlig jordprofil til tross for at gjennomsnittlige belastninger ligger godt under «tålegrensen», kan årsaken ligge i forhold som oppkonsentrering gjennom smelteforløpet og drenering gjennom «sluk».

Generelt sett ga de høyeste kjemikaliebelastningene raskest avsmelting. For enkelte brett hadde mer enn 90 % av smeltevannet drenert gjennom systemet fra 5 - 20 døgn etter at snøsmeltingen tok til. For brettene uten kjemikalietilsetning skjedde dette etter nærmere 30 døgn. De fleste brettene hadde liknende form på smeltevannskurven, med relativt store smeltevannspulser innen et begrenset tidsrom.

Konsentrasjonen av kaliumacetat og propylenglykol var høyest først i smelteperioden. Det var ingen stor forskjell i smelteforløp eller konsentrasjonsfordeling ved ulike tilsetningsmetoder. Tilsetning av avisingskjemikalier som issøyler under snødekket ser derfor ut til å være en god metode for å etterlikne utlekking av kjemikalier fra snø langs rullebaner.

For å beregne konsentrasjonen av avisingskemikalier i infiltrerende smeltevann langs rullebanen bør man beregne at mellom 70 - 100 % av mengde tilført avisingskemikalie lekker ut med de første 50 % av lagret vannmengde i snødekket.

## Litteratur

Anonymous (1956). *Snow Hydrology*, North Pacific division corps of engineers, U.S. Army, Portland, Oregon. NTIS (National Technical Information Service), Springfield, Virginia, 30. June 1956, 437p.

Anonymous, (1988). Environmental Monitoring and Evaluation of Calcium Magnesium Acetate (CMA). In: Horner, R.R. (red.) National Cooperative Highway Research Program Report. National Research Council, Washington, D.C. Transportation Research Board. 305:1-160.

Anonymous (1990). Drainage Strategy Study - Phase 1. Final Report, De-icing Operations. Consultants in Environmental Sciences LTD. Manchester Airport.

Anonymous (1992). A brief summary of the surface- and ground water pollution problems at the Helsinki-Vantaa airport. Nordisk banavisings- och vattenvårdskonferens. Tusby/Tuusula 1-2 sept., 1992.

Anonymous (1994) Utslippssøknad for driftfasen. Oslo Hovedflyplass AS, Luftfartsverkets datterselskap for nye Oslo lufthavn Gardermoen, november, 1994

Bäckman, L., Göransson, G., Knutsson, G., and Rühling, Å. (1979). Vägars inverkan på omgivande natur. Naturvårdsverket, 117:1-29.

Colbeck, S.C. and Anderson, E.A. (1982). The Permeability of a Melting Snow Cover. *Water Resources Research* 18(4):904-908.

Colbeck, S.C. and Davidson, G. (1973). Water percolation through homogeneous snow. In: *The Role of Snow and Ice in Hydrology*, Geneva. UNESCO-WMO-IAHS.1:242-256.

Dahl, J.B., Qvenild, C., Seip, H.M., and Tollan, O. (1979). Omsetting av kalsium og sulfat i smeltevann og i regnvann på små felter undersøkt ved hjelp av radioaktive tracere. Sur Nedbørs virkning på Skog og Fisk. Intern rapport. IR 49/79:1-65.

Denoth, A. and Seidenbusch, W. (1978). A method for determination of the hydraulic conductivity of snow. *Z. Gletscher. Glazialgeol.* 14:209-213.

Denoth, A., Seidenbusch, W., Blumthaler, M., Kirchlechner, P., Ambach, W., and Colbeck, S.C. (1979). Study of water drainage from columns of snow. Hanover, N. H. Cold Regions Res. and Eng. Lab. CRREL Report.79-1.

Dunne, T., Price, A.G., and Colbeck, S.C. (1976). The Generation of Runoff From Subarctic Snowpacks. *Water Resources Research* 12(4):677-685.

French, H.K., Roseth, R., Englund, J.-O., Meyer, K.-F., Swensen, B., and Hongve, D. (1994). Rensekapasitet i jord. Fagrapport: Avisningskjemikalier; Transport og nedbrytning i jord. Forskningsparken i Ås: Oslo Hovedflyplass AS. 70p.

French, H. K. (1994). Spredning av avisningskjemikalier langs veier og rullebaner og kjemikaliekonsentrasjonen i smeltevann. Litteraturstudie. Oslo Hovedflyplass AS / Forskningsparken i Ås.13 s. Foreløpig utgave.

Frogner, T., Systad, R.A. & Lenes, G. (1995). Spredning av glykol og acetat langs takse- og rullebaner. Undersøkelser på Fornebu og Gardermoen vinteren 94/95. Berdal Strømme AS / Oslo Hovedflyplass AS. Foreløpig utgave.

Gerdel, R.W. (1954). The transmission of water through snow. *Eos. Trans. AGU* 35:475-485.

Helin, T. (1992). Användning av acetatbaserat hälkbekämpningsmedel vid Göteborg-Landvetter flygplats. In: Nordiska banavisnings- och vattenvårds konferens. Tusby/Tuusula 1-2 sept.,1992.

Johannessen, M. and Henriksen, A. (1977). Chemistry of snowmelt water: Changes in concentration during melting. NIVA, Oslo. Sur Nedbørs virkning på Skog og Fisk. Fagrapport FR 11/77:1-11.

Johannessen, M. and Henriksen, A. (1978). Chemistry of Snow Meltwater: Changes in Concentration During Melting. *Water Resources Research* 14(4):615-619.

Konrad, J.-M. and Duquennoi, C. (1993). A Model for Water Transport and Ice Lensing In Freezing Soils. *Water Resources Research* 29(9):3109-3124.

Koopmans, R.W. R. and Miller, R. D. (1966). Soil Freezing and Soil Water Characteristic Curves. *Soil Sci. Soc. Amer. proc.* 30:680-685.

Kraft, P. (Personlig meddelelse, 1995), JORDFORSK, Ås

Moxnes, T. and Stene-Johansen, S. (1987). Kartlegging av forurensningsveier til avisingsvæske brukt på fly. NIVA, VA Rapport:12/87:1-70.

Outcalt, S.I., Gray, D.H., and Benninghoff, W.S. (1989). Soil Temperature and Electric Potential During Diurnal and Seasonal Freeze-Thaw. *Cold Regions Science and Technology* 16:37-43.

Primblecombe, P., Clegg, S.L., Davies, T.D., Shooter, D., and Tranter, M. (1987), Observations of the Preferential Loss of Major Ions from Melting Snow and Laboratory Ice. *Water Resources Research* 21(10):1279-1285.

Vickström, P., (personlig meddelelse 1994) Luftfartsverket, Miljøavdelingen, Stockholm-Arlanda.